

РОССИЙСКИЙ ОФТАЛЬМОЛОГИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Russian Ophthalmological Journal

**РОЖ 2026
Том 19 № 2**

**ROJ 2026
Vol. 19 No. 2**



Клинические исследования



Clinical studies

Экспериментально-лабораторные
исследования



Experimental and laboratory
studies

В помощь практическому врачу



For ophthalmology practitioners

Обзоры литературы



Reviews

Информация о конференциях,
выставках, курсах, конкурсах,
книжных новинках...



On conferences, exhibitions,
educational courses,
new books...

История офтальмологии



History of Ophthalmology



Российский офтальмологический журнал

Rossijskij oftal'mologičeskij žurnal

Научно-практический журнал

Центральное рецензируемое издание

РОЖ 2026 Том 19 № 2

Выходит ежеквартально с сентября 2008 года

ROJ 2026 Vol. 19 No. 2

Главный редактор

**Владимир Владимирович
НЕРОЕВ** — академик
РАН, профессор, д-р
мед. наук, директор
ФГБУ «НМИЦ глазных
болезней им. Гельмгольца»
Минздрава России,
зав. кафедрой глазных
болезней факультета
последипломного
образования МГМСУ и
кафедрой непрерывного
медицинского образования
ФГБУ «НМИЦ глазных
болезней им. Гельмгольца»
Минздрава России,
Москва, Россия



Заместители главного редактора

**Людмила Анатольевна
КАТАРГИНА** — профессор,
д-р мед. наук



**Елена Наумовна
ИОМДИНА** — профессор,
д-р биол. наук



Ответственный секретарь

Ольга Валентиновна ХРАМОВА

Редакционный совет

Аветисов Сергей Эдуардович — академик РАН, профессор,
д-р мед. наук, научный руководитель ФГБНУ «НИИ глазных болезней»,
зав. кафедрой глазных болезней 1-го МГМУ им. И.М. Сеченова,
Москва, Россия

Баранов Валерий Иванович — профессор, д-р мед. наук, зав. кафедрой
глазных болезней Курского государственного медицинского университета,
Курск, Россия

Бикбов Мухаррам Мухтарамович — профессор, д-р мед. наук, директор
Уфимского НИИ глазных болезней АН Республики Башкортостан,
Уфа, Россия

Бойко Эрнест Витальевич — профессор, д-р мед. наук, директор СПб
филиала ФГБУ МНТК «Микрохирургия глаза» им. С.Н. Федорова,
Санкт-Петербург, Россия

Бровкина Алевтина Федоровна — академик РАН, д-р мед. наук,
профессор кафедры офтальмологии с курсом офтальмоонкологии и
орбитальной патологии Российской академии последипломного образования,
Минздрава России, Москва, Россия

Гусева Марина Раульевна — д-р мед. наук, профессор кафедры
офтальмологии педиатрического факультета ГБОУ ВПО «Российский
национальный исследовательский медицинский университет
им. Н.И. Пирогова» Минздрава России, Москва, Россия

Хельмут Закс — приват-доцент, д-р медицины, руководитель отдела глазной
клиники Фридрихштадт, Дрезден, Германия

Золотарев Андрей Владимирович — профессор, д-р мед. наук, зав. кафедрой
офтальмологии СамГМУ, директор НИИ глазных болезней СамГМУ,
Самара, Россия

Лебедев Олег Иванович — профессор, д-р мед. наук, зав. кафедрой
офтальмологии Омской государственной медицинской академии,
Омск, Россия

Мошетьева Лариса Константиновна — академик РАН, профессор,
д-р мед. наук, президент Российской медицинской академии последипломного
образования (РМАПО), зав. кафедрой офтальмологии РМАПО,
Москва, Россия

Фредерик Райскуп — д-р медицины, отделение офтальмологии Университетской
клиники им. Карла Густава Каруса, Дрезден, Германия

Рябцева Алла Алексеевна — профессор, д-р мед. наук, зав. курсом офтальмологии при кафедре хирургии ФУВ МОНИКИ им. М.Ф. Владимирского, руководитель отделения офтальмологии ГБУЗ МО МОНИКИ им. М.Ф. Владимирского, Москва, Россия

Саакян Светлана Владимировна — чл.-корр. РАН, профессор, д-р мед. наук, руководитель отдела офтальмоонкологии и радиологии ФГБУ «НМИЦ глазных болезней им. Гельмгольца» Минздрава России, Москва, Россия

Тарутта Елена Петровна — профессор, д-р мед. наук, руководитель отдела патологии рефракции, бинокулярного зрения и офтальмоэргоники ФГБУ «НМИЦ глазных болезней им. Гельмгольца» Минздрава России, Москва, Россия

Пол Т. Фингер — д-р медицины, профессор офтальмологии школы медицины университета Нью-Йорка и директор службы офтальмоонкологии, Нью-йоркский центр заболеваний глаза и уха, Нью-Йорк, США

Дамиан Чепита — д-р медицины, почетный профессор Поморского медицинского университета, Щецин, Польша

Чеснокова Наталья Борисовна — профессор, д-р биол. наук, руководитель отделения патофизиологии и биохимии ФГБУ «НМИЦ глазных болезней им. Гельмгольца» Минздрава России, Москва, Россия

Шишкин Михаил Михайлович — профессор, д-р мед. наук, зав. кафедрой офтальмологии государственного учреждения «Национальный медицинский хирургический центр им. Н.И. Пирогова», Москва, Россия

Леопольд Шметтерер — профессор, д-р медицины, зав. подразделением офтальмологической фармакологии отделения клинической фармакологии и зав. отделением сосудистой визуализации Центра медицинской физики и биомедицинской техники Венского медицинского университета, Вена, Австрия

Карл Эрб — профессор, д-р медицины, медицинский директор глазной клиники Виттенбергплатц, директор Института прикладной офтальмологии, Берлин, Германия

Российский офтальмологический журнал — ведущее российское периодическое издание для офтальмологов и специалистов по зрению в России и за рубежом. Целью журнала является публикация новых результатов и научно-практических достижений как российского, так и международного офтальмологического сообщества, способствующих решению актуальных проблем офтальмологии. Российский офтальмологический журнал представляет вклад российских специалистов в мировой опыт изучения патогенеза заболеваний глаз, в разработку новых подходов к их диагностике и лечению, а также является открытой трибуной для специалистов других стран, работающих в области офтальмологии. В журнале публикуются оригинальные научные статьи, обзоры по всем разделам клинической и экспериментальной офтальмологии, клинические случаи, полезные для практикующих врачей.

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере массовых коммуникаций, связи и охраны культурного наследия
П И Н ФС77-29898 от 12 октября 2007 г.

Под эгидой Общероссийской общественной организации «Ассоциация врачей-офтальмологов»

© Российский офтальмологический журнал, 2026

Периодичность издания 4 номера в год

Тираж 1000 экз. Свободная цена

Журнал входит в перечень периодических научных изданий РФ, рекомендованных ВАК для публикации основных результатов диссертаций на соискание ученой степени кандидата и доктора наук (категория К1)

Префикс DOI: 10.21516

Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)

Журнал включен в международную базу цитирования SCOPUS

Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License

Индекс подписки на сайте интернет-каталога Почты России ПК581, в каталоге Пресса РФ 71618

<https://podpiska.pochta.ru/collection/populyarnye?ysclid=I598ayvab8231701108>

Перепечатка материалов, опубликованных в журнале, допускается только по письменному согласию редакции

Правила подачи публикаций размещены на странице: <https://roj.igb.ru/jour/about/submissions>

Учредитель: Нероев Владимир Владимирович — академик РАН, профессор, д-р мед. наук, директор ФГБУ «НМИЦ глазных болезней им. Гельмгольца» Минздрава России; 105062, Москва, ул. Садовая-Черногрозская, д. 14/19

Редакция: ФГБУ «НМИЦ глазных болезней им. Гельмгольца» Минздрава России; 105062, Москва, ул. Садовая-Черногрозская, д. 14/19, тел.: 8 (495) 625-32-56, факс: 8 (495) 623-73-53, e-mail: roj@igb.ru, <https://roj.igb.ru>

Издательство: ООО «Реал Тайм»; 115432, Москва, ул. Трофимова, д. 29, тел.: 8 (901) 546-50-70, www.print-print.ru

Информационная поддержка: www.organum-visus.ru

Типография ООО «Реальное Время»

Russian Ophthalmological Journal

Scientific Practical Journal

Central Reviewed Journal

ПОЖ 2026 Том 19 № 2

A Quarterly Edition. Published since Sept. 2008

ROJ 2026 Vol. 19 No. 2

Editor-in-Chief

Vladimir V. Neroev — Academician of the Russian Academy of Sciences, Dr. of Med. Sci., Professor, Director of Helmholtz National Medical Research Center of Eye Diseases and Chair in Ophthalmology, Faculty of Postgraduate Education, Moscow State Medical Stomatological University, Moscow, Russia

Deputy Editors-in-Chief

Ludmila A. Katargina — Dr. of Med. Sci., Professor

Elena N. Iomdina — Dr. of Biol. Sci., Professor

Executive Secretary

Olga V. Khramova

Editorial Board

Sergei E. Avetisov — Academician of the Russian Academy of Sciences, Dr. of Med. Sci., Professor, Scientific Chief of State Research Institute of Eye Diseases, Head of Chair of Ophthalmology, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, Russia

Valery I. Baranov — Dr. of Med. Sci., Professor, Head of Chair of Ophthalmology, Kursk State Medical University, Kursk, Russia

Mukharram M. Bikbov — Dr. of Med. Sci., Professor, Director of Ufa Research Institute of Eye Diseases, Republic of Bashkortostan, Ufa, Russia

Ernest V. Boiko — Dr. of Med. Sci., Professor, Director of St. Petersburg Branch of the S.N. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, St. Petersburg, Russia

Alevtina F. Brovkina — Academician of the Russian Academy of Sciences, Dr. of Med. Sci., Professor, Russian Medical Academy of Postgraduate Education, Moscow, Russia

Marina R. Guseva — Dr. of Med. Sci., Professor, Department of Ophthalmology, Pediatric Faculty of N.I. Pirogov Moscow State Medical University, Moscow, Russia

Helmut Sachs — P.D., Dr. med., Head of the Department, Eye Clinic Friedrichstadt, Dresden, Germany

Andrey V. Zolotarev — Dr. of Med. Sci., Professor, Head of Chair of Ophthalmology, Samara State Medical University, Director of the Department of Ophthalmology, Director of the Research Institute of Eye Diseases Samara State Medical University, Samara, Russia

Oleg I. Lebedev — Dr. of Med. Sci., Professor, Head of Chair of Ophthalmology, Omsk, Russia

Larisa K. Moshetova — Dr. of Med. Sci., Professor, Academician of Russian Academy of Sciences (RAS), president of Russian Medical Academy of Postgraduate Education, Moscow, Russia

Frederik Raiskup — M.D., Ph.D., FEBO, Department of Ophthalmology, Carl Gustav Carus University Clinic, Dresden, Germany

Alla A. Ryabtseva — Dr. of Med. Sci., Professor, Head of Department of Ophthalmology of M.F. Vladimirovsky Moscow Region Research Clinical Institute, Moscow, Russia

Svetlana V. Saakyan — corresponding member of RAS, Dr. of Med. Sci., Professor, Head of Department of Ocular Oncology and Radiology, Moscow Helmholtz Research Institute of Eye Diseases, Moscow, Russia

Elena P. Tarutta — Dr. of Med. Sci., Professor, Head of Department of Pathology of Refraction, Binocular Vision and Ophthalmogeriatrics, Helmholtz National Medical Research Center of Eye Diseases, Moscow, Russia

Paul T. Finger — Professor of Ophthalmology at the New York University School of Medicine and Director of Ocular Oncology, The New York Eye Cancer Center, New York, USA

Damian Czepita — M.D., Ph.D., Professor Emeritus, Pomeranian Medical University, Szczecin, Poland

Natalia B. Chesnokova — Dr. of Biol. Sci., Professor, Head of Department of Pathophysiology and Biochemistry, Moscow Helmholtz Research Institute of Eye Diseases, Moscow, Russia

Mikhail M. Shishkin — Dr. of Med. Sci., Professor, Head of Department of Ophthalmology, N.I. Pirogov National Medical Surgical Centre, Moscow, Russia
Leopold Schmetterer — M.D., Ph.D., Head of Division of Ophthalmic Pharmacology at Department of Clinical Pharmacology and Head of Division of Vascular Imaging at the Centre of Medical Physics and Biomedical Engineering, Medical University of Vienna, Austria
Carl Erb — M.D., Professor, Medical Director of Eye Clinic Wittenbergplatz, Head of the Private Institute of Applied Ophthalmology, Berlin, Germany

Russian Ophthalmological Journal is a major Russian periodical for ophthalmologists and vision professionals in this country and abroad. The journal's objective is to publish new results and scientific and practical achievements of Russian and international ophthalmological community aimed at exchanging ideas, knowledge, and experience, which contribute to the solution of topical ophthalmological issues worldwide. Russian ophthalmological journal focuses on the contribution of Russian researchers and clinicians into the pathogenetic studies of eye diseases and the development of novel approaches to diagnosis and treatment of such diseases. Importantly, the journal is an open forum for ophthalmologist from other countries working in the ophthalmological field. The journal accepts for publication original scientific articles, analytical reviews in all fields of clinical and experimental ophthalmology, description of clinical cases.

Registration Certificate: SMI PI #FS77-29898, issued on October 12, 2007 by the Russian Federal Surveillance service for Compliance with the Law in Mass Communications and Cultural Heritage protection

Under the auspices of All-Russian Public Organization "Association of Ophthalmologists"

© Russian ophthalmological journal, 2026

Publication Frequency: 4 times a year

Circulation: 1000 copies

The journal is included in the List of the leading reviewed scientific journals and editions published in the Russian Federation, as approved by the Higher Attestation Commission at the Russian Ministry of Education and Science (category K1). The authors pursuing doctoral degrees are officially required to publish the essential scientific results of their dissertations in journals appearing in this List

The journal is included in the Russian Science Citation Index (RSCI), supported by the Scientific Electronic Library (www.elibrary.ru), and into the SCOPUS database

Each article has a DOI index. DOI-prefix: 10.21516

The content is accessible under Creative Commons Attribution 4.0 License

Subscription index on the website of the Internet catalog of the Russian Post PK581 and catalog Pressa RF 71618

<https://podpiska.pochta.ru/collection/populyarnye?ysclid=I598ayvab8231701108>

Reprinting of materials published in the journal is allowed only with the written consent of the publisher

Publication submission rules are to be found at <https://roj.igb.ru/jour/about/submissions#onlineSubmissions>

Founder: Vladimir Neroev, Academician of the Academy of Sciences of Russia, Dr. Med. Sci., Professor, Director of Helmholtz National Medical Research Center of Eye Diseases; 14/19, Sadovaya Chernogryazskaya St., Moscow, 105062, Russia

Editorial Board: Helmholtz National Medical Research Center of Eye Diseases; 14/19, Sadovaya Chernogryazskaya St., Moscow, 105062, Russia, phone: +7 (495) 625-32-56,

fax: +7 (495) 623-73-53, e-mail: roj@igb.ru, <https://roj.igb.ru>

Publisher: Real Time Ltd, 29, Trofimova St., Moscow, 115432, Russia, phone +7 (901) 546-50-70, www.print-print.ru

Information Support: www.organum-visus.ru

Printing Office: Real Time Ltd

ОГЛАВЛЕНИЕ

КЛИНИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

<i>Н.М. Азарков, А.Е. Копылов, В.В. Башук, М.Л. Курзин, А.А. Титов</i> Нарушение зрения у пожилых как фактор риска саркопенического ожирения	7
<i>А.Г. Амирян, С.В. Саакян, Т.Н. Киселева, М.Ю. Гусакова, М.С. Зайцев, А.А. Зайцева</i> Дифференциально-диагностические критерии опухолей слезной железы по данным комплексного ультразвукового исследования	12
<i>А.В. Антонова, В.П. Николаенко, М.И. Семенова</i> Оценка эффективности и безопасности шунта GlaucoDrain в лечении рефрактерной глаукомы	22
<i>А.С. Батчаев, А.С. Османова, Л.М. Махтимагомедова, З.М. Билалмагомедова, З.К. Хажгераева, Б.А. Махова, Х.Д. Гериханова, Д.А. Хохлухин</i> Роль оптической когерентной томографии в оценке аксонального повреждения при аутоиммунных поражениях зрительного нерва	29
<i>Rabia Sharif Bhatti, Shama Khan, Hassan Mansoor, Aunaza Maqbool, Rabeeah Zafar, Rabia Faheem</i> Corneal endothelial cells change in different stages of keratoconus	36
<i>Е.П. Брянцева, А.О. Укина</i> Синдром сухого глаза в академической среде: от поведенческих стратегий к ИИ-ориентированной профилактике	43
<i>А.Ш. Загидуллина, А.И. Арсланова, А.А. Александров</i> Эффективность применения аналогов простагландинов в качестве стартовой терапии у пациентов с впервые выявленной глаукомой низкого давления	47
<i>А.А. Зайцева, Т.Н. Киселева, М.С. Зайцев, К.В. Луговкина, С.Г. Бережнова</i> Сравнительная оценка биометрических параметров слезной железы по данным компьютерной томографии и эхографии у здоровых лиц разного возраста	55
<i>Е.К. Захарова, Т.Н. Малишевская, И.П. Луцкан, Т.Р. Поскачина, Д.А. Федотов, С.А. Петров</i> Особенности биомеханики роговицы, внутриглазного давления и параметров переднего отрезка глаза при первичной глаукоме у коренных жителей Республики Саха (Якутия)	62
<i>А.Ю. Клейменов, В.Н. Казайкин, Т.Н. Евдокевич, М.А. Липина, А.В. Лизунов</i> Отдаленные анатомо-функциональные результаты хирургического лечения отслойки сетчатки методом временного экстрасклерального баллонирования	71
<i>Л.В. Коголева, М.А. Аракелян, С.Ю. Рогова, Н.Ш. Кокоева, А.Д. Докторова</i> Электроретинограмма на длительный стимул у детей с ретинопатией недоношенных	78
<i>Ю.Г. Копченкова, М.А. Фролов, О.И. Оренбуркина, М.П. Толстых, А.М. Фролов, Ф.Т. Дулани</i> Сравнительный анализ структуры хирургически сформированных путей оттока у пациентов с первичной открытоугольной глаукомой и артификацией после синустрабекулектomie с применением различных типов дренажей	84
<i>Г.А. Маркосян, Е.П. Тарутта, С.В. Милаш, В.Н. Папан, О.В. Проскурина</i> Перспективные возможности оценки влияния склеропластики при высокой миопии на гемодинамику глаза	93
<i>Е.Б. Мякошина, С.В. Саакян, А.О. Укина, Д.Д. Гарри</i>	

Применение нейросетевой модели для классификации ОКТ-изображений при диагностике меланомы хориоидеи	100
<i>В.П. Николаенко, А.В. Антонова, Д.Ф. Белов</i> Фiltrирующая хирургия глаукомы: рациональный алгоритм послеоперационных осмотров пациентов	109
<i>С.Ю. Петров, В.И. Солодовников, С.В. Милаш, О.И. Маркелова, А.Д. Енхиева, К.В. Павлов, Н.В. Каракотова</i> Клинический анализ параметров васкуляризации филтратационных подушек после синустрабекулектomie по томографическим изображениям с использованием методов машинного зрения	118
<i>А.В. Плескова, Л.А. Катаргина, В.Р. Гетадарян</i> Прогнозирование исхода сквозной кератопластики у детей ...	126
<i>С.В. Саакян, Е.Б. Мякошина, М.Г. Жильцова, А.Ю. Цыганков</i> Комплексная диагностика внутриглазных лимфом: роль оптической когерентной томографии и тонкоигольной аспирационной биопсии	133
<i>С.В. Сахарова, А.А. Измайлова, М.Н. Пономарева, И.М. Петров, Н.А. Курлович, Д.И. Бояринцев, О.А. Любимцева, В.К. Куколева</i> Новые возможности в диагностике увеитов	140
<i>Е.П. Тарутта, С.В. Милаш, М.В. Епишина, Р.Р. Толорая, К.А. Рамазанова, А.Н. Бедретдинов, Н.А. Тарасова</i> Динамика анатомо-оптических параметров глаза после отмены длительного использования ортокератологических линз	145
<i>Qurat Ul Ain, Maryam Najeeb, Sadaf Qayyum, Mussafa Khalid</i> Assessment of refractive error by retinoscopy using fogging lens and cycloplegia in school aged children	152

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

<i>Н.В. Балацкая, Е.В. Ченцова, К.В. Сироткина, И.Г. Куликова</i> Изменения в субпопуляционном составе лимфоцитов периферической крови у пациентов с кератолизисом как предикторы исхода трансплантации роговицы по неотложным показаниям	158
<i>А.М. Быстров, А.А. Кузнецов, Е.В. Давыдова, Т.В. Гаврилова</i> Пигментный эпителиальный дериватный фактор как возможный предиктор реакции отторжения трансплантата роговицы	164

В ПОМОЩЬ ПРАКТИЧЕСКОМУ ВРАЧУ

<i>Е.А. Дроздова, Е.Л. Казачков, Т.Ю. Кожеевникова, Д.Д. Воронаев</i> Апокринная гидроцистома бульбарной конъюнктивы: наблюдение из практики	170
<i>Rabia Faheem, Muhammad Saad, Saif Ullah, Muqaddas Noor, Iffat Nasim</i> Low vision assessment and management in Stargardt disease: diagnostic approach and therapeutic strategies. Case report	177
<i>С.В. Янченко, А.В. Малышев, Н.Ю. Худдиева</i> Коморбидность у пациентов с первичной открытоугольной глаукомой и офтальмогипертензией: возможности применения фиксированной комбинации дорзоламида и тимолола	182

ОБЗОРЫ ЛИТЕРАТУРЫ

<i>А.М. Абудайяк Бахаа, В.П. Николаенко</i> Топические стероиды в офтальмологии. Часть 1. Фармакокинетика	192
<i>М.В. Зуева, В.И. Котелин, Н.В. Нероева, Н.Б. Чеснокова, А.Н. Журавлева, Н.В. Балацкая, М.В. Рябина</i> Биомаркеры старения. Часть 1. Общее состояние проблемы и подходы к оценке биологического возраста	203

CONTENTS

CLINICAL STUDIES

<i>N.M. Agarkov, A.E. Kopylov, V.V. Bashuk, M.L. Kurzin, A.A. Titov</i> Visual impairment in the elderly as a risk factor for sarcopenic obesity	7
<i>A.G. Amiryan, S.V. Saakyan, T.N. Kiseleva, M.Yu. Gusakova, M.S. Zaitsev, A.A. Zaitseva</i> Differential diagnostic criteria of lacrimal gland tumors based on comprehensive ultrasound examination	12
<i>A.V. Antonova, V.P. Nikolaenko, M.I. Semenova</i> Effectiveness and safety of GlaucoDrain in treating refractory glaucoma	22
<i>A.S.-U. Batchaev, A.S. Osmanova, L.M. Makhtimagomedova, Z.M. Bilalmagomedova, Z.K. Khazhgeraeva, B.A. Makhova, K.D. Gerikhanova, D.A. Khokhluikhin</i> The role of optical coherence tomography in the assessment of axonal damage in autoimmune lesions of the optic nerve	29
<i>Rabia Sharif Bhatti, Shama Khan, Hassan Mansoor, Aunaza Maqbool, Rabeeah Zafar, Rabia Faheem</i> Corneal endothelial cells change in different stages of keratoconus	36
<i>E.P. Bryantseva, A.O. Ukina</i> Dry eye syndrome in academia: from behavioural strategies to AI-oriented prevention	43
<i>A.Sh. Zagidullina, A.I. Arslanova, A.A. Alexandrov</i> Efficacy of prostaglandin analogues as initial therapy in patients with newly diagnosed normal tension glaucoma	47
<i>A.A. Zaitseva, T.N. Kiseleva, M.S. Zaitsev, K.V. Lugovkina, S.G. Berezhnova</i> Comparative assessment of the biometric parameters of the lacrimal gland based on computed tomography and echography in healthy individuals of different ages	55
<i>E.K. Zakharova, T.N. Malishevskaya, I.P. Lutskan, T.R. Poskachina, D.A. Fedotov, S.A. Petrov</i> Features of biomechanics of the cornea, IOP and parameters of the eye anterior segment in primary glaucoma in the indigenous inhabitants of the Republic of Sakha (Yakutia)	62
<i>A.U. Kleimenov, V.N. Kazaykin, T.N. Evdokevich, M.A. Lipina, A.V. Lizunov</i> Long-term anatomic-functional results of surgical treatment of retinal detachment by temporary extrac scleral ballooning method ..	71
<i>L.V. Kogoleva, M.A. Arakelyan, S.Yu. Rogova, N.Sh. Kokoeva, A.D. Doctorova</i> The long-duration flash electroretinogram in children with retinopathy of prematurity	78
<i>Y.G. Kopchenova, M.A. Frolov, O.I. Orenburkina, M.P. Tolstykh, A.M. Frolov, F.T. Dulani</i> Comparative analysis of the structure of surgically formed drainage pathways in patients with primary open angle glaucoma and pseudophakia after trabeculectomy using various types of drains ...	84
<i>G.A. Markosyan, E.P. Tarutta, S.V. Milash, V.N. Papyan, O.V. Proskurina</i> Prospective possibilities for assessing the impact of scleroplasty in high myopia on ocular hemodynamics	93

<i>E.B. Myakoshina, S.V. Saakyan, A.O. Ukina, D.D. Garri</i> Application of a neural network model for OCT image classification in the diagnosis of choroidal melanoma	100
<i>V.P. Nikolaenko, A.V. Antonova, D.F. Belov</i> Glaucoma filtering surgery: rational algorithm of patients' follow-up	109
<i>S.Yu. Petrov, V.I. Solodovnikov, S.V. Milash, O.I. Markelova, A.D. Epkhieva, K.V. Pavlov, N.V. Karakotova</i> Clinical analysis of trabeculectomy filtering bleb vascularization parameters based on tomographic images using machine vision methods	118
<i>A.V. Pleskova, L.A. Katargina, V.R. Getadaryan</i> Predicting of penetrating keratoplasty outcome in children	126
<i>S.V. Saakyan, E.B. Myakoshina, M.G. Zhiltsova, A.Yu. Tsygankov</i> Comprehensive diagnostics of intraocular lymphomas: the role of optical coherence tomography and fine-needle aspiration biopsy ..	133
<i>S.V. Sakharova, A.A. Izmailova, M.N. Ponomareva, I.M. Petrov, N.A. Kurlovich, D.I. Boyarintsev, O.A. Lyubimtseva, V.K. Kukoleva</i> New diagnostic opportunities for uveitis	140
<i>E.P. Tarutta, S.V. Milash, M.V. Epishina, R.R. Toloraya, K.A. Ramazanova, A.N. Bedretidinov, N.A. Tarasova</i> Dynamics of anatomical and optical parameters of the eye after discontinuation of long-term use of orthokeratological lenses	145
<i>Qurat Ul Ain, Maryam Najeeb, Sadaf Qayyum, Mussafa Khalid</i> Assessment of refractive error by retinoscopy using fogging lens and cycloplegia in school aged children	152

EXPERIMENTAL AND LABORATORY STUDIES

<i>N.V. Balatskaya, E.V. Chentsova, K.V. Sirotkina, I.G. Kulikova</i> Shifts in subsets of blood lymphocyte subpopulations in patients with keratolysis as predictors of the outcome of emergency corneal transplantation	158
<i>A.M. Bystrov, A.A. Kuznetsov, E.V. Davydova, T.V. Gavrilova</i> Pigment Epithelium-Derived Factor as a possible predictor of corneal transplant rejection reaction	164

EXPERIMENTAL AND LABORATORY STUDIES

<i>E.A. Drozdova, E.L. Kazachkov, T.Yu. Kozhevnikova, D.D. Voropaev</i> Apocrine hydrocystoma of the bulbar conjunctiva: a case report ...	170
<i>Rabia Faheem, Muhammad Saad, Saif Ullah, Muqaddas Noor, Iffat Nasim</i> Low vision assessment and management in Stargardt disease: diagnostic approach and therapeutic strategies. Case report	177
<i>S.V. Yanchenko, A.V. Malyshev, N.Yu. Huddieva</i> Comorbidity in patients with primary open-angle glaucoma and ocular hypertension: potential use of a fixed-dose combination of Dorzolamide and Timolol	182

REVIEWS

<i>Bahaa A.M. Abudayyak, V.P. Nikolaenko</i> Topical steroids in ophthalmology. Part 1. Pharmacokinetics	192
<i>M.V. Zueva, V.I. Kotelin, N.V. Neroeva, N.B. Chesnokova, A.N. Zhuravleva, N.V. Balatskaya, M.V. Ryabina</i> Biomarkers of aging. Part 1. General state of the problem and approaches to assessing biological age	203

<https://doi.org/10.21516/2072-0076-2026-19-2-7-11>

Нарушение зрения у пожилых как фактор риска саркопенического ожирения

Н.М. Агарков^{1, 2, 3✉}, А.Е. Копылов², В.В. Башук³, М.Л. Курзин², А.А. Титов¹

¹ ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», ул. 50 лет Октября, д. 94, Курск, 305040, Россия

² ФГАУ НМИЦ «МНТК "Микрохирургия глаза" им. академика С.Н. Федорова», Тамбовский филиал, Рассказовское шоссе, д. 1, Тамбов, 392000, Россия

³ ФГАУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», ул. Победы, д. 85, Белгород, 308015, Россия

Нарушение зрения существенно уменьшает двигательную активность пожилых пациентов, что в значительной степени способствует развитию саркопенического ожирения. Однако нарушение зрения в качестве фактора риска саркопенического ожирения ранее не рассматривалось. Цель работы — изучение ассоциации нарушения зрения с саркопеническим ожирением. Материал и методы. Распространенность саркопенического ожирения изучена среди 315 пациентов пожилого возраста с первичной глаукомой и катарактой, диагностированных с учетом национальных критериев. Саркопеническое ожирение выявлялось на основании рекомендаций, предложенных Европейской рабочей группой — European working group on sarcopenia in older people (EWGSOP2, 2018). Результаты. Установлена различная распространенность саркопенического ожирения в зависимости от остроты зрения без коррекции на худшем глазу с максимумом $59,37 \pm 3,18\%$ случаев при остроте зрения без коррекции 0,20–0,30. Высокая распространенность саркопенического ожирения у пациентов с первичной глаукомой и катарактой выявлена также при остроте зрения без коррекции, равной 0,31–0,40, составившая $22,85 \pm 2,06\%$ случаев, что в 2,59 раза ниже, чем при остроте зрения 0,20–0,30. Низкая и практически эквивалентная распространенность саркопенического ожирения выявлена среди обследованных с остротой зрения без коррекции 0,41–0,50 и 0,51–0,60. Факторный анализ подтвердил высокую и достоверную ассоциацию саркопенического ожирения только с остротой зрения без коррекции на худшем глазу 0,20–0,30 и 0,31–0,40. Заключение. Нарушение зрения выступает значимым фактором риска саркопенического ожирения.

Ключевые слова: первичная глаукома; катаракта; саркопеническое ожирение; факторы риска; пожилые

Конфликт интересов: отсутствует.

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

Для цитирования: Агарков Н.М., Копылов А.Е., Башук В.В., Курзин М.Л., Титов А.А. Нарушение зрения у пожилых как фактор риска саркопенического ожирения. Российский офтальмологический журнал. 2026; 19 (2): 7-11. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2026-19-2-7-11>

Visual impairment in the elderly as a risk factor for sarcopenic obesity

Nikolay M. Agarkov^{1, 2, 3✉}, Andrey E. Kopylov², Victoria V. Bashuk³, Maxim L. Kurzin², Anton A. Titov¹

¹ Southwest State University, 94, 50 years of October St., Kursk, 305040, Russia

² S.N. Fedorov Tambov National medical research center "MNTK Eye Microsurgery", 1, Rasskazovskoe highway, Tambov, 392000, Russia

³ Belgorod State National Research University, 85, Pobedy Ave., Belgorod, 308015, Russia
vitalaxen@mail.ru

Visual impairment significantly reduces physical activity in elderly patients, which significantly contributes to the development of sarcopenic obesity. However, visual impairment has not previously been considered as a risk factor for sarcopenic obesity. Purpose: to study the association of visual impairment with sarcopenic obesity. Material and methods. The prevalence of sarcopenic obesity was studied among 315 elderly patients

with primary glaucoma and cataracts, diagnosed according to national criteria through a comprehensive ophthalmological examination. Sarcopenic obesity was identified based on recommendations proposed by the European Working Group on sarcopenia in older people (EWGSOP2, 2018). **Results.** The prevalence of sarcopenic obesity varied depending on the uncorrected visual acuity in the worse eye, with a maximum of $59.37 \pm 3.18\%$ of cases with uncorrected visual acuity of 0.20–0.30. A high prevalence of sarcopenic obesity in patients with primary glaucoma and cataract was also revealed with uncorrected visual acuity of 0.31–0.40, amounting to $22.85 \pm 2.06\%$ of cases, which is 2.59 times lower than with visual acuity of 0.20–0.30. A low and almost equivalent prevalence of sarcopenic obesity was found among those examined with visual acuity without correction of 0.41–0.50 and 0.51–0.60. Factor analysis confirmed a high and reliable association sarcopenic obesity only with visual acuity without correction in the worst eye of 0.20–0.30 and 0.31–0.40. **Conclusion.** Visual impairment is a significant risk factor for sarcopenic obesity.

Keywords: primary glaucoma; cataracts; sarcopenic obesity; risk factors; elderly

Conflict of interests: there is no conflict of interests.

Financial disclosure: no author has a financial or property interest in any material or method mentioned.

For citation: Agarkov N.M., Kopylov A.E., Bashuk V.V., Kursin M.L., Titov A.A. Visual impairment in the elderly as a risk factor for sarcopenic obesity. Russian ophthalmological journal. 2026; 19 (2): 7-11 (In Russ.). <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2026-19-2-7-11>

Среди недостаточно изученных в настоящее время дефицитарных состояний называют сочетание нарушения зрения с саркопеническим ожирением [1–3]. В то же время нарушение зрения и саркопеническое ожирение представляют собой широко распространенные возрастные состояния, причем считается, что нарушение зрения способствует развитию и определяет патогенез второго состояния [2, 4, 5]. По мере старения населения, происходящего в последние годы во многих странах и определяющего тренд современных демографических процессов [6, 7], будет увеличиваться частота нарушений зрения, сочетанных с саркопеническим ожирением [5]. В связи с этим повышается интерес к их изучению в группах старшего возраста, в которых нарушения зрения встречаются в 70–80 % [8].

Ведущими причинами нарушения зрения, включая слепоту, выступают катаракта и первичная глаукома [9–11]. При этом катаракта обуславливает до половины всех случаев устранимой слепоты [9], и прогнозируется ежегодное повышение частоты этой патологии в ближайший период до 2030 г. Первичная глаукома представляет вторую по значимости причину наступления слепоты в пожилом и старческом возрасте после катаракты в мире [11].

Нарушение зрения и развитие зрительного дефицита вследствие обсуждаемых офтальмологических заболеваний может явиться фактором, способствующим саркопении [12] — составной части саркопенического ожирения [13]. Саркопеническое ожирение многими специалистами определяется как сочетание саркопении и ожирения, характеризующееся возрастной потерей мышечной массы, силы и/или физической активности [13], а последняя существенно снижается у пациентов с нарушением зрения, что еще раз подчеркивает ассоциацию нарушения зрения и саркопенического ожирения, но, несмотря на это, нарушение зрения и саркопеническое ожирение анализируются редко. Кроме того, исследователи из Кореи [14] полагают, что снижение зрения у пожилых людей, вероятно, связано со сниженной мышечной силой при саркопении.

ЦЕЛЬ работы — изучение ассоциации нарушения зрения с саркопеническим ожирением.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В сформированной репрезентативной клинической группе, включающей 315 пациентов пожилого возраста (60–74 года) с первичной открытоугольной глаукомой (ПОУГ) и старческой катарактой оценивали распространенность саркопенического ожирения. Исследование выполнено в Тамбовском филиале МНТК «Микрохирургия глаза» им. академика С.Н. Федорова в 2023–2024 гг.

Выявление нарушений зрения и определение остроты зрения без коррекции проводились одним из участников настоящего исследования с применением объективных средств, сертифицированных в Российской Федерации. Все пациенты прошли комплексное офтальмологическое обследование.

В исследование включены пациенты указанного возраста с II–III стадиями ПОУГ, ядерной, кортикальной и смешанной формами катаракты.

При диагностике ПОУГ применялись критерии, изложенные в Национальном руководстве по глаукоме [15], а при выявлении старческой катаракты — клинические рекомендации «Старческая катаракта» [16]. Остроту зрения определяли в период стационарного обследования и лечения по поводу данных заболеваний в Тамбовском филиале МНТК «Микрохирургия глаза» им. академика С.Н. Федорова. Все пациенты классифицировались на 4 подгруппы в зависимости от остроты зрения без коррекции на худшем глазу: 0,20–0,30 ($n = 65$); 0,31–0,40 ($n = 83$); 0,41–0,50 ($n = 81$); 0,51–0,60 ($n = 86$).

Использование остроты зрения без коррекции на худшем глазу было выбрано нами в качестве наиболее негативно-го показателя зрительного дефицита, оказывающего влияние на двигательную активность пациентов с катарактой и ПОУГ и, следовательно, на саркопеническое ожирение.

В группе пациентов с остротой зрения без коррекции на худшем глазу 0,20–0,30 данный показатель лучшего глаза в среднем составил $0,24 \pm 0,03$, в группе 0,41–0,50 — $0,42 \pm 0,05$ и в группе 0,51–0,60 — $0,53 \pm 0,04$. Внутриглазное давление (ВГД) в выделенных подгруппах на фоне проведенной терапии было компенсированным и составило в среднем 17,6; 19,1; 18,2; 17,8 мм рт. ст. соответственно.

Выделенные 4 подгруппы пациентов с катарактой и ПОУГ значимо не различались по основным сопутствующим коморбидным соматическим заболеваниям. Так, распространенность артериальной гипертензии соответственно составила 54,7; 49,4; 51,8; 48,8 на 100 обследованных ($p > 0,05$); ишемической болезни сердца — 29,2; 31,3; 27,2; 30,2 на 100 обследованных ($p > 0,05$); заболеваний опорно-двигательного аппарата — 15,3; 18,0; 19,8; 16,3 на 100 обследованных ($p > 0,05$); перенесенных нарушений острого мозгового кровообращения — 4,6; 6,0; 4,9; 5,8 на 100 обследованных ($p > 0,05$). Все заболевания находились в стадии компенсации.

В исследование не включили пациентов с наличием диабетической ретинопатии, возрастной макулярной дегенерации, аномалий рефракции, которые помимо катаракты и глаукомы могли повлиять на снижение остроты зрения.

Саркопеническое ожирение у обследованных пациентов с ПОУГ и катарактой выявляли по критериям сниженной мышечной силы, сниженной мышечной массы, а также повышенного индекса массы тела с учетом рекомендаций, предложенных Европейской рабочей группой — European working group on sarcopenia in older people (EWGSOP2, 2018) [17]. Мышечная сила определялась методом кистевой динамометрии — ручным динамометром «ДМЭР-120» и при показателе менее 27 кг у мужчин и менее 16 кг у женщин рассматривалась как низкая. Сниженная мышечная масса соответствовала величине окружности икроножных мышц в области голени менее 31 см. Ожирением считался индекс массы тела ≥ 30 кг/м². В группах, выделенных в соответствии с остротой зрения на худшем глазу, анализировалась распространенность саркопенического ожирения.

При выполнении исследования соблюдались этические нормы и принципы, регламентируемые Хельсинской декларацией проведения клинических исследований.

Статистическая обработка результатов включала расчет медианы и межквартильных колебаний Q25/Q75, среднего значения и стандартного отклонения, а также оценку статистической значимости. Степень влияния остроты зрения без коррекции на распространенность саркопенического ожирения оценивалась посредством факторного анализа [18]. Обработка данных проведена на персональном компьютере типа Pentium с использованием стандартного статистического пакета Statistica 16.0. При оценке статистической значимости различие принималось существенным при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Нарушение зрения при катаракте и ПОУГ, как свидетельствуют полученные результаты (табл. 1), способствует формированию саркопенического ожирения, частота которого наиболее высока при остроте зрения 0,20–0,30,

Таблица 1. Распространенность саркопенического ожирения среди пациентов с ПОУГ и катарактой при различной остроте зрения (Me $\pm$ SD, %)

Table 1. Prevalence of sarcopenic obesity among patients with primary glaucoma and cataracts with varying visual acuity (Me $\pm$ SD, %)

Острота зрения без коррекции Visual acuity without correction	Распространенность саркопенического ожирения Prevalence of sarcopenic obesity	Q25/Q75
0,20–0,30 (1)	59,37 $\pm$ 3,18	53,42/65,98
0,31–0,40 (2)	22,85 $\pm$ 2,06	19,36/29,14
0,41–0,50 (3)	9,20 $\pm$ 0,94	7,05/13,21
0,51–0,60 (4)	8,58 $\pm$ 1,03	7,31/12,95
Достоверность различий по критерию Краскала — Уоллиса Reliability of differences according to the Kruskal — Wallis criterion	$p_1-p_2 = 0,0013$ $p_1-p_3 = 0,0005$ $p_1-p_4 = 0,0009$ $p_2-p_3 = 0,0016$ $p_3-p_4 = 0,514$	—

Таблица 2. Факторный анализ формирования саркопенического ожирения при различной остроте зрения без коррекции у пожилых пациентов с ПОУГ и катарактой

Table 2. Factor analysis of the formation of sarcopenic obesity with different visual acuity without correction in elderly patients with primary glaucoma and cataracts

Острота зрения без коррекции Visual acuity without correction	Величина факторной нагрузки The value of the factor load	p
0,20–0,30 (1)	0,864	0,0014
0,31–0,40 (2)	0,789	0,0012
0,41–0,50 (3)	0,231	0,0339
0,51–0,60 (4)	0,237	0,0427

т. е. при наиболее выраженном зрительном дефиците в соответствии с принятой нами градацией остроты зрения без коррекции на худшем глазу. В этой группе распространенность саркопенического ожирения статистически значимо выше (в 2,59 раза), чем при остроте зрения без коррекции на худшем глазу: 0,31–0,40 ($p = 0,0013$).

При остроте зрения без коррекции 0,41–0,50 распространенность саркопенического ожирения у пожилых пациентов с ПОУГ и катарактой является низкой, ее уровень в 2,48 раза ниже, чем при остроте зрения 0,31–0,40. Это однозначно указывает на более низкую частоту такого возрастасоциированного дефицитного состояния, как саркопеническое ожирение, при лучшей остроте зрения без коррекции 0,41–0,50, чем при 0,31–0,40. Вместе с тем при остроте зрения без коррекции на худшем глазу 0,51–0,60 распространенность саркопенического ожирения оказалась практически такой же, как и при остроте зрения без коррекции на худшем глазу 0,41–0,50, без статистически значимых различий.

Следовательно, низкая острота зрения без коррекции достоверно повышает риск формирования саркопенического ожирения среди пожилого контингента. Количественная оценка сопряженности остроты зрения без коррекции с распространенностью саркопенического ожирения у пациентов с ПОУГ и катарактой с помощью рассчитанных величин факторной нагрузки демонстрирует наличие выраженной ассоциации между обсуждаемыми возрастными дефицитными состояниями (табл. 2). Острота зрения без коррекции 0,20–0,30 является статистически значимо высокой факторной нагрузкой в формировании саркопенического ожирения у пациентов с ПОУГ и катарактой ($p < 0,001$).

Аналогичная связь выявлена и для остроты зрения без коррекции на худшем глазу 0,31–0,40, которая достоверно ассоциирована с распространенностью саркопенического ожирения у пациентов пожилого возраста с ПОУГ и катарактой. Величина факторной нагрузки для остроты зрения без коррекции в этой группе статистически значима. В то же время для остроты зрения без коррекции, составляющей 0,41–0,50 и 0,51–0,60, рассчитанные показатели факторной нагрузки нерепрезентативны, что подтверждает сделанный ранее вывод об отсутствии значимого влияния ($p > 0,05$) этих параметров зрительного дефицита при ПОУГ и катаракте у пожилых пациентов на распространенность саркопенического ожирения.

ОБСУЖДЕНИЕ

Впервые выявленное нами существенное воздействие нарушений зрения вследствие ПОУГ и катаракты на распространенность саркопенического ожирения и ассоциативность этих двух возрастных дефицитных состояний имеет практическое значение для специалистов-офтальмологов, поскольку подчеркивает важность раннего выявления и коррекции нарушений зрения у обсуждаемых пожилых пациентов, что будет способствовать снижению распространенности саркопенического ожирения, негативно влияющего, как и нарушение зрения, на качество жизни пациентов с ПОУГ и катарактой [19].

Некоторые авторы считают, что снижение зрения у пожилых людей, вероятно, связано с уменьшением мышечной силы вследствие саркопенического ожирения [14]. Установлено, в частности, что у пожилых мужчин со сниженной остротой зрения наблюдается низкая мышечная сила. Распространенность низкой мышечной массы составляла 16,4 и 34,7 % в группах с хорошим и плохим зрением соответственно. После поправки на возраст, статус курения, употребление алкоголя, частоту физической нагрузки, уровень образования, финансовые доходы группа пациентов старческого возраста с остротой зрения < 0,5 имела более высокие шансы низкой мышечной массы с относительным риском 1,60 (95%-ный доверительный интервал, 1,02–2,50; $p = 0,040$), чем группа с хорошей остротой зрения, — выше 0,5. Однако механизм, посредством которого связано зрение и мышечная сила, являющаяся ведущим диагностическим критерием саркопенического ожирения, пока не ясен.

В процессе старения хрусталик теряет свою эластичность и нормальную аккомодационную способность и не может обеспечить адекватную фокусировку на близком расстоянии для чтения. Одним из механизмов, лежащих в основе пресбиопии, является функциональная недостаточность цилиарных гладких мышц, которые играют роль в увеличении кривизны хрусталика и обеспечении аккомодации [14]. Необходимы дальнейшие исследования, чтобы выяснить, затрагивает ли потеря мышечной массы также глазные мышцы, тем самым влияя на зрение.

Распространенность нарушений зрения существенно нарастает по мере старения людей и у пациентов с саркопеническим ожирением, являющейся одним из составных элементов саркопенического ожирения. В пожилом возрасте, согласно данным самоотчетов пациентов о нарушении зрения, это состояние встречается в 93,3 % случаев, что значительно выше, чем у пациентов без саркопении [12]. Кроме того, сообщается о повышенном риске саркопении у пациентов с тяжелым нарушением зрения. При этом указывается, что связь между нарушением зрения и саркопенией обусловлена низкой физической активностью у людей с низкой остротой зрения, которое служит серьезным барьером к активной деятельности и физической активности таких пациентов [12]. Низкая физическая активность приводит к снижению мышечной силы, подвергая человека большему риску саркопении. Связь нарушения зрения с саркопенией оставалась значимой даже после поправки на сердечно-сосудистые факторы, ограничивающие также физическую активность пациентов и способствующие саркопеническому ожирению.

Саркопеническое ожирение, как установлено в настоящем исследовании, сопряжено с нарушением зрения у пожилых пациентов. Поэтому можно сделать другой важный вывод: нарушение зрения представляет собой ранний индикатор саркопенического ожирения в пожилом возрасте. В связи с этим при обследовании пожилых необходимо не только выполнение скрининга нарушений зрения, но и саркопенического ожирения, тесно связанного с нарушением зрения у пациентов с ПОУГ и катарактой, чтобы улучшить их независимость в повседневной жизни и качество жизни.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Нарушение зрения выступает значимым фактором риска саркопенического ожирения. При остроте зрения без коррекции 0,20–0,30 и 0,31–0,40 у пожилых пациентов с ПОУГ и катарактой отмечается высокая распространенность саркопенического ожирения. Рассчитанные показатели факторной нагрузки показывают, что такие показатели

остроты зрения имеют тесную сопряженность с саркопеническим ожирением в популяции пожилых. Ранний и регулярный скрининг остроты зрения в данном возрасте и ее коррекция будут способствовать снижению распространенности саркопенического ожирения у пациентов с ПОУГ и катарактой.

Литература/References

1. Фабрикантов О.Л., Копылов А.Е., Агарков Н.М. Особенности влияния катаракты и глаукомы на деятельность в повседневной жизни пациентов с саркопеническим ожирением. *Офтальмология*. 2024; 21 (4): 749–54. [Fabrikantov O.L., Kopylov A.E., Agarkov N.M. Features of the effect of cataracts and glaucoma on the daily activities of patients with sarcopenic obesity. *Ophthalmology in Russia*. 2024; 21 (4): 749–54 (In Russ.)]. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2024-4-749-754>
2. Фабрикантов О.Л., Копылов А.Е., Агарков Н.М. и др. Возрастная жизнеспособность пациентов с офтальмопатологией в зависимости от диссоциации возраста. *Офтальмология*. 2024; 21 (4): 838–43. [Fabrikantov O.L., Kopylov A.E., Agarkov N.M., et al. Age-related viability of patients with ophthalmopathology depending on age dissociation. *Ophthalmology in Russia*. 2024; 21 (4): 838–43 (In Russ.)]. doi: 10.18008/1816-5095-2024-4-838-843
3. Лев И.В., Агарков Н.М. Гериатрическая тактика ведения пациентов с диабетической ретинопатией. *Научные результаты биомедицинских исследований*. 2023; 9 (1): 129–41. [Lev I.V., Agarkov N.M. Geriatric management of patients with diabetic retinopathy. *Research Results in Biomedicine*. 2023; 9 (1): 129–41 (In Russ.)]. doi: 10.18413/2658-6533-2023-9-1-0-9
4. Азарова Ю.Э. Связь полиморфизма rs12449964 гена фосфатидилэтанолламин-*n*-метилтрансферазы с развитием гипертриглицеридемии и ожирения у больных сахарным диабетом 2-го типа. *Научные результаты биомедицинских исследований*. 2021; 7 (3): 245–56. [Azarova Yu.E. Relationship of the rs12449964 polymorphism of the phosphatidyl-ethanolamine-*n*-methyltransferase gene with the development of hypertriglyceridemia and obesity in patients with type 2 diabetes mellitus. *Research results in biomedicine*. 2021; 7 (3): 245–56 (In Russ.)]. doi: 10.18413/2658-6533-2021-7-3-0-4
5. Ho KC, Gupta P, Fenwick EK, et al. Association between age-related sensory impairment with sarcopenia and its related components in older adults: a systematic review. *J Cachexia Sarcopenia Muscle*. 2022; 13 (2): 811–23. doi: 10.1002/jcsm.12930
6. Рязанцев С.В., Ростовская Т.К., Давлетшина Л.А. Актуальные проблемы демографии и подготовка демографов в Туве. *Новые исследования Тувы*. 2022; 4: 146–68. [Ryazantsev S.V., Rostovskaya T.K., Davletshina L.A. Actual problems of demography and training of demographers in Tuva. *The New Research of Tuva*. 2022; 4: 146–68 (In Russ.)]. doi: 10.25178/nit.2022.4.12
7. Валиахметов Р.М., Ломанова А.К., Абылкаликов С.И. Сравнительный анализ демографической динамики в контексте развития человеческого потенциала в Башкортостане и Татарстане (1959–2021 гг.). *Новые исследования Тувы*. 2024; 4: 360–76. [Valiakhmetov R.M., Romanova A.K., Abylkalikov S.I. Comparative analysis of demographic dynamics in the context of human potential development in Bashkortostan and Tatarstan (1959–2021). *The New Research of Tuva*. 2024; 4: 360–76 (In Russ.)]. doi: 10.25178/nit.2024.4.23
8. Burton MJ, Ramke J, Marques AP, et al. The Lancet Global Health Commission on Global Eye Health: vision beyond 2020. *Lancet Glob Health*. 2021; 9 (4): e489–e551. doi: 10.1016/s2214-109x(20)30488-5
9. Wu TH, Jiang B, Liu WM, et al. Time trends and gender disparities of Chinese cataract burden and their predictions. *Int J Ophthalmol*. 2023; 16 (9): 1527–34. doi: 10.18240/ijo.2023.09.21
10. Lin Y, Jiang B, Cai Y, et al. The Global Burden of Glaucoma: Findings from the Global Burden of Disease 2019 Study and Predictions by Bayesian Age-Period-Cohort Analysis. *J Clin Med*. 2023; 12 (5): 1828. doi: 10.3390/jcm12051828
11. Usgaonkar UP, Naik R, Shetty A. The economic burden of glaucoma on patients. *Indian J Ophthalmol*. 2023; 71 (2): 560–6. doi: 10.4103/ijo.ijo_1676_22
12. Metanmo S, Kuate-Tegueu C, Gbessemehian A, et al. Self-reported visual impairment and sarcopenia among older people in Cameroon. *Sci Rep*. 2022; 12 (1): 17694. doi: 10.1038/s41598-022-22563-9
13. Hwang J, Park S. Gender-specific prevalence and risk factors of sarcopenic obesity in the Korean elderly population: A nationwide cross-sectional study. *Int J Environ Res Public Health*. 2023; 20 (2): 1140. doi: 10.3390/ijerph20021140
14. Moon JH, Oh YH, Kong MH, et al. Relationship between visual acuity and muscle mass in the Korean older population: a cross-sectional study using Korean National Health and Nutrition Examination Survey. *BMJ Open*. 2019; 9 (12): e033846. doi: 10.1136/bmjopen-2019-033846
15. Нестеров А.П. Глаукома изд. 2-е. Москва: Медицинское информационное агентство, 2014. [Nesterov A.P. Glaucoma ed. 2-E. Moscow: Medical Information Agency, 2014 (In Russ.)].

16. Клинические рекомендации «Катаракта старческая». Москва: общероссийская общественная организация «Ассоциация врачей-офтальмологов», 2023. [Clinical recommendations "Senile cataract". Moscow: All-Russian public organization "Association of Ophthalmologists", 2023 (In Russ.).]
17. Cruz-Jentoft AJ, Bahat G, Bauer J, et al. Sarcopenia: revised European consensus on definition and diagnosis. *Age Ageing*. 2019; 48 (1): 16–31. doi: 10.1093/ageing/afy169
18. Айвазян С.А. Прикладная статистика. Основы эконометрики. Москва: Юнити, 2001. [Ayvazyan S.A. Applied statistics. Fundamentals of econometrics. Moscow: Unity, 2001 (In Russ.).]
19. Агарков Н.М., Чухраев А.М., Фабрикантов О.Л. и др. Снижение качества жизни у пожилых пациентов с глаукомой. *Офтальмология*. 2021; 18 (3): 527–31. [Agarkov N.M., Chukhraev A.M., Fabrikantov O.L., et al. Decreased quality of life in elderly patients with glaucoma. *Ophthalmology in Russia*. 2021; 18 (3): 527–31 (In Russ.).] doi: 10.18008/1816-5095-2021-3-527-531

Вклад в работу авторов: Н.М. Агарков — научное редактирование; А.Е. Копылов — сбор данных, написание статьи; В.В. Башук — анализ данных; М.Л. Курзин — сбор данных; А.А. Титов — анализ литературы.

Author's contribution: N.M. Agarkov — scientific editing of the article; A.E. Kopylov — data collection, writing of the article; V.V. Bashuk — data analysis; M.L. Kursin — data collection; A.A. Titov — literature analysis.

Поступила: 24.02.2025. Переработана: 09.04.2025. Принята к печати: 18.04.2025

Originally received: 24.02.2025. Final revision: 09.04.2025. Accepted: 18.04.2025

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ/INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

¹ ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», ул. 50 лет Октября, д. 94, Курск, 305040, Россия

² ФГАУ НМИЦ «МНТК "Микрохирургия глаза" им. академика С.Н. Федорова», Тамбовский филиал, Рассказовское шоссе, д. 1, Тамбов, 392000, Россия

³ ФГАУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», ул. Победы, д. 85, Белгород, 308015, Россия

Николай Михайлович Агарков — д-р мед. наук, профессор, профессор кафедры биомедицинской инженерии¹, научный сотрудник², профессор кафедры пропедевтики внутренних болезней и клинических информационных технологий, старший научный сотрудник лаборатории «Проблемы старения»³, ORCID 0000-0002-4821-3692

Андрей Евгеньевич Копылов — канд. мед. наук, заведующий отделением лазерного центра², ORCID 0000-0002-3536-1645

Виктория Владимировна Башук — д-р мед. наук, доцент, профессор кафедры госпитальной хирургии³, ORCID 0000-0002-3099-5737

Максим Леонидович Курзин — врач-офтальмолог 1-го отделения², ORCID 0000-0001-8788-0300

Антон Андреевич Титов — студент кафедры биомедицинской инженерии¹, ORCID 0000-0003-4209-3930

Для контактов: Николай Михайлович Агарков,

vitalaxen@mail.ru

¹ Southwest State University, 94, 50 years of October St., Kursk, 305040, Russia

² S.N. Fedorov Tambov National medical research center "MNTK Eye Microsurgery", 1, Rasskazovskoe highway, Tambov, 392000, Russia

³ Belgorod State National Research University, 85, Pobedy Ave., Belgorod, 308015, Russia

Nikolay M. Agarkov — Dr. of Med. Sci., professor, professor of chair of biomedical engineering¹, researcher², professor of chair of propaedeutics of internal diseases and clinical information technologies, senior researcher, laboratory "Problems of aging"³, ORCID 0000-0002-4821-3692

Andrey E. Kopylov — Cand. of Med. Sci., head of the department of the laser center², ORCID 0000-0002-3536-1645

Victoria V. Bashuk — Dr. of Med. Sci., associate professor, professor of chair of hospital surgery³, ORCID 0000-0002-3099-5737

Maxim L. Kursin — ophthalmologist of the 1st department², ORCID 0000-0001-8788-0300

Anton A. Titov — student of chair of biomedical engineering¹, ORCID 0000-0003-4209-3930

For contacts: Nikolay M. Agarkov,
vitalaxen@mail.ru

Дифференциально-диагностические критерии опухолей слезной железы по данным комплексного ультразвукового исследования

А.Г. Амирян¹✉, С.В. Саакян^{1,2}, Т.Н. Киселева¹, М.Ю. Гусакова¹, М.С. Зайцев¹, А.А. Зайцева¹

¹ ФГБУ «НМИЦ глазных болезней им. Гельмгольца» Минздрава России, ул. Садовая-Черногрозская, д. 14/19, Москва, 105062, Россия

² ФГБОУ ВО «Российский университет медицины» Минздрава России, ул. Делегатская, д. 20, стр. 1, Москва, 127473, Россия

Ультразвуковая диагностика является высокоинформативным методом неинвазивной диагностики в офтальмоонкологии. Однако ее возможности в дифференциальной диагностике опухолей слезной железы (ОСЖ) изучены недостаточно. **Цель работы** — определить структурные и гемодинамические характеристики ОСЖ на основе комплексного высокочастотного ультразвукового сканирования. **Материал и методы.** Обследованы 52 пациента (104 орбиты), 32 женщины и 20 мужчин, в возрасте от 26 до 81 года, с гистологически верифицированными ОСЖ, из них 27 случаев лимфомы слезной железы (СЖ), 12 случаев плеоморфной аденомы и 13 случаев рака СЖ. Сравнивали различные морфологические варианты опухолей, анализировали также здоровые СЖ данных пациентов, за исключением двустороннего поражения. Комплексное ультразвуковое исследование ОСЖ включало В-режим, цветное доплеровское картирование и импульсно-волновую доплерографию. Оценивали эхоструктуру и васкуляризацию опухолей, определяли показатели кровотока с расчетом индексов периферического сопротивления в собственных сосудах опухоли, в слезной артерии и вене. **Результаты.** Определены диагностически значимые эхографические критерии, характерные для ОСЖ различной этиологии. **Заключение.** Комплексное ультразвуковое исследование можно рекомендовать в качестве одного из методов визуализации в схеме комплексной дифференциальной диагностики ОСЖ с целью определения оптимальной тактики лечения.

Ключевые слова: слезная железа; опухоли слезной железы; ультразвуковое исследование; цветное доплеровское картирование; гемодинамика

Конфликт интересов: конфликт интересов отсутствует.

Прозрачность финансовой деятельности: никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

Для цитирования: Амирян А.Г., Саакян С.В., Киселева Т.Н., Гусакова М.Ю., Зайцев М.С., Зайцева А.А. Дифференциально-диагностические критерии опухолей слезной железы по данным комплексного ультразвукового исследования. Российский офтальмологический журнал. 2026; 19 (2):12-21. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2026-19-2-12-21>

Differential diagnostic criteria of lacrimal gland tumors based on comprehensive ultrasound examination

Anush G. Amiryan¹✉, Svetlana V. Saakyan^{1,2}, Tatyana N. Kiseleva¹,
Maria Yu. Gusakova¹, Maxim S. Zaitsev¹, Alina A. Zaitseva¹

¹ Helmholtz National Medical Research Center of Eye Disease, 14/19, Sadovaya-Chernogryazskaya St., Moscow, 105062, Russia

² Russian University of Medicine, 20, Bldg. 1, Delegatskaya St., Moscow, 127473, Russia

amiryan@yandex.ru

*Ultrasound is a highly informative method of noninvasive diagnostics in ophthalmic oncology. However, its potential in the differential diagnostics of lacrimal gland tumors (LGT) has not been sufficiently studied. **Purpose** of the work was to determine the structural and hemodynamic characteristics of LGT based on complex high-frequency ultrasound scanning. **Material and methods.** The study included 52 patients (104 orbits), 32 women and 20 men, aged 26 to 81 years, with histologically verified LGT, including 27 cases of lacrimal gland (LG) lymphoma, 12 cases of pleomorphic adenoma, and 13 cases of LG cancer. Various morphological variants of tumors were compared with each other, and healthy LG of these patients were also analyzed, except for bilateral lesions. A comprehensive ultrasound examination of the LGT included B-mode, color Doppler mapping (CDM), and pulsed-wave Dopplerography. The echostructure and vascularization of tumors were assessed, blood flow indices were determined by calculating the indices of peripheral resistance in the tumor's own vessels, in the lacrimal artery and vein. **Results.** Diagnostically significant echographic criteria characteristic of OSG of various etiologies have been determined. **Conclusion.** A comprehensive ultrasound examination can be recommended as one of the visualization methods in the comprehensive differential diagnosis of LGT in order to determine the optimal treatment strategy.*

Keywords: lacrimal gland; lacrimal gland tumors; ultrasound examination; color Doppler mapping; hemodynamics

Conflict of interests: there is no conflict of interests.

Financial disclosure: no author has a financial or property interest in any material or method mentioned.

For citation: Amiryan A.G., Saakyan S.V., Kiseleva T.N., Gusakova M.Yu., Zaitsev M.S., Zaitseva A.A. Differential diagnostic criteria of lacrimal gland tumors based on comprehensive ultrasound examination. Russian ophthalmological journal. 2026; 19 (2): 12-21 (In Russ.). <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2026-19-2-12-21>

Опухоли слезной железы (ОСЖ) представляют собой широкий спектр новообразований эпителиальной и не-эпителиальной природы. Из эпителиальных опухолей чаще всего встречается плеоморфная аденома (ПА) и рак слезной железы (РСЖ), из неэпителиальных — лимфома слезной железы (ЛСЖ). Частота поражений слезной железы (СЖ) в популяции составляет 1,3 случая на 1 млн населения в год, примерно половина из которых представлена неопластическим процессом [1–3]. По данным нашего центра, ОСЖ составляют 14 % от всех объемных образований орбиты.

Диагностика ОСЖ представляет собой трудную задачу. Клиническая картина зачастую неубедительна и характеризуется схожей орбитальной симптоматикой (рис. 1, А–В). Поэтому диагностика ОСЖ является комплексной и основана на совокупности клинико-инструментальных данных. Компьютерная томография (КТ) и магнитно-резонансная томография (МРТ) орбит традиционно считаются лучшими визуализирующими диагностическими методами объемных новообразований орбиты, в том числе и СЖ [4–6]. Ультразвуковое исследование (УЗИ) является не менее важным в диагностике объемных процессов орбиты методом и, будучи неинвазивным, безопасным и доступным, обладает высокими диагностическими возможностями [7–9].

На сегодняшний день в офтальмологии широко используются современные ультразвуковые сканеры с высокочастотными датчиками, позволяющие в режиме реального времени получить качественное изображение исследуемой

области. Активно применяются доплеровские режимы сканирования — цветное доплеровское картирование (ЦДК) и импульсная доплерография (ИД), что дает возможность неинвазивным путем оценить ангиоархитектонику новообразования, а также определять качественные и количественные характеристики кровотока в сосудах опухоли и в магистральных сосудах орбиты. Однако диагностическая ценность критериев, выявляемых с помощью комплексного УЗИ при ОСЖ, остается недостаточно изученной и несистематизированной.

ЦЕЛЬ работы — изучить структурные и гемодинамические характеристики ОСЖ на основе комплексного высокочастотного ультразвукового сканирования и определить дифференциально-диагностические критерии.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Обследованы 52 пациента с ОСЖ, в том числе 32 (61,5 %) женщины и 20 (38,4 %) мужчин в возрасте от 26 до 81 года (в среднем $55,4 \pm 13,9$ года). У 7 (13,5 %) пациентов выявлен двусторонний процесс. Помимо стандартного офтальмологического обследования с оценкой орбитального статуса, проводили КТ орбит и комплексное УЗИ.

Диагноз опухоли подтвержден результатами патогистологического исследования операционного биоптата, полученного в процессе орбитотомии. В 27 (52 %) случаях диагностирована ЛСЖ, в 12 (23 %) случаях — ПА, а в 13 (25 %) — РСЖ (рис. 2, А–В). Среди РСЖ у 7 пациентов

установлен аденокистозный рак, у 4 — рак из плеоморфной аденомы, у 2 — первичный протоковый рак. У всех пациентов с двусторонним процессом установлен диагноз ЛСЖ: в 6 случаях — с вовлечением обеих СЖ, в одном случае опухоль контралатеральной стороны локализовалась под верхней стенкой орбиты.

Комплексное УЗИ выполняли с использованием двухмерной серошкальной эхографии (В-метод), режима цветового доплеровского картирования (ЦДК) и импульсно-волновой доплерографии (ИД) на многофункциональной ультразвуковой диагностической системе Voluson® E8 (GE, Healthcare) в режиме реального времени с линейным датчиком, работающим в диапазоне частот 11–18 МГц.

Для обеспечения безопасности ультразвукового сканирования с использованием многофункциональной ультразвуковой системы проведена установка ряда параметров акустической мощности: тепловой индекс (TI) $\leq 1,0$, механический индекс (MI) $\leq 0,23$, усредненная по времени интенсивность (Spatial Peak Temporal Average Intensity) (Ispta) ≤ 50 мВт/см². При выполнении УЗИ уровень акустической мощности и время облучения соответствовали принципу ALARA (As Low As Reasonably Achievable). Этот принцип заключается в рациональном использовании ультразвукового излучения в диагностических целях, т. е. в получении диагностической информации с использованием разумно эффективного уровня акустической мощности [10]. Сканирование проводили транспальпебрально в положении больного лежа на спине при закрытых глазах (в состоянии полной релаксации пациента), в затемненном помещении с постоянной температурой воздуха (21 °C) с использованием специального геля для УЗИ.

В режиме В-сканирования оценивали контуры образования (четкие, нечеткие), гомогенность (однородная, неоднородная), наличие эхографически определяемой капсулы опухоли. Денситометрические характеристики опухоли определяли в 3 разных ее сегментах на основании серошкальных гистограмм с расчетом средних значений трех последовательных измерений.

В режиме ЦДК по плотности распределения цветовых картограмм потоков в проекции опухоли определяли наличие собственной васкуляризации новообразования, которую оценивали по субъективной 3-балльной шкале, где 0 означало отсутствие видимых картограмм собственных сосудов опухоли (ССО) — аваскулярный тип, 1 — во всем очаге поражения не более 3 ССО (гиповаскулярный тип), 2 — более 3 ССО (гиперваскулярный тип). В режиме ИД определяли линейные скоростные характеристики кровотока в ССО и в слезной артерии (СА) — максимальную систолическую скорость кровотока (Vps, см/с), конечную диастолическую скорость кровотока (Ved, см/с), а также рассчитывали показатели вазорезистентности: индекс пульсации (Gosling, PI) и индекс периферического сопротивления (Pourcelot, RI). В слезной вене (СВ) определяли максимальную скорость кровотока (Vmax, см/с) за сердечный цикл. Гемодинамические характеристики кровотока оценивали с двух сторон, при этом показатели здоровой (интактной) стороны принимались за нормальные величины. Из исследования были исключены пациенты с тяжелой соматической патологией, с наличием метастазов, артериальной гипертензией, сахарным диабетом и стенозирующим атеросклерозом магистральных артерий головы и шеи.

Используя данные КТ, рассчитывали примерный объем опухоли по формуле объема эллипсоида $V = 4/3\pi abc$,



Рис. 1. Внешний вид пациентов с ОСЖ: А — неходжкинская MALT-лимфома, Б — плеоморфная аденома, В — аденокистозный рак слезной железы

Fig. 1. Appearance of patients with LGT: A — non-Hodgkin's MALT lymphoma, Б — pleomorphic adenoma, В — adenoid cystic carcinoma of the lacrimal gland



Рис. 2. Макроскопический вид ОСЖ: А — лимфома, Б — плеоморфная аденома, В — аденокистозный рак

Fig. 2. Macroscopic appearance of the LGT: A — lymphoma, Б — pleomorphic adenoma, В — adenoid cystic carcinoma

где V — объем эллипсоида, a, b, и c — полуоси эллипсоида, которые измеряли в различных направлениях. При ЛСЖ медиана объема опухоли составила 3,8 см³ [1,8; 7,6]; при ПА — 4,1 см³ [3,2; 5,9]; при РСЖ — 5,8 см³ [4,1; 9,3].

Статистический анализ проведен с применением пакета программ Microsoft Excel и IBM SPSS Statistics 23.0. Проводили расчет минимальных, максимальных и средних значений, стандартного (среднего квадратичного) отклонения (σ), медианы (Me), 25-го и 75-го перцентилей [25 %; 75 %]. Для сравнения групп применяли непараметрические критерии Манна — Уитни (U), Краскела — Уоллиса (χ^2) и их значимость, корреляцию параметров определяли с помощью коэффициентов корреляции Пирсона (r). Рассчитывали точный критерий Фишера (F). Различия считались значимыми при уровне $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Комплексное УЗИ ОСЖ, включающее режимы В-сканирования, ЦДК и ИД, позволило выявить диагностически значимые эхографические критерии, характерные для ОСЖ различного генеза.

Чаще всего ($n = 49$; 94,2 %) опухолевое поражение выявляли в орбитальной доле СЖ, однако у 3 (5,8 %) пациентов образование развивалось из пальпебральной доли, а орбитальная часть вовлекалась реактивно, что подтверждено патоморфологическим исследованием; у 2 из них диагностирована ПА, а у одного — ЛСЖ.

При исследовании в режиме серошкального сканирования у всех пациентов с ЛСЖ ($n = 33$; 100 %) выявлена неоднородная структура опухоли с гипоехогенными участками и гиперэхогенными перемышками (тяжами), преимуще-

Таблица 1. Дифференциально-диагностические эхографические признаки ОСЖ в В-режиме
Table 1. Differential diagnostic echographic signs of LGT in B-mode

Эхографические признаки опухоли Tumor echographic signs		Опухоль		
		1 ЛСЖ LLG n = 33	2 ПА PA n = 12	3 РСЖ LGC n = 13
Структура Structure	Однородная Homogeneous	—	58 % (n = 7)	—
	Неоднородная Heterogeneous	100 % (n = 33)	42 % (n = 5)	100 % (n = 13)
	Точный критерий Фишера, χ^2 , p-значимость Fisher's exact test, χ^2 , p-significance	$p_{1,2} < 0,001$; $p_{1,3} = 0,5$; $p_{2,3} = 0,01$		
	Гиперэхогенные перемышки (тяжи) Hyperechoic ligaments (cords)	100 % n = 33	—	—
	Точный критерий Фишера, χ^2 , p-значимость Fisher's exact test, χ^2 , p-significance	$p_{1,2} < 0,001$; $p_{1,3} < 0,001$; $p_{2,3} = 1,0$		
	Гиперэхогенные включения (кальцинаты) Hyperechoic inclusions (calcifications)	—	8 % n = 1	38 % n = 5
	Точный критерий Фишера, χ^2 , p-значимость Fisher's exact test, χ^2 , p-significance	$p_{1,2} = 0,5$; $p_{1,3} = 0,004$; $p_{2,3} = 0,2$		
	Анэхогенные включения Anechoic inclusions	—	25 % n = 3	69 % n = 9
	Точный критерий Фишера, χ^2 , p-значимость Fisher's exact test, χ^2 , p-significance	$p_{1,2} = 0,05$; $p_{1,3} < 0,001$; $p_{2,3} = 0,04$		
Контур Contours	Четкие Clear	73% n = 24	100% n = 12	62% n = 8
	Нечеткие Fuzzy	27 % n = 9	—	38 % n = 5
	Точный критерий Фишера, χ^2 , p-значимость Fisher's exact test, χ^2 , p-significance	$p_{1,2} = 0,05$; $p_{1,3} < 0,001$; $p_{2,3} = 0,04$		
Акустическая плотность, усл. ед. Acoustic density, c.u.	$M_{cp} \pm \sigma$ $Ma \pm \sigma$ (min-max)*	59 ± 24,7 (20,5–96,3)	79,5 ± 22,4 (35,3–107,5)	89,9 ± 36,2 (46,7–155)
	Критерий Манна — Уитни, U, p-значимость Mann — Whitney, U test, p-significance	$p_{1,2} = 0,04$; $p_{1,3} = 0,008$; $p_{2,3} = 0,492$		
	Краскела — Уоллиса, χ^2 , p-значимость Kruskal — Wallis test, χ^2 , p-significance	8,461 $p = 0,015$		

Примечание. ЛСЖ — лимфома слезной железы, ПА — плеоморфная аденома, РСЖ — рак слезной железы, n — количество глаз, * — $M_{cp} \pm \sigma$ — среднее значение ± стандартное отклонение; min-max — минимальное и максимальное значения параметра в выборке.

Note. LLG — lacrimal gland lymphoma, PA — pleomorphic adenoma, LGC — lacrimal gland cancer, n — number of eyes, * — $Ma \pm \sigma$ — mean value ± standard deviation; min-max — minimum and maximum values of the parameter when selecting.

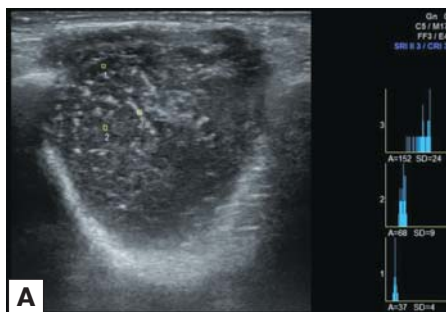


Рис. 3. Лимфома (А), плеоморфная аденома (Б) и рак слезной железы (В) в режиме В-сканирования с оценкой денситометрических характеристик

Fig. 3. Lymphoma (A), pleomorphic adenoma (B) and lacrimal gland cancer (B) in B-scan mode with assessment of densitometric characteristics

ственно с четкими границами ($n = 24$; 73 %) (табл. 1). Для ПА, в отличие от ЛСЖ, оказалась характерной преимущественно однородная структура опухоли ($n = 7$; 58 %), наличие четких и относительно ровных границ, а также гиперэхогенная капсула новообразования. У 1 пациента с ПА (8 %) выявлены гиперэхогенные включения, у 3 (25 %) — анэхогенные. Во всех случаях РСЖ ($n = 13$; 100 %) отмечали неоднородную структуру с наличием гипо- и гиперэхогенных участков с четкими ($n = 8$) и нечеткими ($n = 5$) границами. У 5 (38 %) больных с РСЖ ($n = 5$; 38 %) выявлены гиперэхогенные включения (кальцинаты) и у 9 (69 %) больных — анэхогенные участки, соответствующие кистозному компоненту в опухоли.

Определение денситометрических характеристик опухоли на основе построения серошкальных гистограмм показало, что наименьшими значениями акустической плотности обладали ЛСЖ, в то время как наибольшая акустическая плотность выявлена при РСЖ (рис. 3, А–В). Установлены статистически значимые различия между акустической плотностью ЛСЖ и ПА ($p = 0,04$), РСЖ ($p = 0,008$) и контралатеральной здоровой СЖ ($p = 0,001$). Корреляций и значимых различий между размером образования

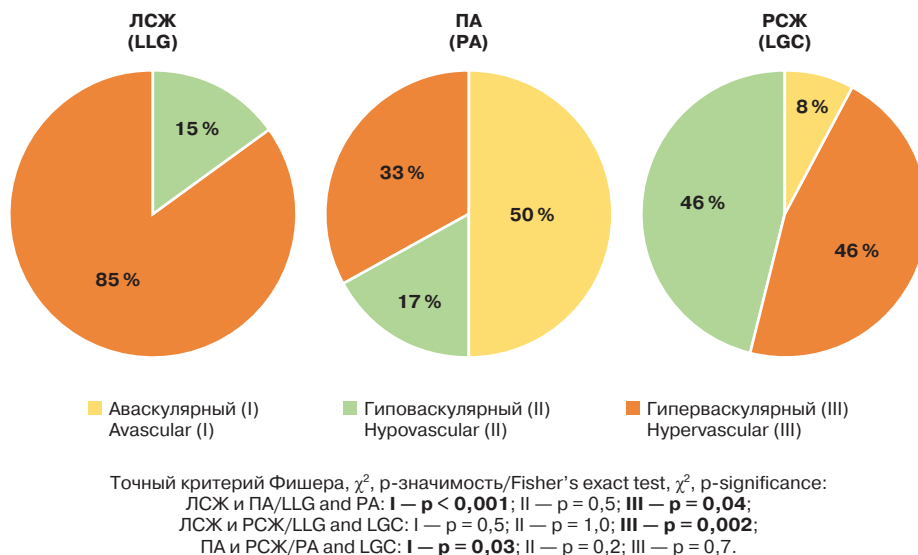


Рис. 4. Частота распределения вариантов васкуляризации при различных опухолях слезных желез

Fig. 4. Frequency distribution of vascularization variants in different LGT

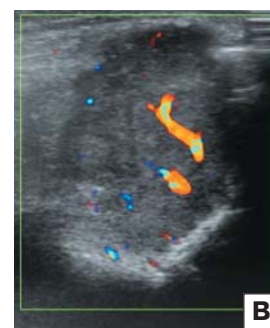
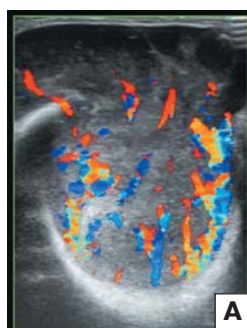


Рис. 5. Опухоли слезных желез в режиме ЦДК: лимфома слезной железы, гиперваскулярный тип (А); плеоморфная аденома, аваскулярный тип (Б)

Fig. 5. Lacrimal gland tumors in the color Doppler mode: lymphoma of the lacrimal gland, hypervascular type (A); pleomorphic adenoma, avascular type (B); cancer of the lacrimal gland, hypovascular type (B)

и акустической плотностью опухоли выявить не удалось ($p > 0,05$).

В режиме ЦДК цветные картограммы потоков выявлены во всех случаях ЛСЖ, которые характеризовались преимущественно гиперваскулярным типом ($n = 28$; 85 %) с древовидным распределением картограмм по всей площади образования. При ПА в половине случаев ($n = 6$; 50 %) опухоли оказались эхографически аваскулярными, а гиперваскулярный тип встречался в 2 раза чаще, чем гиповаскулярный (в 33 и 17 % случаев соответственно). Цветовые картограммы ССО при РСЖ выявлены в 92 % ($n = 12$) случаев, при этом гипер- и гиповаскулярные варианты васкуляризации встречались с одинаковой частотой (46 %), в одном случае (8 %) ССО не регистрировались. Таким образом, нами установлено, что для ЛСЖ наиболее характерен гиперваскулярный тип васкуляризации опухоли (85 % случаев), в то время как для ПА — аваскулярный (50 % случаев), а при РСЖ одинаково часто наблюдали как гипер-, так и гиповаскулярные типы опухоли (46 % случаев) (рис. 4, 5, А–В).

С применением режима ИД нами определены гемодинамические характеристики кровотока в ССО (табл. 2).

Таблица 2. Допплеровские характеристики кровотока в собственных сосудах лимфомы слезной железы (ЛСЖ), плеоморфной аденомы (ПА) и рака слезной железы (РСЖ)

Table 2. Doppler characteristics of blood flow in the proper vessels of the lacrimal gland lymphoma (LLG), pleomorphic adenoma (PA) and lacrimal gland cancer (LGC)

Опухоль Tumor	Vps, cm/c Vps, cm/s	Ved, cm/c Ved, cm/s	PI	RI
	Mcp ± σ (min-max)**** Ma ± σ (min-max)****			
ЛСЖ LLG	12,4 ± 5,1 (4,4–30,5)	4,1 ± 2,1 (0–10,4)	1,2 ± 0,5 (0,3–3,1)	0,6 ± 0,2 (0,3–1)
ПА PA	8,7 ± 4,3 (4,0–15,1)	0,6 ± 0,5 (0–1,4)	4,0 ± 1,4 (1,3–6,0)	1 ± 0,06 (0,9–1,0)
РСЖ LGC	9,9 ± 6,6 (3,3–30,8)	2,9 ± 2,4 (0–11,1)	1,3 ± 0,7 (0,5–3,3)	0,7 ± 0,2 (0,4–1,0)
Критерий Манна — Уитни, U, p-значимость Mann — Whitney, U test, p-significance	154,0* p = 0,149	16,5* p < 0,001	46,0* p < 0,001	21,0* p < 0,001
	515,5** p = 0,006	544,0** p = 0,02	1090,5** p = 0,085	730,0** p = 0,505
	85,0*** p = 0,929	28,5*** p = 0,002	6,5*** p < 0,001	28,5 p = 0,002
Критерий Краскела — Уоллиса, χ², p-значимость Kruskal — Wallis test, χ², p-significance	8,6 p = 0,014	22,1 p < 0,001	21,3 p < 0,001	16,6 p < 0,001

Примечание. Vps — максимальная систолическая скорость кровотока, Ved — конечная диастолическая скорость кровотока, PI — индекс пульсации, RI — индекс периферического сопротивления, * — при сравнении ЛСЖ и ПА, ** — при сравнении ЛСЖ и РСЖ, *** — при сравнении ПА и РСЖ. **** — Mcp ± σ — среднее значение ± стандартное отклонение; min-max — минимальное и максимальное значения параметра в выборке.

Note. Vps — maximum systolic blood flow velocity, Ved — end diastolic blood flow velocity, PI — pulsatility index, RI — peripheral resistance index, * — when comparing LLG and PA, ** — when comparing LLG and LGC, *** — when comparing PA and LGC. **** — Ma ± Regular — mean value ± standard deviation; min-max — minimum and maximum values of the parameter in the sample.

Как следует из таблицы 2, при ЛСЖ установлены наиболее высокие линейные скоростные характеристики кровотока в ССО и низкие RI по сравнению с аналогичными характеристиками при ПА и РСЖ (рис. 6, А). При этом максимально низкие показатели скорости кровотока и наиболее высокие значения RI регистрировались в ССО ПА (рис. 6, Б). Так, значение PI в ССО ПА оказалось более чем в 3 раза выше (PI = 4,0 ± 1,4) аналогичных показателей при ЛСЖ и РСЖ (p < 0,001). Скоростные характеристики кровотока в ССО при РСЖ оказались выше, чем при ПА (рис. 6, В). Сравнительный анализ доплеровских характеристик кровотока в ССО исследуемых опухолей показал, что различия статистически значимы (p < 0,05). При попарном сравнении определены достоверные различия между Vmax в ССО ЛСЖ и РСЖ (p = 0,006) и между Ved в сосудах ЛСЖ и ПА (p < 0,001), а также ПА и РСЖ (p = 0,02). Проведенный корреляционный анализ не выявил достоверных корреляционных связей между объемом опухоли и гемодинамическими характеристиками кровотока в ССО (p > 0,05).

Нами определены наиболее высокие линейные показатели скорости кровотока в СА при всех трех морфологических вариантах опухоли на стороне новообразования по сравнению с таковыми на интактной (здоровой) сторо-

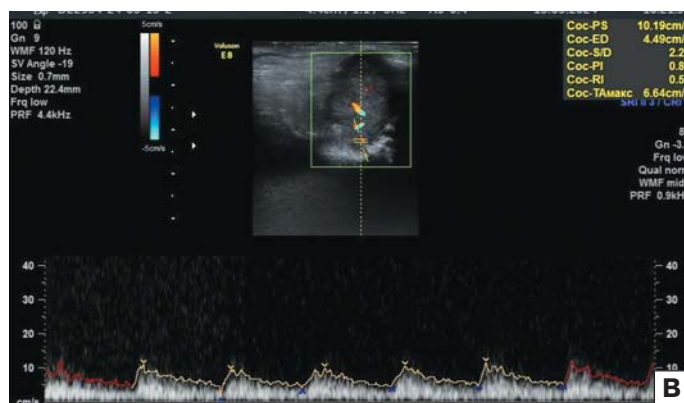
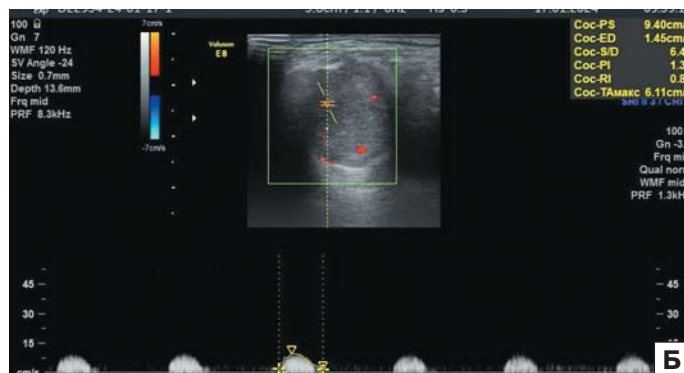
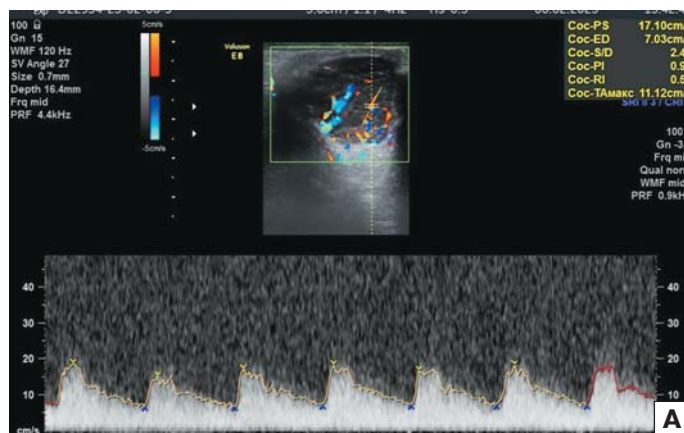


Рис. 6. Режим ЦДК и ИД. Спектр кровотока в собственных сосудах опухоли: лимфома слезной железы (А); плеоморфная аденома (Б); рак слезной железы (В)

Fig. 6. Color and PW doppler modes. Blood flow spectrum in the tumor's own vessels: lacrimal gland lymphoma (A); pleomorphic adenoma (B); lacrimal gland cancer (B)

не (табл. 3, рис. 7). Однако наибольшая асимметрия выявлена между показателями гемодинамики при ЛСЖ (рис. 8). Например, Vps в СА при ЛСЖ на стороне опухоли почти в 2 раза превышала данный показатель на здоровой стороне, составляя 22,9 ± 8,2 и 13,7 ± 4,7 см/с соответственно (p = 0,002). Наибольшие различия значений RI в СА имели место при ЛСЖ.

Сравнение гемодинамических характеристик в СА при разных ОСЖ выявило, что при ЛСЖ показатели скорости кровотока выше, чем при ПА и РСЖ (см. рис. 8).

Оценка скорости кровотока в СВ при ОСЖ показала значимые различия только при ЛСЖ, которые проявлялись увеличением Vmax на стороне опухоли (p = 0,02). При других

Таблица 3. Допплеровские характеристики кровотока в слезной артерии на стороне опухоли (БС) и на здоровой стороне (ЗС)
Table 3. Doppler characteristics of blood flow in the lacrimal artery on the tumor side (TS) and on the healthy side (HS)

Опухоль Tumor	Исследуемая сторона Side	Vps, см/с Vps, cm/s	Ved, см/с Ved, cm/s	PI	RI
		Mcp ± σ (min-max)* Ma ± σ (min-max)*			
ЛСЖ LLG	БС TS	22,9 ± 8,2 (11,1–43,4)	7,9 ± 3,8 (0,0–16,5)	1,4 ± 0,5 (0,7–2,7)	0,7 ± 0,1 (0,5–1,0)
	ЗС HS	13,7 ± 4,7 (8,3–24,3)	3,7 ± 2,9 (0–9,6)	1,7 ± 0,8 (1,0–3,6)	0,8 ± 0,1 (0,6–1,0)
Критерий Манна — Уитни, U, p-значимость** Mann — Whitney, U test, p-significance**		40,0 p = 0,002	30,0 p < 0,001	92,0 p = 0,240	1,0 p < 0,001
ПА PA	БС TS	19,4 ± 8,0 (11,2–28,0)	1,2 ± 1,0 (0,0–3,1)	3,0 ± 1,1 (1,3–3,9)	0,9 ± 0,1 (0,7–1,0)
	ЗС HS	14,8 ± 2,9 (11,7–17,5)	2,8 ± 2,0 (0–4,8)	2,0 ± 0,8 (1,5–3,2)	0,8 ± 0,1 (0,7–1,0)
Критерий Манна — Уитни, U, p-значимость** Mann — Whitney U test, p-significance**		8,0 p = 0,730	5,0 p = 0,286	10,0 p = 0,011	6,5 p = 0,413
РСЖ LGC	БС TS	16,6 ± 4,9 (11,8–24,9)	5,4 ± 0,9 (4,5–7,1)	1,5 ± 0,7 (1,1–3,0)	0,7 ± 0,05 (0,6–0,8)
	ЗС HS	12,6 ± 2,0 (10,7–15,7)	3,6 ± 1,1 (2,1–5,2)	1,5 ± 0,6 (0,7–2,7)	0,7 ± 0,1 (0,5–0,9)
Критерий Манна — Уитни, U, p-значимость** Mann — Whitney, U test, p-significance**		18,0 p = 0,093	10,0 p = 0,011	24,0 p = 0,442	23,5 p = 0,236
Критерий Краскела — Уоллиса, χ², p-значимость*** Kruskal — Wallis test, χ², p-significance***		1,406 p = 0,495	11,414 p = 0,003	4,226 p = 0,121	9,7 p = 0,008

Примечание. ЛСЖ — лимфома слезной железы, ПА — плеоморфная аденома, РСЖ — рак слезной железы, Vps — максимальная систолическая скорость кровотока, Ved — конечная диастолическая скорость кровотока, PI — индекс пульсации, RI — индекс периферического сопротивления, * — $Mcp \pm \sigma$ — среднее значение $\pm$ стандартное отклонение; min-max — минимальное и максимальное значения параметра в выборке; ** — при сравнении стороны опухоли и здоровой стороны в пределах одной морфологической группы; *** — при сравнении между собой все 3 морфологические группы.

Note. LLG — lacrimal gland lymphoma, PA — pleomorphic adenoma, LGC — lacrimal gland cancer, Vps — maximum systolic blood flow velocity, Ved — end diastolic blood flow velocity, PI — pulsatility index, RI — peripheral resistance index, * — $Ma \pm \sigma$ — mean value $\pm$ standard deviation; min-max — minimum and maximum values of the parameter in the sample; ** — when comparing the tumor side and the healthy side within one morphological group; *** — when comparing all 3 morphological groups with each other.

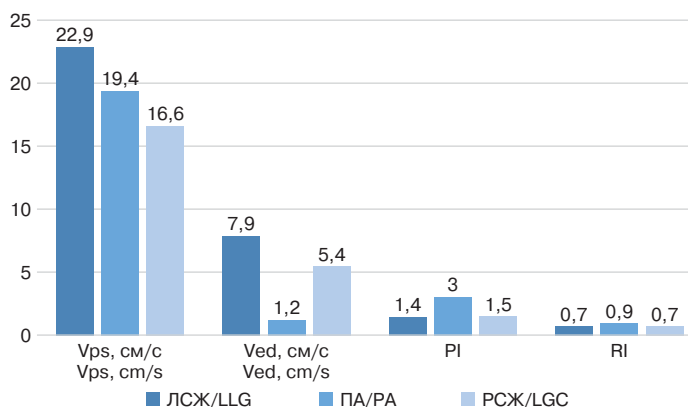


Рис. 7. Гемодинамические характеристики кровотока в СА на стороне поражения при ЛСЖ, ПА и РСЖ

Fig. 7. Hemodynamic characteristics of blood flow in the lacrimal artery on the affected side in lacrimal gland lymphoma, pleomorphic adenoma, lacrimal gland cancer

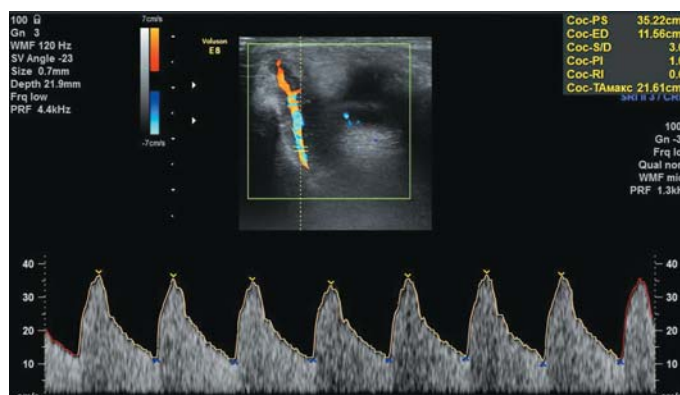


Рис. 8. Режим ЦДК и ИД. Спектр кровотока в слезной артерии при лимфоме слезной железы

Fig. 8. Color and PW doppler modes. Blood flow spectrum in the lacrimal artery in lacrimal gland lymphoma

Таблица 4. Допплеровские характеристики кровотока в слезной вене на стороне опухоли и на здоровой стороне

Table 4. Doppler characteristics of blood flow in the lacrimal vein on the tumor side and on the healthy side

Показатель Indicator	Исследуемая сторона Side	ЛСЖ LLG	ПА PA	РСЖ LGC
		Mcp ± σ (min-max)** Ma ± σ (min-max)**		
Vmax, см/с Vmax, cm/s	BC TS	7,3 ± 1,9 (4,0–10,4)	6,6 ± 2,2 (4,3–8,6)	6,2 ± 1,0 (4,8–7,8)
	ЗС HS	5,3 ± 1,1 (3,3–6,8)	7,2 ± 1,0 (6,5–7,9)	6,1 ± 0,9 (5,5–7,8)
Критерий Манна — Уитни, р-значимость* Mann — Whitney, U test, p-significance*		18,0 p = 0,02	3,0 p = 1,0	30,0 p = 0,876

Примечание. ЛСЖ — лимфома слезной железы, ПА — плеоморфная аденома, РСЖ — рак слезной железы, * — при сравнении стороны опухоли и здоровой стороны в пределах одной морфологической группы; ** — Mcp ± σ — среднее значение ± стандартное отклонение; min-max — минимальное и максимальное значения параметра в выборке.

Note. LLG — lacrimal gland lymphoma, PA — pleomorphic adenoma, LGC — lacrimal gland cancer, * — when comparing the tumor side and the healthy side within one morphological group; ** — Ma ± σ — mean value ± standard deviation; min-max — minimum and maximum values of the parameter in the sample.

опухолях (ПА, РСЖ) достоверных различий между показателями кровотока в СВ не наблюдалось (табл. 4).

В ходе статистического анализа не выявлено достоверных корреляционных связей между гемодинамическими характеристиками в ССО, СА и СВ в исследуемых группах, а также зависимости показателей кровотока в СА и СВ от объема новообразований.

ОБСУЖДЕНИЕ

Современным стандартом определения морфологического типа новообразований СЖ является гистологическое исследование интраоперационного биоптата. Своевременное выявление опухоли и определение ее характера на этапе предоперационной подготовки играют ключевую роль в формировании тактики ведения пациента и прогнозировании заболевания. В дополнение к тщательному сбору анамнеза и осмотру ключевую роль в составлении соответствующего плана лечения играют визуализирующие методы.

Несмотря на широкое распространение УЗИ в офтальмологии, в литературе, посвященной ОСЖ, данный метод лучевой диагностики уступает КТ и МРТ. Тем не менее УЗИ является важным диагностическим исследованием и имеет ряд преимуществ, включающих безопасность, доступность, отсутствие лучевой нагрузки и пр. Современные цифровые ультразвуковые технологии позволяют получать качественное изображение исследуемой биологической ткани в режиме реального времени благодаря высокой разрешающей способности. Основным ограничением этого метода является недостаточная визуализация глубоко расположенных в орбите патологических структур.

В литературе имеется небольшое число публикаций, посвященных применению УЗИ в диагностике ОСЖ. В то же время большинство существующих исследований ограничиваются малыми выборками пациентов, что затрудняет обобщение полученных данных и их применение в клинической практике. При этом разнообразие гистологических типов опухолей требует углубленного анализа их эхографических характеристик для повышения точности дифференциации.

Кроме того, современные методы УЗИ, такие как контрастноусиленное УЗИ и ЦДК, еще не получили широкого распространения в рутинной практике, что ограничивает их использование. Наконец, недостаток стандартизованных протоколов и критериев для интерпретации результатов УЗИ также способствует дефициту информации в этой области.

Методика пространственного ультразвукового анализа, впервые предложенная С.Э. Аветисовым и соавт. в 2006 г., позволила изучить эхографические особенности СЖ в норме и при патологии [11–12]. В 2021 г. данная методика усовершенствована Т.Н. Киселевой и соавт. [13], которые предложили дифференцированный подход к визуализации орбитальной и пальпебральной частей СЖ, а позже изучили их эхографические характеристики в норме с учетом гендерных и возрастных особенностей [14].

Существует ряд работ, посвященных УЗИ воспалительных и псевдотуморозных заболеваний СЖ. Например,

при остром дакриoadените и болезни Шегрена выявлены «атрофические» и «гипертрофические» эхографические изменения. В случае саркоидоза описаны три формы эхографических изменений: отечная, полиморфные изменения и атрофические изменения с некротическим компонентом [15–18].

В нашем исследовании дополнены дифференциально-диагностические критерии ОСЖ, такие как ЛСЖ, ПА и РСЖ. Представлены также данные акустической плотности и показателей гемодинамики в сосудах опухолей, СА и СВ с проведением сравнительного статистического анализа между всеми тремя морфологическими группами.

Следует отметить, что морфологически злокачественные опухоли, такие как ЛСЖ и РСЖ, могут иметь четкие контуры на эхограмме, что было нами выявлено в 73 и 62 % случаев соответственно. В то же время известно, что данный признак более всего характерен для доброкачественных процессов, что, безусловно, необходимо принимать во внимание при УЗИ.

Одним из важных критериев различий исследуемых опухолей являются особенности экоструктуры ОСЖ. Эти различия наиболее выражены между лимфопрлиферативной опухолью и эпителиальными опухолями (ПА и РСЖ). ЛСЖ имеют более рыхлую и менее плотную структуру за счет разрастания лимфоидных клеток, в связи с чем акустические волны отражаются менее интенсивно и опухоли выглядят менее эхогенными, что было впервые показано в нашем исследовании. В свою очередь, ПА и РСЖ характеризуются большей плотностью, обусловленной, вероятно, развитием плотной соединительной ткани, присутствием в ткани участков фиброза, гиалиноза, некроза, хрящевой метаплазии и кальцификации, что было доказано при патоморфологическом исследовании.

Оценка васкуляризации опухолей выявила наибольшее количество цветовых доплеровских сигналов, соответствующих собственным сосудам, в злокачественных ОСЖ. Это связано с тем, что злокачественные новообразования характеризуются более активным метаболизмом, что требует

повышенного количества кислорода и питательных веществ. Развившаяся в опухолевой ткани гипоксия индуцирует процесс неангиогенеза с формированием неоваскулярной сети опухоли, необходимой для дальнейшего роста и распространения опухоли. Высокая васкуляризация РСЖ показана также другими авторами [19, 20].

М.Т. Азнабаев и соавт. [19] описывают ПА как гипер-эхогенные образования преимущественно неоднородной структуры с ровными четкими контурами без цветовых сосудистых паттернов, в то время как в нашем исследовании неоднородную эхоструктуру имели только 42 % больных, а аваскулярными в режиме ЦДК оказались опухоли у половины пациентов. Действительно, аваскулярность ПА коррелирует с доброкачественным течением, а наличие васкуляризации может указывать на риск ее злокачественной трансформации. Отличия в результатах могут быть обусловлены различным числом обследуемых пациентов и улучшением диагностических возможностей современных ультразвуковых сканеров, позволяющих детектировать мелкие сосуды с низкими характеристиками кровотока.

Анализ результатов исследования показателей гемодинамики также выявил существенные различия в зависимости от морфологического типа ОСЖ. Нами установлено, что наиболее высокие гемодинамические характеристики кровотока в ССО регистрировались при ЛСЖ, а наиболее низкие — при ПА (см. табл. 2). Нами также выявлены изменения в магистральных сосудах орбиты у пациентов с ОСЖ. Во всех трех группах опухолей (ЛСЖ, РСЖ и ПА) гемодинамические характеристики кровотока в СА на стороне опухоли превышали таковые на здоровой стороне (см. табл. 3). При этом, например, асимметрия по V_{max} в систолу (V_{ps}) между больной и здоровой стороной в СА при ЛСЖ составила 40 %, а при РСЖ и ПА — примерно 24 %.

С целью оценки перфузии внутриопухолевого кровотока Y. Liu и соавт. [21] проводили эхографию с предварительным внутривенным введением контрастного вещества SonoVue (SF6). Авторы оценивали васкуляризацию таких новообразований, как ПА СЖ, аденокистозный РСЖ, киста слезного мешка и аденокарцинома слезного мешка. Они показали, что РСЖ, в отличие от ПА, характеризуется более быстрым и равномерным усилением контраста и быстрым его вымыванием из ткани. После контрастного усиления контуры образования становились нечеткими, а размеры — больше, чем при УЗИ без контраста, в то время как при ПА контуры образования оставались четкими, а размеры не менялись [21]. Однако нужно отметить, что при использовании контрастирования УЗИ теряет свои важные преимущества — неинвазивность, быстроту и невысокую стоимость. При этом не исключены и аллергические реакции на контрастные препараты, что, безусловно, ограничивает их применение в практике.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенного нами комплексного УЗИ ОСЖ, включающего В-режим, ЦДК и ИД, можем заключить, что данная методика является информативной, полезной и ее можно рекомендовать для включения в схему комплексной дифференциальной диагностики ОСЖ, что необходимо для определения оптимальной тактики ведения пациентов данного профиля.

Литература/References

1. Von Holstein SL, Therkildsen MH, Prause JU, et al. Lacrimal lesions in Denmark between 1974 and 2007. *Acta Ophthalmol.* 2013 Jun; 91 (4): 349–54. doi: 10.1111/j.1755-3768.2012.02403.x

2. Shields JA, Shields CL, Scartozzi R. Survey of 1264 patients with orbital tumors and simulating lesions: the 2002 Montgometry Lecture, part 1. *Ophthalmology.* 2004 May; 111 (5): 997–1008. doi: 10.1016/j.ophtha.2003.01.002
3. Бровкина А.Ф., Таджиева З.А. Клинико-эпидемиологическое изучение новообразований слезной железы. *Вестник офтальмологии.* 2009; 125 (3): 3–8. [Brovkina A.F., Tadjieva Z.A., Clinico-epidemiological investigation of lacrimal gland neoplasms. *Vestnik Ofal'mologii.* 2009; 125 (3): 3–8 (In Russ.).]
4. Бровкина А.Ф., Вальский В.В. Возможности компьютерной томографии в дифференциальной диагностике доброкачественных опухолей орбиты. *Вестник офтальмологии.* 1987; 1: 29–32. [Brovkina A.F., Valskiy V.V. Possibilities of computed tomography in the differential diagnosis of benign orbital tumors. *Vestnik ofal'mologii.* 1987; (1): 29–32. (In Russ.).]
5. Бровкина А.Ф., Яценко О.Ю. Роль трехмерной компьютерной томографии в диагностике некоторых заболеваний орбиты. *Российская педиатрическая офтальмология.* 2008; (4): 13–4. [Brovkina A.F., Yatsenko O.Yu. Role of three-dimensional computerized tomography in diagnostics of some orbital diseases. *Russian pediatric ophthalmology.* 2008; (4): 13–4 (In Russ.).]
6. Яценко О.Ю., Тюрин И.Е. Возможности компьютерной томографии в диагностике эпителиальных новообразований слезной железы. *Вестник рентгенологии и радиологии.* 2018; 99 (3): 132–8. [Yatsenko O.Yu., Tyurin I.E. Potential of computed tomography in the diagnostics of the lacrimal gland epithelial tumors. *Journal of radiology and nuclear medicine.* 2018; 99 (3): 132–8 (In Russ.).]
7. Фазылов А.А., Каюмова Р.Р., Исламов З.С., Алимов Р.Р. Комплексное ультразвуковое исследование при объемных новообразованиях органа зрения. *Ультразвуковая и функциональная диагностика.* 2008; 3: 91–7. [Fazilov A.A., Kayumova R.R., Islamov Z.S., Alimov R.R. Complex ultrasound examination of volumetric neoplasms of the visual organ. *Ultrasound and functional diagnostics.* 2008; (3): 91–7 (In Russ.).]
8. Верзакова И.В., Габдрахманова А.Ф. Комплексное ультразвуковое исследование в дифференциальной диагностике и прогнозировании зрительных функций при опухолях и опухолеподобных заболеваниях орбиты. *Ультразвуковая и функциональная диагностика.* 2010; 2: 83–7. [Verzakova I.V., Gabdrakhmanova A.F. Complex ultrasound examination in differential diagnostics and prognosis of visual functions in tumors and tumor-like diseases of the orbit. *Ultrasound and functional diagnostics.* 2010; 2: 83–7 (In Russ.).]
9. Алиханова В.Р., Саакян С.В., Амирян А.Г., Рамазанова К.А., Кружкова Г.В. Возможности высокоразрешающего ультразвукового сканирования в комплексной диагностике глиом зрительного нерва. *Российский офтальмологический журнал.* 2011; 4 (3): 10–4. [Alihanova V.R., Saakyan C.V., Amiryani A.G., Ramazanova K.A., Kruzhkova G.V. The potentials of high-resolution ultrasound scanning in complex diagnostics of optic nerve gliomas. *Russian ophthalmological journal.* 2011; 4 (3): 10–4 (In Russ.).]
10. Guidance for Industry and FDA staff/ Information for Manufacturers Seeking Marketing Clearance of Diagnostic Ultrasound Systems and Transducers (Appendix of 30.09.97 E). Silver Spring; 2008.
11. Аветисов С.Э., Харлап С.И., Сафонова Т.Н., Лихванцева В.Г., Маркосян А.Г. Способ исследования слезной железы. Патент на изобретение RU2309680, 2007. [Avetisov S.E., Kharlap S.I., Safonova T.N., Likhvantseva V.G., Markosyan A.G. The method of examination of lacrimal gland. Patent RU2309680, 2007 (In Russ.).]
12. Аветисов С.Э., Лихванцева В.Г., Сафонова Т.Н. и др. Ультразвуковой пространственный клинический анализ орбитальной части слезной железы в норме. *Вестник офтальмологии.* 2006; 122 (6): 14–6. [Avetisov S.E., Likhvantseva V.G., Safonova T.N., et al. Ultrasound spatial clinical analysis of the orbital part of the lacrimal gland in the norm. *Vestnik ofal'mologii.* 2006; 122 (6): 14–6 (In Russ.).]
13. Киселева Т.Н., Луговкина К.В., Зайцев М.С. Способ ультразвукового исследования слезной железы. Патент на изобретение RU2759385, 2021. [Kiseleva T.N., Lugovkina K.V., Zaitsev M.S. The method of ultrasound examination of lacrimal gland. Patent RU2759385, 2021 (In Russ.).]
14. Киселева Т.Н., Зайцев М.С., Зайцева А.А., Луговкина К.В. Возможности ультразвукового исследования для оценки биометрических характеристик слезной железы в норме у лиц разного возраста. *Российский офтальмологический журнал.* 2025; 18 (1): 30–5. [Kiseleva T.N., Zaitsev M.S., Zaitseva A.A., Lugovkina K.V. Possibilities of ultrasound examination for assessing biometric characteristics of the lacrimal gland in normal individuals of different ages. *Russian ophthalmological journal.* 2025; 18 (1): 30–5 (In Russ.).] <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2025-18-1-30-35>
15. Харлап С.И., Насникова И.Ю., Маркосян А.Г. и др. Особенности строения слезной железы в норме и при патологии по результатам пространственного ультразвукового цифрового исследования. *Вестник офтальмологии.* 2011; 127 (4): 16–24. [Kharlap S.I., Nasnikova I.Yu., Markosyan A.G., et al. Features of the structure of the lacrimal gland in health and disease on the results of the spatial digital ultrasound study. *Vestnik ofal'mologii.* 2011; 127 (4): 16–24 (In Russ.).]

16. Насникова И.Ю., Маркосян А.Г., Харлап С.И. и др. Размеры и соотношения структурных параметров слезной железы по результатам пространственного ультразвукового цифрового исследования в норме и при патологии. *Кремлевская медицина. Клинический вестник*. 2011; 127 (1): 92–8. [Nasnikova I.Yu., Markosyan A.G., Kharlap S.I., et al. Size and the ratio of the structural parameters of the lacrimal gland on the results of the spatial digital ultrasonic research in health and disease. *Kremlevskaya meditsina. Klinicheskiy vestnik*. 2011; 127 (1): 92–8 (In Russ.)].
17. Эксаренко О.В., Харлап С.И., Сафонова Т.Н., Вашкулатова Э.А. Изменения слезной железы при саркоидозе по результатам пространственного ультразвукового цифрового исследования. *Вестник офтальмологии*. 2013; 129 (1): 6–14. [Eksarenko O.V., Kharlap S.I., Safonova T.N., Vashkulatova E.A. Changes in the lacrimal gland in sarcoidosis based on the results of spatial digital ultrasound examination. *Vestnik oftal'mologii*. 2013; 129 (1): 6–14 (In Russ.)].
18. Сафонова Т.Н., Харлап С.И., Эксаренко О.В. Ультразвуковые предикторы формирования синдрома сухого глаза при саркоидозе. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2019; 100 (4): 186–91. [Safonova T.N., Kharlap S.I., Eksarenko O.V. Ultrasonic predictors of dry eye syndrome in sarcoidosis. *Journal of radiology and nuclear medicine*. 2019; 100 (4): 186–91 (In Russ.)].
19. Азнабаев М.Т., Габдрахманова А.Ф., Верзакова И.В. и др. Клиника и лучевая диагностика опухолей слезной железы. *Проблемы офтальмологии*. 2004; 1: 41–4. [Aznabaev M.T., Gabdrakhmanova A.F., Verzakova I.V., et al. Clinic and imaging diagnosis of lacrimal gland tumors. *Problemy oftal'mologii*. 2004; 1: 41–4 (In Russ.)].
20. Зотова А.С., Павленко Е.С., Важенина Д.А. Ультразвуковая и компьютерно-томографическая характеристика злокачественных новообразований слезной железы. *Сибирский онкологический журнал*. 2007; S2: 51–2. [Zotova A.S., Pavlenko E.S., Vazhenina D.A. Ultrasound and computed tomographic characteristics of malignant neoplasms of the lacrimal gland. *Siberian oncology journal*. 2007; S2: 51–2 (In Russ.)].
21. Liu YX, Liu Y, Xu JM, Chen Q, Xiong W. Color Doppler ultrasound and contrast-enhanced ultrasound in the diagnosis of lacrimal apparatus tumors. *Oncol Lett*. 2018 Aug; 16 (2): 2215–20. doi: 10.3892/ol.2018.8879

Вклад авторов в работу: А.Г. Амирян — разработка концепции и дизайна исследования, сбор данных и их интерпретация, написание статьи; С.В. Саакян — разработка концепции и дизайна исследования, финальная подготовка проекта статьи к публикации; Т.Н. Киселева, М.Ю. Гусакова — разработка концепции и дизайна исследования, сбор данных и их интерпретация, написание статьи; М.С. Зайцев, А.А. Зайцева — сбор данных и их интерпретация, написание статьи.

Author's contribution: A.G. Amiryany — development of the study concept and design, data collection and interpretation, writing of the article; S.V. Saakyan — development of the study concept and design, final preparation of the article draft for publication; T.N. Kiseleva, M.Yu. Gusakova — development of the study concept and design, data collection and interpretation, writing of the article; M.S. Zaitsev, A.A. Zaitseva — data collection and interpretation, writing of the article.

Поступила: 23.04.2025. Переработана: 10.06.2025. Принята к печати: 12.06.2025

Originally received: 23.04.2025. Final revision: 10.06.2025. Accepted: 12.06.2025

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ/INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

¹ ФГБУ «НМИЦ глазных болезней им. Гельмгольца» Минздрава России, ул. Садовая-Черногрозская, д. 14/19, Москва, 105062, Россия

² ФГБОУ ВО «Российский университет медицины» Минздрава России, ул. Делегатская, д. 20, стр. 1, Москва, 127473, Россия

Ануш Гамлетовна Амирян — д-р мед. наук, доцент, главный научный сотрудник отдела офтальмоонкологии и радиологии, доцент кафедры непрерывного медицинского образования¹

Светлана Владимировна Саакян — член-корр. РАН, д-р мед. наук, профессор, начальник отдела офтальмоонкологии и радиологии¹, заведующая учебной частью кафедры глазных болезней²

Татьяна Николаевна Киселева — д-р мед. наук, профессор, начальник отдела ультразвуковых исследований¹

Мария Юрьевна Гусакова — аспирант отдела офтальмоонкологии и радиологии¹

Максим Сергеевич Зайцев — канд. мед. наук, научный сотрудник отдела ультразвуковых исследований¹

Алина Андреевна Зайцева — врач-офтальмолог взрослого консультативного поликлинического отделения¹

Для контактов: Ануш Гамлетовна Амирян,
amiryany@yandex.ru

¹ Helmholtz National Medical Research Center of Eye Disease, 14/19, Sadovaya-Chernogryazskaya St., Moscow, 105062, Russia

² Russian University of Medicine, 20, Bldg. 1, Delegatskaya St., Moscow, 127473, Russia

Anush G. Amiryany — Dr. of Med. Sci., principal researcher, ocular oncology and radiology department, assistant professor, chair of eye diseases¹

Svetlana V. Saakyan — corresponding member of the Russian Academy of Sciences, Dr. of Med. Sci., professor, head of ocular oncology and radiology department¹, head of the academic department, chair of eye diseases²

Tatyana N. Kiseleva — Dr. of Med. Sci., professor, head of ultrasound department¹

Maria Yu. Gusakova — PhD student, ophthalmologist, ocular oncology and radiology department¹

Maxim S. Zaitsev — Cand. of Med. Sci., researcher of ultrasound department¹

Alina A. Zaitseva — ophthalmologist of the adult out-patient department¹

For contacts: Anush G. Amiryany,
amiryany@yandex.ru



<https://doi.org/10.21516/2072-0076-2026-19-2-22-28>

Оценка эффективности и безопасности шунта GlaucoDrain в лечении рефрактерной глаукомы

А.В. Антонова^{1,2✉}, В.П. Николаенко^{1,2}, М.И. Семенова¹

¹ СПб ГБУЗ «Городская многопрофильная больница № 2», Учебный переулок, д. 5, Санкт-Петербург, 194354, Россия

² ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет», Университетская наб., д. 7/9, Санкт-Петербург, 199034, Россия

Цель работы — оценить анатомо-функциональные исходы и структуру осложнений имплантации шунта GlaucoDrain у пациентов с рефрактерной глаукомой. **Материал и методы.** Под наблюдением находилось 60 человек (средний возраст — $70,40 \pm 8,97$ года) с различными формами рефрактерной глаукомы (оперированная первичная открытоугольная (ПОУГ), вторичная, ювенильная глаукома), которым были установлены 62 шунта. В 83,9% случаев имплантации предшествовали фильтрующие операции. **Результаты.** Через год наблюдения «полный успех» достигнут в 86,3% случаев, «частичный успех» — в 7,0%. Медиана внутриглазного давления (ВГД, Рт) снизилась с $24,5 [20; 28]$ до $14,0 [13; 17]$ мм рт. ст. ($p < 0,001$). Наиболее частыми осложнениями являлись отслойка сосудистой оболочки (16,1% случаев, из них в 11,3% — геморрагическая), которая в большинстве случаев была купирована консервативно, и передний увеит (8,1%). **Заключение.** При соблюдении нюансов хирургической техники (временная obturation трубочки) и послеоперационного фармакологического сопровождения (продолжение гипотензивной терапии на протяжении 4–6 нед после операции) шунт GlaucoDrain демонстрирует сопоставимую с клапаном Ahmed эффективность и безопасность.

Ключевые слова: рефрактерная глаукома; шунт GlaucoDrain; гипотензивный эффект; послеоперационные осложнения; внутриглазное давление

Конфликт интересов: отсутствует.

Прозрачность финансовой деятельности: никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

Для цитирования: Антонова А.В., Николаенко В.П., Семенова М.И. Оценка эффективности и безопасности шунта GlaucoDrain в лечении рефрактерной глаукомы. Российский офтальмологический журнал. 2026; 19 (2): 22-8. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2026-19-2-22-28>

Effectiveness and safety of GlaucoDrain in treating refractory glaucoma

Anastasia V. Antonova^{1,2✉}, Vadim P. Nikolaenko^{1,2}, Maria I. Semenova¹

¹ City Multidisciplinary Hospital No. 2, 5, Uchebnyy lane, St. Petersburg, 194354, Russia

² St. Petersburg State University, 7/9, Universitetskaya emb., St. Petersburg, 199034, Russia
dr.antonova.av@gmail.com

Purpose of the study: to evaluate the anatomic and functional outcomes as well as structure of complications of GlaucoDrain shunt implantation in patients with refractory glaucoma. **Materials and methods:** 60 patients (average age 70.40 ± 8.97 years) with various forms of refractory glaucoma (operatively treated primary open-angle glaucoma, secondary and juvenile) who had 62 shunts were followed-up. In 83.9% of the implantations, filtration surgeries were performed prior to implantation. **Results.** After 1 year of observation, “complete success” will be achieved in 86.3% of cases, “partial success” — in 7.0%. Median intraocular pressure (IOP, Pt) decreased from $24.5 [20; 28]$ to $14.0 [13; 17]$ mm Hg ($p < 0.001$). The most frequent complications were choroidal detachment (16.1% of cases, 11.3% of them hemorrhagic), which in most cases was purchased conservatively, and anterior uveitis (8.1%). **Conclusion.** With the nuances of surgical technique (temporary tube

obturation) and postoperative pharmacological support (prolongation of hypotensive therapy for 4–6 weeks after surgery), the GlaucoDrain shunt demonstrates comparable efficiency and safety to the Ahmed valve.

Keywords: refractory glaucoma; GlaucoDrain shunt; hypotensive effect; postoperative complications; intraocular pressure
Conflict of interest: there is no conflict of interest.
Financial disclosure: no author has a financial or property interest in any material or method mentioned.
For citation: Antonova A.V., Nikolaenko V.P., Semenova M.I. Effectiveness and safety of GlaucoDrain in treating refractory glaucoma. Russian ophthalmological journal. 2026; 19 (2): 22-8 (In Russ.). <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2026-19-2-22-28>

Хирургическое лечение рефрактерной глаукомы остается одной из наиболее сложных задач современной офтальмологии [1–3]. У данной категории пациентов классические операции конъюнктивального типа — непроникающая глубокая склерэктомия (НГСЭ) и синустрабекулэктомия (СТЭ) — демонстрируют кратковременный эффект из-за выраженного рубцевания и, как следствие, облитерации вновь созданных путей оттока водянистой влаги (ВВ) [4–8]. Достижение целевого внутриглазного давления (ВГД) при резистентных к традиционному лечению формах глаукомы обеспечивается применением дренажных устройств [4], к которым относятся клапанные (Ahmed Glaucoma Valve) [3, 9, 10] и бесклапанные (Molteno, Baerveldt, GlaucoDrain) системы [5, 11].

Клапан Ahmed получил широкое распространение благодаря дозированному снижению офтальмотонуса в раннем послеоперационном периоде и стойкому гипотензивному эффекту в течение как минимум трех лет [12, 13]. Нормализация ВГД у 77,7% оперированных пациентов свидетельствует о несомненной целесообразности применения клапана для лечения рефрактерной глаукомы [13–15]. Однако определенной доле пациентов (44,7%) [16] для поддержания достигнутого снижения ВГД в послеоперационном периоде требуется возобновление [16–19] гипотензивной терапии, а также выполнение тех или иных манипуляций.

В связи с этим с 2024 г. в хирургии рефрактерных форм глаукомы, наряду с устройством Ahmed, нами стал применяться экваториальный шунт GlaucoDrain [20]. GlaucoDrain — бесклапанное дренажное устройство, изготовленное из силиконового эластомера медицинского назначения, смоделированное так, чтобы соответствовать кривизне глазного яблока с выпуклым радиусом 13 мм и длиной силиконовой трубки 35 мм (рис. 1). Площадь поверхности пластины составляет 350 мм². Проксимальная часть пластинки имеет два крепежных отверстия для фиксации.

По данным литературы, бесклапанные дренажные системы обеспечивают более выраженное снижение ВГД в отдаленные сроки [21], однако из-за неконтролируемого оттока ВВ их использование чревато клинически значимой гипотонией в раннем послеоперационном периоде [16, 22]. Поэтому техника имплантации шунта GlaucoDrain отличается рядом особенностей, а в первый месяц после хирургического лечения необходим пристальный контроль за пациентом ввиду риска развития осложнений, обусловленных гиперфильтрацией [23, 24].

Ввиду высокой гипотензивной эффективности шунта GlaucoDrain дальнейшие исследования, направленные на оптимизацию техники его имплантации и минимизацию рисков послеоперационных осложнений, остаются приоритетным направлением повышения качества лечения пациентов с рефрактерной глаукомой.

ЦЕЛЬ работы — оценить анатомо-функциональные исходы и структуру осложнений имплантации шунта GlaucoDrain у пациентов с рефрактерной глаукомой.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Под динамическим наблюдением находилось 60 человек (62 глаза) в возрасте от 33 до 87 лет (в среднем 70,40 ± 8,97 года), среди них 26 (41,9%) мужчин. Двум пациентам выполнена билатеральная имплантация шунта GlaucoDrain.

Критериями включения в группу явились возраст старше 18 лет, вторичная (неоваскулярная) глаукома, потребность в реоперации у пациента с первичной открытоугольной глаукомой (ПОУГ), а также любая стадия некомпенсированной консервативным и лазерным лечением ПОУГ на фоне выраженных симптомов и клинических признаков заболеваний глазной поверхности.

Критериями невключения служила первичная закрытоугольная глаукома, критериями исключения — тяжелое общее состояние и/или низкая приверженность пациента лечению, препятствующие соблюдению требований протокола исследования на протяжении как минимум 6 мес (например, неявка на очередной контрольный осмотр).

В исследуемую группу вошли 54 пациента (55 глаз) с ПОУГ, доля которых составила 88,7%, 2 пациента (3 глаза, 4,8%) — со вторичной неоваскулярной глаукомой на фоне пролиферативной диабетической ретинопатии, а также 4 пациента (4 глаза, 6,5%) — с ювенильной глаукомой.

Распределение пациентов по выраженности глаукомного процесса было следующим: развитая стадия заболевания — 10 пациентов (11 глаз, 17,8%), далеко зашедшая стадия — 47 пациентов (48 глаз, 77,4%), терминальная болящая глаукома — 3 пациента (3 глаза, 4,8%).

В 83,9% случаев (52 глаза) имплантации шунта предшествовали гипотензивные операции конъюнктивального

	Модель Model	GlaucoDrain
	Площадь поверхности Surface area	350 мм ² 350 mm ²
	Длина пластины Plate length	31 мм 31 mm
	Длина трубки Length of the tube	35 мм 35 mm
	Место имплантации Implantation place	Передний отрезок Anterior segment
	Тип Type	Прямая трубка Straight tube

Рис. 1. Шунт GlaucoDrain
Fig. 1. A non-valved drainage GlaucoDrain

типа: НГСЭ (52,3%) и СТЭ (31,6%). При поступлении в стационар все пациенты находились на максимальной (как правило, трехкомпонентной) терапии [25, 26]. Исходное ВГД (ВГД, Рт) составило 17–43 мм рт. ст.

Предоперационная подготовка пациентов проводилась по стандартной схеме (рис. 2).

Все операции выполнялись двумя стажированными хирургами (А.В.А. и В.П.Н.). Методика и этапы имплантации шунта GlaucoDrain практически идентичны таковым при использовании клапана Ahmed [27, 28]. Уздечный шов из полиглактина 6/0 накладывали на паралимбальную зону роговицы верхневисочного квадранта, оптимального для размещения устройства (рис. 3, А). Задняя склерэктомия осуществлялась в нижневисочном квадранте в 4 мм от лимба, перитомия с формированием конъюнктивального лоскута основанием к своду (рис. 3, Б). Проверку проходимости трубочки устройства проводили при помощи стерильного физиологического раствора, подаваемого через канюлю 25-го калибра, а обтурацию (перевязывание) трубочки шунта — рассасывающимся шовным материалом (полигактин 6/0) (рис. 3, Е). Размещали резервуар шунта под верхней и латеральной прямыми мышцами с последующей фиксацией к склере в 10 мм от лимба двумя узловыми швами из шелка 8/0 (рис. 3, В). Выкраивали четырехугольный лоскут склеры величиной 8×4 мм на половину ее толщины. Формировали отверстия в глубоких слоях лимба на границе «белого» и «серого» иглой 23-го калибра, в которые вставлялась предварительно укороченная трубочка шунта (рис. 3, Г). Заполняли переднюю камеру когезивным вискоэластиком для предупреждения гифемы. Фиксировали углы поверхностного склерального лоскута к ложу двумя узловыми швами (шелк 8/0), трубочки между ними — восьмиобразным швом (шелк 8/0) [7] (рис. 3, Д). Тщательно ушивали теноновую капсулу и конъюнктиву узловыми швами из шелка 8/0. Завершали операцию субконъюнктивальным введением 0,05 г цефазолина и 0,002 г дексаметазона.

В послеоперационном периоде пациенты получали топические антибиотики, глюкокортикостероиды и нестероидные противовоспалительные препараты (рис. 1), а также максимальную гипотензивную терапию до момента деградации узлового шва, закрывающего просвет трубочки дренажа (4–6 нед) [11, 29].

Всем пациентам было проведено стандартное офтальмологическое обследование: визометрия, тонометрия, периметрия, гониоскопия, биомикроскопия и офтальмоскопия, при необходимости дополнявшееся В-сканированием, оптической когерентной томографией. Результаты оценивали через 1, 3, 6 и 12 мес после операции.

Исходы хирургического вмешательства определялись по общепринятым критериям:

- «полный успех»: $P_0 = 5–21$ мм рт. ст. или снижение ВГД на $\geq 20\%$ от исходного уровня на протяжении минимум 6 мес послеоперационного периода без гипотензивного лечения и тяжелых осложнений;

- «частичный успех»: $P_0 = 5–21$ мм рт. ст. на протяжении минимум 6 мес послеоперационного периода, но на фоне лечения гипотензивными препаратами;

- «полная неудача»: P_0 выше 21 мм рт. ст., сопровождающееся прогрессированием глаукомных дефектов поля зрения (вплоть до слепоты), выполнение повторного гипотензивного вмешательства или эксплантация шунта [29].

Статистический анализ полученных данных проведен с помощью программ Microsoft Excel и SPSS. Нормальность распределения в исследуемой группе оценена с использо-

ванием критерия Шапиро — Уилка. Данные, имеющие ненормальное распределение, представлены в виде $Me [Q1; Q3]$ и $X_{min}-X_{max}$ — границы вариации (табл. 1).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате хирургического лечения пациентов по данным последнего (12 мес) контрольного осмотра 24 пациентов (26 глаз) «полный успех» достигнут в 80,8% случаев (21 операция), «частичный успех» — в 11,5% (3 операции), «полная неудача» зафиксирована в 7,7% (2 операции), что сопоставимо с опубликованными ранее показателями [29, 30].

После имплантации шунта ВГД, Рт у пациентов статистически значимо снизилось. Так, медиана офтальмотонуса уменьшилась с 24,5 до 13,0 мм рт. ст. к 6-му месяцу ($p < 0,001$) и составила 14,0 мм рт. ст. к 12-му месяцу послеоперационного периода ($p < 0,001$). Критерий Уилкоксона показал значимые различия ($p < 0,001$).

Послеоперационные осложнения. Ранние послеоперационные осложнения оценивались в общей группе (62 глаза) и включали гифему (4,8%), передний увеит (8,1%), а также серозную (4,8%) и геморрагическую (11,3%) отслойку сосудистой оболочки. Поздние осложнения анализировались у пациентов с доступным 12-месячным наблюдением (26 глаз) и включали обнажение трубочки шунта (3,8%), его дислокацию (3,8%) и развитие эндотелиально-эпителиальной дистрофии роговицы (7,7%) (табл. 2).

В 4,8% случаев наблюдалась гифема, возникавшая интраоперационно (в момент проведения трубочки сквозь передние синехии) или в ранние сроки после вмешательства (в связи с кровотечением из новообразованных сосудов радужно-роговичного угла при вторичной неоваскулярной глаукоме). Ни в одном случае не потребовалось вымывание гифемы в условиях операционной.

У 5 (8,1%) пациентов в разные сроки после имплантации шунта отмечено появление фибрина в передней камере, что служило показанием к усилению или возобновлению местной терапии инстилляциями кортикостероидов и нестероидных противовоспалительных препаратов. Частота развития переднего увеита сопоставима с данными литературы [31–34]. Серозная отслойка сосудистой оболочки (ОСО) возникла у 3 (4,8%) человек. Выполнение задней склерэктомии с восстановлением передней камеры когезивным вискоэластиком понадобилось двум пациентам.

Геморрагическая ОСО произошла у 7 (11,3%) исследуемых. Ургентная помощь заключалась в дренировании супрахориоидального пространства с восстановлением передней камеры 5 пациентам, из них двум — в сочетании с повторной перевязкой трубочки шунта. В двух наблюдениях при наличии минимальной ОСО и сохраненной передней камеры у пациентов с остаточными зрительными функциями лечение ограничивалось топическим применением кортикостероидов и мидриатиков.

Обнажение трубочки шунта GlaucoDrain у одного (3,8%) пациента, обусловленное лизисом поверхностного склерального лоскута, а также обширными склеро-конъюнктивальными сращениями после предшествующих противоотсоечных вмешательств, было устранено пластикой дефекта собственными тканями (рис. 4).

В одном (3,8%) наблюдении произошла дислокация шунта, что потребовало его эксплантации. У 2 (7,2%) пациентов в отдаленном послеоперационном периоде развилась эндотелиально-эпителиальная дистрофия роговицы. В одном случае потребовалось укорочение трубочки шунта для устранения ее контакта с эндотелием.

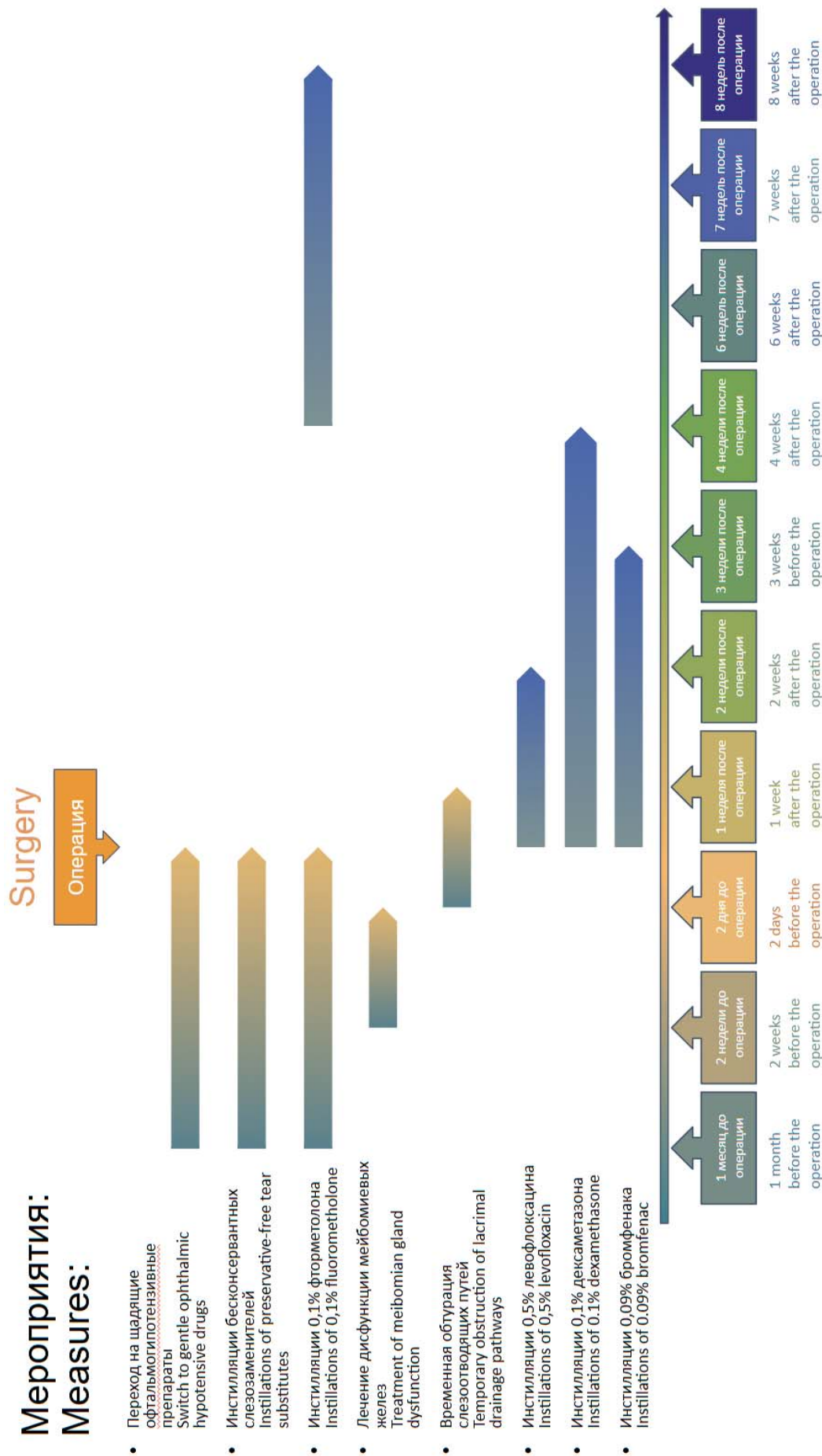


Рис. 2. Алгоритм периоперационного ведения пациентов при гипотензивных вмешательствах
Fig. 2. Algorithm for perioperative management of patients undergoing hypotensive surgery

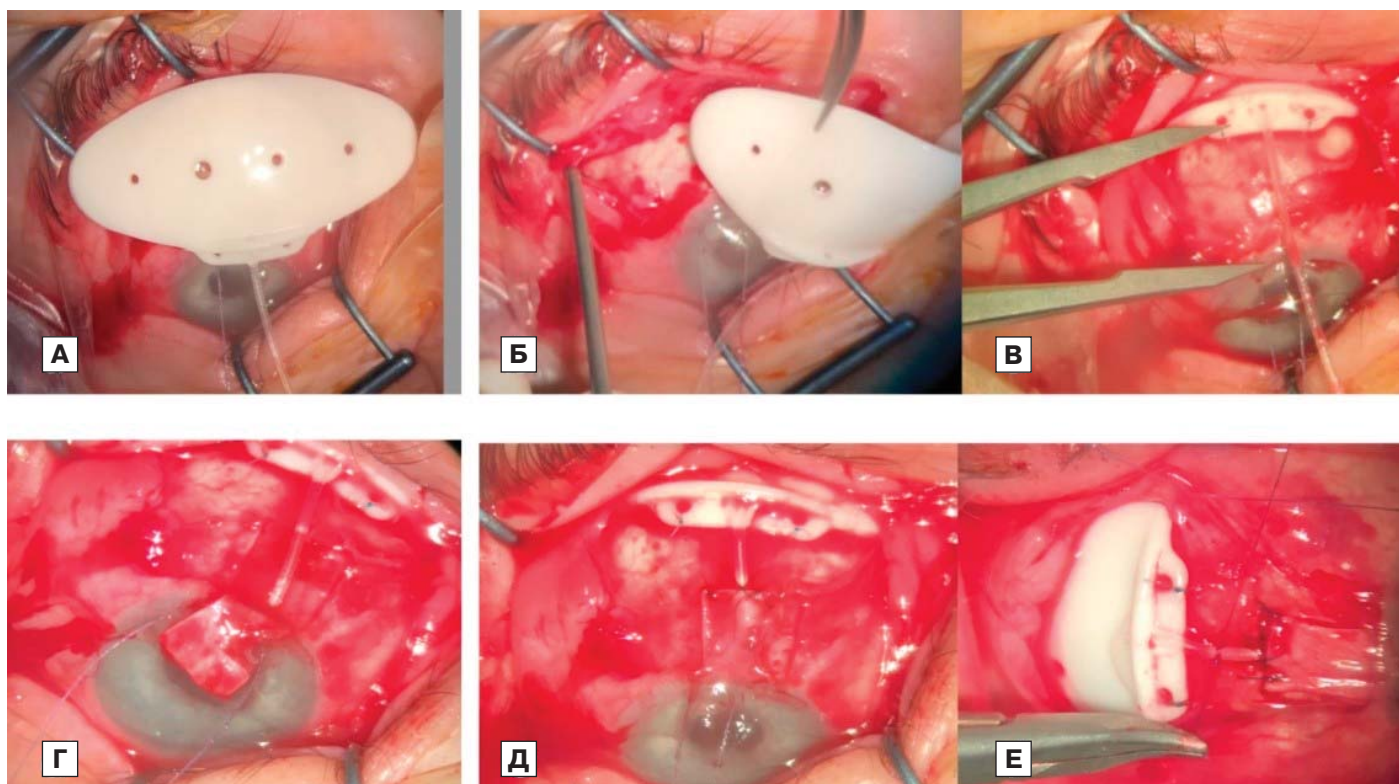


Рис. 3. Этапы имплантации шунта GlaucoDrain
Fig. 3. Stages of GlaucoDrain shunt implantation

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Достижение «полного» и «частичного» успеха операции в 93,3% случаев свидетельствует о несомненной эффективности и целесообразности применения шунта GlaucoDrain при рефрактерной глаукоме. Стойкое снижение ВГД отмечалось уже на втором месяце послеоперационного периода и сохранялось на протяжении всего периода наблюдения. При соблюдении нюансов хирургической техники (временная obturация трубочки) и послеоперационного фармакологического сопровождения (продолжение гипотензивной терапии на протяжении 4–6 нед после операции) шунт GlaucoDrain демонстрирует сопоставимую с другими дренажными устройствами безопасность [7, 16–18, 31–34].

Литература/References

1. Карлова Е.В., Радайкина М.В. Клапанные и бесклапанные дренажные системы в хирургическом лечении рефрактерной глаукомы. *Офтальмология*. 2019; 16 (1S): 123–6. [Karlova E.V., Radaykina M.V. Valved and non-valved drainage systems in the surgical treatment of refractory glaucoma. *Ophthalmology in Russia*. 2019; 16 (1S): 123–6 (In Russ.)]. doi: 10.18008/1816-5095-2019-1S-123-126
2. Николаенко В.П., Константинова Л.М., Павлова О.Г. Имплантация клапана Ahmed: интраоперационные и ранние послеоперационные осложнения. *Офтальмологические ведомости*. 2014; 7 (4): 10–2. [Nikolaenko V.P., Konstantinova L.M., Pavlova O.G. Ahmed valve implantation: intraoperative and early postoperative complications. *Ophthalmology reports*. 2014; 7 (4): 10–2 (In Russ.)]. doi: 10.17816/OV2014410-12
3. Николаенко В.П., Бржеский В.В., Антонова А.В. Расширение показаний к имплантации клапана Ахмеда. *Офтальмологические ведомости*. 2023; 16 (2): 83–90. [Nikolaenko V.P., Brzheskiy V.V., Antonova A.V. The extension of indications for the implantation of Ahmed valve. *Ophthalmology reports*. 2023; 16 (2): 83–90 (In Russ.)]. doi: 10.17816/OV340821

Таблица 1. Показатели офтальмотонуса пациентов исследуемой группы
Table 1. Intraocular pressure values in the study group

Внутриглазное давление (ВГД, Pt), мм рт. ст. Intraocular pressure, mm Hg	Количество глаз Number of eyes		
	до операции before surgery	через 6 мес in 6 months	через 12 мес in 12 months
	62	43	26
Среднее / Mean (Xmin–Xmax)	25,05 (17–38)	13,02 (4–20)	14,92 (10–24)
Me [Q1; Q3]	24,50 [20; 28]	13,00 [11; 15]	14,00 [13; 17]

Таблица 2. Структура послеоперационных осложнений
Table 2. The spectrum of postoperative complications

Осложнения Complications	Число глаз Number of eyes	%
Ранние осложнения Early postoperative complications		
Гифема Hyphema	3	4,8
Увеит Uveitis	5	8,1
Отслойка сосудистой оболочки Choroidal detachment	10	16,1
Поздние осложнения Late postoperative complications		
Обнажение трубочки Tube exposure	1	3,8
Эндотелиально-эпителиальная дистрофия роговицы Corneal endothelial epithelial dystrophy	2	7,7
Дислокация шунта Shunt dislocation	1	3,8

4. Егоров Е.А., Бикбов М.М., ред. Национальное руководство по глаукоме. Москва: ГЭОТАР-Медиа; 2021. [Egorov E.A., Bikbov M.M., eds. National guideline on glaucoma. Moscow: GEOTAR-Media; 2021 (In Russ.)].
5. Pazos M, Traverso CE, Viswanathan A, eds. European glaucoma society. Terminology and guidelines for glaucoma. 6th ed. Savona (Italy): PubliComm; 2025. <https://dansk-oftalmologisk-selskab.dk/wp-content/uploads/2026/01/Glaucoma-Guidelines-6th-edition-English.pdf>
6. Клинические рекомендации «Глаукома первичная открытоугольная» (Электронный ресурс). (дата обращения: 17.08.2025). [Clinical Guidelines "Primary open angle glaucoma" (Electronic resource) (In Russ.)]. <https://cr.minzdrav.gov.ru> (access date: 08.17.2025).
7. Boland MV. Basic and clinical science course. Section 10: Glaucoma. 2025–2026. San Francisco (CA): American Academy of Ophthalmology; 2025.
8. Басинский А.С., Гарькавенко В.В., Каримов У.Р. и др. Дренажная хирургия первичной открытоугольной глаукомы: прошлое, настоящее, будущее. *Офтальмохирургия*. 2021; 2: 79–85. [Basinskiy A.S., Gar'kavenko V.V., Karimov U.R., et al. Drainage surgery of primary open-angle glaucoma: past, present, future. *Fyodorov journal of ophthalmic surgery*. 2021; 2: 79–85 (In Russ.)]. doi: 10.25276/0235-4160-2021-2-79-85
9. Обловацкая Е.С., Николаенко В.П. Место дренажа «Ахмеда» в хирургии глаукомы. *Национальный журнал глаукома*. 2022; 21 (2): 35–41. [Oblovatskaya E.S., Nikolaenko V.P. Ahmed valve implant and its place in the surgical treatment of glaucoma. *National journal of glaucoma*. 2022; 21 (2): 35–41 (In Russ.)]. doi: 10.53432/2078-4104-2022-21-2-35-41
10. Расческов А.Ю., Лоскутов И.А. Современные технологии хирургического лечения рефрактерной глаукомы. Обзор литературы. *Офтальмология*. 2012; 9 (1): 4–9. [Raschekov A.Yu., Loskutov I.A. Modern technologies of refractory glaucoma treatment. Review. *Ophthalmology in Russia*. 2012; 9 (1): 4–9 (In Russ.)]. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2012-1-54-62>
11. Rath SG, Seth NG, Kaur S, et al. A prospective randomized controlled study of Aurolab aqueous drainage implant versus Ahmed glaucoma valve in refractory glaucoma: A pilot study. *Indian Journal of Ophthalmology*. 2018; 66 (11): 1580–5. doi: 10.4103/ijo.IJO_427_18
12. Бикбов М.М., Суркова В.К., Хуснитдинов И.И. и др. Результаты применения дренажа Ahmed при рефрактерной глаукоме. *РМЖ. Клиническая офтальмология*. 2013; 21 (3): 145–50. [Bikbov M.M., Surkova V.K., Khusnitdinov I.I., et al. Results of implantation of drainage system Ahmed in patients with refractory glaucoma. *Russian journal of clinical ophthalmology*. 2013; 21 (3): 145–50 (In Russ.)]. <https://cyberleninka.ru/article/n/rezultaty-primeneniya-drenazha-ahmed-pri-refraktornoj-glaukome>
13. Бикбов М.М., Хуснитдинов И.И. Анализ гипотензивного эффекта имплантации клапана Ahmed при рефрактерной глаукоме. *Национальный журнал Глаукома*. 2016; 15 (3): 24–34. [Bikbov M.M., Khusnitdinov I.I. Analysis of hypotensive effect after Ahmed valve implantation in patients with refractory glaucoma. *National journal of Glaucoma*. 2016; 15 (3): 24–34 (In Russ.)]. https://www.glaucomajournal.ru/jour/article/view/115?locale=ru_RU
14. Kang YK, Shin JP, Kim DW. Long-term surgical outcomes of Ahmed valve implantation in glaucoma patients according to the type of glaucoma. *BMC Ophthalmology*. 2022; 22 (1): 270. doi: 10.1186/s12886-022-02493-w
15. Yu B, Xin M, Sun Y, et al. Intermediate-term outcomes of Ahmed glaucoma valve implantation in glaucoma patients. *BMC Ophthalmology*. 2025; 25: 474. doi: 10.1186/s12886-025-04310-6
16. Budenz DL, Barton K, Gedde SJ, et al. Five-year treatment outcomes in the Ahmed Baerveldt comparison study. *Ophthalmology*. 2015; 122 (2): 308–16. doi: 10.1016/j.ophtha.2014.08.043
17. Barton K, Feuer WJ, Budenz DL, et al. Three-year treatment outcomes in the Ahmed Baerveldt comparison study. *Ophthalmology*. 2014; 121 (8): 1547–57. doi: 10.1016/j.ophtha.2014.01.036
18. Papadonta SA, Kontopoulou K, Kollia E, et al. Long-term outcome after implantation of the Ahmed glaucoma valve in refractory glaucoma. *Cureus*. 2025; 17 (6). doi: 10.7759/cureus.85230
19. Tran L, Vo J, Bell K, et al. Does bevacizumab improve outcomes after Ahmed glaucoma valve implantation for refractory glaucoma? A Meta-Analysis. *Journal of Glaucoma*. 2024; 33 (6): 444–55. doi: 10.1097/IJG.0000000000002357
20. Riva I, Roberti G, Katsanos A, et al. A review of the Ahmed glaucoma valve implant and comparison with other surgical operations. *Advances in Therapy*. 2017; 34 (4): 834–47. doi: 10.1007/s12325-017-0503-1
21. Талалаев М.А. Клинический случай хирургического лечения рефрактерной вторичной глаукомы на фоне хронического вялотекущего увеита. *Клинические случаи в офтальмологии*. 2025; 2 (9): 51. [Talalaev M.A. Clinical case of surgical treatment of refractory secondary glaucoma against the background of chronic sluggish uveitis. *Clinical cases in ophthalmology*. 2025; 2 (9): 51 (In Russ.)]. doi: 10.25276/2949-4494-2025-2-51
22. Волкова Н.В., Юрьева Т.Н., Куроедов А.В. Анализ эффективности и безопасности имплантации дренажных устройств в хирургии глаукомы. *Национальный журнал Глаукома*. 2024; 23 (2): 79–94. [Volkova N.V., Iureva T.N., Kuroyedov A.V. Analysis of the effectiveness and safety of implantation of drainage devices in glaucoma surgery. *National journal Glaucoma*. 2024; 23 (2): 79–94 (In Russ.)]. doi: 10.53432/2078-4104-2024-23-2-79-94

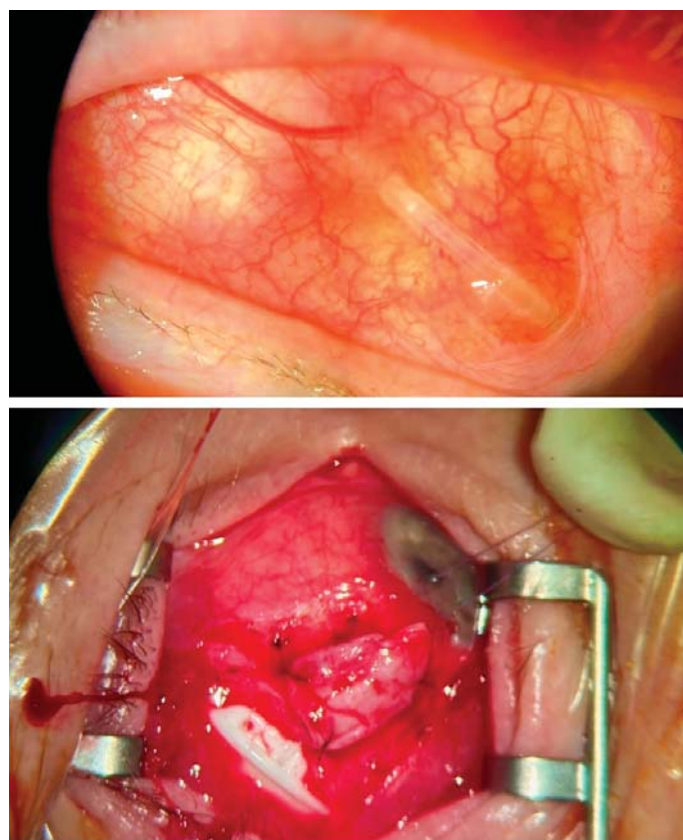


Рис. 4. Обнажение трубочки шунта GlaucoDrain и ее покрытие псевдокапсулой шунта
Fig. 4. GlaucoDrain shunt tube exposure and its cover with shunt pseudocapsule

23. Koentjoro SL, Soebijantoro I, Istantoro VW, et al. Comparison of complications after Ahmed versus Baerveldt implant in glaucoma patients: one year follow-up. *International Journal of Ophthalmology*. 2020; 13 (12): 1908–14. doi: 10.18240/ijo.2020.12.10
24. Mittal S, Pegu J, Daga D, et al. Intermediate-term outcome of Aurolab aqueous drainage implant in refractory glaucoma. *Saudi Journal of Ophthalmology*. 2023; 37 (4): 321–6. doi: 10.4103/sjopt.sjopt_117_22
25. European Glaucoma Society Terminology and Guidelines for Glaucoma, 5th Edition. *Br J Ophthalmol*. 2021 Jun; 105 (Suppl 1): 1–169. doi: 10.1136/bjophthalmol-2021-egsguidelines
26. Астахов Ю.С., Николаенко В.П., ред. Офтальмология. Фармакотерапия без ошибок. Второе издание, переработанное и дополненное. Москва: Е-нот; 2021. [Astakhov Yu.S., Nikolaenko V.P., eds. *Ophthalmology. Pharmacotherapy without mistakes*. Second edition revised and supplemented. Moscow: E-noto; 2021 (In Russ.)].
27. Sisodia VPS, Krishnamurthy R. Aurolab Aqueous Drainage Implant (AADI): review of indications, mechanism, surgical technique, outcomes, impact and limitations. *Seminars in Ophthalmology*. 2022; 37 (7–8): 856–68. doi: 10.1080/08820538.2022.2082254
28. Riva I, Roberti G, Oddone F, et al. Ahmed glaucoma valve implant: surgical technique and complications. *Clinical Ophthalmology*. 2017; 11: 357–67. doi: 10.2147/oph.s104220
29. Pathak Ray V, Rao DP. Surgical outcomes of a new low-cost nonvalved glaucoma drainage device in refractory glaucoma: results at 1 year. *Journal of Glaucoma*. 2018; 27 (5): 433–9. doi: 10.1097/IJG.0000000000000930
30. Puthuran GV, Palmberg P, Wijesinghe HK, et al. Intermediate-term outcomes of an affordable aqueous drainage implant in adults with refractory glaucoma. *Ophthalmology Glaucoma*. 2019; 2 (4): 258–66. doi: 10.1016/j.ogla.2019.03.009
31. Лоскутов И.А., Андрихина О.М., Халдеев С.С. Дренажная хирургия глаукомы (обзор литературы). *Эффективная фармакотерапия*. 2022; 18 (20): 20–6. [Loskutov I.A., Andriukhina O.M., Khaldeev S.S. Drainage surgery of glaucoma (literature review). *Effective pharmacotherapy*. 2022; 18 (20): 20–6 (In Russ.)]. doi: 10.33978/2307-3586-2022-18-20-20-26

32. Ferrere M, Garcia-Mansilla I, de Gainza A. Navigating postoperative complications: Uveitis-glaucoma-hyphema syndrome after Ahmed glaucoma valve implantation. *World Journal of Clinical Cases*. 2024; 12 (36): 6944–6. doi: 10.12998/wjcc.v12.i36.6944
33. Gedde SJ, Feuer WJ, Lim KS, et al. Primary tube versus trabeculectomy study group. Postoperative complications in the primary tube versus trabeculectomy study during 5 years of follow-up. *Ophthalmology*. 2022; 129 (12): 1357–67. doi: 10.1016/j.ophtha.2022.07.004
34. Jayasri P, Kaliaperumal S, Behera G, et al. Safety and efficacy of Aurolab aqueous drainage implant in refractory glaucoma: A prospective study. *Indian Journal of Ophthalmology*. 2022; 70 (12): 4212–6. doi: 10.4103/ijo.IJO_1391_22

Вклад авторов в работу: А.В. Антонова — идея и концепция исследования, обзор литературы, написание и научное редактирование статьи; В.П. Николаенко — написание статьи, обзор литературы; М.И. Семенова — написание и техническое редактирование статьи, оформление библиографии.

Author's contribution: A.V. Antonova — idea and concept of publication, data collection, writing, scientific editing and final approval of the article for publication; V.P. Nikolaenko — writing of the article, literature analysis; M.I. Semenova — writing and technical editing of the article, bibliography preparation.

Поступила: 25.03.2026. Переработана: 28.04.2026. Принята к печати: 29.04.2026

Originally received: 25.03.2026. Final revision: 28.04.2026. Accepted: 29.04.2026

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ/INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

¹ СПб ГБУЗ «Городская многопрофильная больница № 2», Учебный переулок, д. 5, Санкт-Петербург, 194354, Россия

² ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет», Университетская наб., д. 7/9, Санкт-Петербург, 199034, Россия

Анастасия Валерьевна Антонова — канд. мед. наук, заведующая отделением микрохирургическим (глаза) № 4¹, ассистент кафедры оториноларингологии и офтальмологии², ORCID 0000-0002-2639-2765

Вадим Петрович Николаенко — д-р мед. наук, заместитель главного врача по офтальмологии¹, профессор кафедры оториноларингологии и офтальмологии², ORCID 0000-0002-6393-1289

Мария Игоревна Семенова — врач отделения микрохирургического (глаза) № 4¹, ORCID 0009-0007-0451-9714

Для контактов: Анастасия Валерьевна Антонова,
dr.antonova.av@gmail.com

¹ City Multidisciplinary Hospital No. 2, 5, Uchebnyy lane, St. Petersburg, 194354, Russia

² St. Petersburg State University, 7/9, Universitetskaya emb., St. Petersburg, 199034, Russia

Anastasiya V. Antonova — Cand. of Med. Sci., head of microsurgery ophthalmological department No. 4¹, assistant of chair of otorhinolaryngology and ophthalmology², ORCID 0000-0002-2639-2765

Vadim P. Nikolaenko — Dr. of Med. Sci., head of the department of ophthalmology¹, professor of chair of otorhinolaryngology and ophthalmology², ORCID 0000-0002-6393-1289

Maria I. Semenova — ophthalmologist, microsurgery ophthalmological department No. 4¹, ORCID 0009-0007-0451-9714

For contacts: Anastasiya V. Antonova,
dr.antonova.av@gmail.com



<https://doi.org/10.21516/2072-0076-2026-19-2-29-35>

Роль оптической когерентной томографии в оценке аксонального повреждения при аутоиммунных поражениях зрительного нерва

А.С. Батчаев¹✉, А.С. Османова², Л.М. Махтимагомедова², З.М. Билалмагомедова², З.К. Хажгераева², Б.А. Махова², Х.Д. Гериханова³, Д.А. Хохлухин⁴

¹ ФГБОУ ВО «Северо-Кавказская государственная академия», ул. Ставропольская, д. 36, Черкесск, Карачаево-Черкесская Республика, 369001, Россия

² ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный медицинский университет» Минздрава России, пл. Ленина, д. 1, Махачкала, Республика Дагестан, 367000, Россия

³ ФГБОУ ВО «Чеченский государственный университет им. А.А. Кадырова», Медицинский институт, ул. А. Шерипова, д. 32, Грозный, 364024, Россия

⁴ ФГБОУ ВО «ВГМУ им. Н.Н. Бурденко» Минздрава России, ул. Студенческая, д. 10, Воронеж, 394036, Россия

Цель работы — сравнительный анализ данных оптической когерентной томографии (ОКТ) пациентов с нейромиелиитом зрительного нерва (NMOSD) и невритом зрительного нерва при рассеянном склерозе (MS-ON) для выявления структурных различий и уточнения диагностических критериев. **Материал и методы.** Комплексное офтальмологическое и нейровизуализационное обследование, включающее ОКТ с оценкой толщины слоя нервных волокон сетчатки (RNFL), макулярной зоны и хориоидеи проведено 26 пациентам (46 глаз). **Результаты.** У пациентов обеих исследуемых групп выявлено достоверное снижение RNFL по сравнению с контролем ($p < 0,01$), при этом наиболее выраженные изменения отмечены в группе NMOSD-ON, особенно в височном квадранте. Частота макулярного микрокистозного отека составила 30,7% у пациентов с NMOSD-ON и 11,5% — у пациентов с MS-ON ($p = 0,02$). Субфовеальная толщина хориоидеи в группах значимо не различалась ($p > 0,05$). **Заключение.** Результаты ОКТ подтверждают, что NMOSD-ассоциированный неврит зрительного нерва характеризуется более выраженной аксональной дегенерацией и структурными изменениями. Интеграция данных нейровизуализации и клинических показателей повышает точность дифференциальной диагностики и может служить основой для разработки персонализированных подходов к лечению и мониторингу пациентов с воспалительными поражениями зрительного нерва.

Ключевые слова: неврит зрительного нерва; рассеянный склероз; NMOSD; оптическая когерентная томография; толщина слоя нервных волокон сетчатки; макулярный микрокистозный отек

Конфликт интересов: отсутствует.

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

For citation: Батчаев А.С., Османова А.С., Махтимагомедова Л.М., Билалмагомедова З.М., Хажгераева З.К., Махова Б.А., Гериханова Х.Д., Хохлухин Д.А. Роль оптической когерентной томографии в оценке аксонального повреждения при аутоиммунных поражениях зрительного нерва. Российский офтальмологический журнал. 2026; 19 (2): 29-35. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2026-19-2-29-35>

The role of optical coherence tomography in the assessment of axonal damage in autoimmune lesions of the optic nerve

Aslan S.-U. Batchaev¹✉, Aminat S. Osmanova², Liana M. Makhtimagomedova², Zalina M. Bilalmagomedova², Zulfiya K. Khazhgeraeva², Batina A. Makhova², Khadizha D. Gerikhanova³, Daniil A. Khokhlukhin⁴

¹ North Caucasian State Academy, 36, Stavropol St., Cherkessk, Karachay-Cherkess Republic, 369001, Russia

² Dagestan State Medical University, 1, Lenin Square, Makhachkala, Republic of Dagestan, 367000, Russia

³ Kadyrov Chechen State University, Medical Institute, A. Sheripova St., 32, Grozny, 364024, Russia

⁴ V.I. Burdenko Voronezh State Medical University, 10, Studencheskaya St., Voronezh, 394036, Russia
batchaev2025@bk.ru

*The purpose of the study was to comparatively analyze optical coherence tomography (OCT) data from patients with neuromyelitis optica (NMOSD) and optic neuritis in multiple sclerosis (MS-ON) to identify structural differences and refine diagnostic criteria. **Material and methods.** A comprehensive ophthalmological and neuroimaging examination, including OCT with assessment of retinal nerve fiber layer thickness (RNFLT), macular area, and choroid, was performed in 26 patients (46 eyes). **Results.** Patients in both study groups showed a significant decrease in RNFLT compared to the controls ($p < 0.01$), with the most pronounced changes noted in the NMOSD-ON group, especially in the temporal quadrant. The incidence of macular microcystic edema was 30.7% in patients with NMOSD-ON and 11.5% in patients with MS-ON ($p = 0.02$). Subfoveal choroidal thickness did not differ significantly between the groups ($p > 0.05$). **Conclusion.** OCT results confirm that NMOSD-associated optic neuritis is characterized by more pronounced axonal degeneration and structural changes. Integration of neuroimaging and clinical data improves the accuracy of differential diagnosis and can serve as a basis for developing personalized approaches to treating and monitoring patients with inflammatory optic nerve lesions.*

Keywords: optic neuritis; multiple sclerosis; NMOSD; optical coherence tomography; thickness of retina nerve fiber layer; macular microcystic edema

Conflict of interest: there is no conflict of interest.

Financial disclosure: no author has a financial or property interest in any material or method mentioned.

For citation: Batchaev A.S., Osmanova A.S., Makhtimagomedova L.M., Bilalmagomedova Z.M., Khazhgeraeva Z.K., Makhova B.A., Gerikhanova Kh. D., Khokhlukhin D. A. The role of optical coherence tomography in the assessment of axonal damage in autoimmune lesions of the optic nerve. Russian ophthalmological journal. 2026; 19 (2): 29-35 (In Russ.). <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2026-19-2-29-35>

Расстройства спектра нейромиеелита оптического нерва (NMOSD) и неврит зрительного нерва (ЗН) при рассеянном склерозе (MS-ON) представляют собой клинически сходные, но патогенетически различные состояния, сопровождающиеся воспалительным поражением ЗН и снижением зрительных функций [1]. Несмотря на общие клинические проявления — острую потерю зрения, боль при движении глаз и отек диска ЗН — эти заболевания различаются по иммунологическим механизмам, частоте рецидивов и исходам.

По данным международных эпидемиологических исследований, частота NMOSD составляет около 0,5–4 случая на 100 тыс. населения, а неврит ЗН при рассеянном склерозе встречается преимущественно у пациентов молодого и среднего возраста, чаще у женщин, и нередко является одним из клинических проявлений демиелинизирующего процесса [2]. В России также отмечается тенденция к росту числа пациентов с воспалительными поражениями ЗН, что делает проблему дифференциальной диагностики особенно актуальной [3].

Традиционные клинические методы — исследование остроты зрения, полей зрения и вызванных потенциалов — не всегда позволяют достоверно различить NMOSD-ассоциированный неврит ЗН и неврит ЗН при рассеянном

склерозе на ранних этапах заболевания [4]. В этой связи особое значение приобретает оптическая когерентная томография (ОКТ) — высокоточный неинвазивный метод визуализации, позволяющий оценить толщину слоя нервных волокон сетчатки (RNFL) и ганглиозных клеток внутреннего плексиформного слоя (GCIPL), отражающих степень аксональной дегенерации [5, 6].

Исследования последних лет показали, что при NMOSD наблюдается более выраженное истончение RNFL и GCIPL, чем при неврите ЗН, ассоциированном с рассеянным склерозом, даже после первого эпизода воспаления, что указывает на различие в механизмах повреждения и регенерации. При этом ОКТ позволяет не только объективизировать структурные изменения, но и сопоставить их с клиническими параметрами — остротой зрения, длительностью заболевания и частотой рецидивов. Сравнительный анализ данных ОКТ в группах NMOSD-ассоциированного неврита ЗН и неврита ЗН при рассеянном склерозе открывает возможности для ранней дифференциальной диагностики, уточнения прогноза и выбора оптимальной терапии. Вместе с тем опубликованные данные остаются неоднородными по дизайну исследования, характеристикам включенных пациентов и применяемым протоколам ОКТ, что затрудняет сопостав-

ление результатов и выработку универсальных критериев оценки [7–10].

Современные исследования стремятся к стандартизации показателей ОКТ и интеграции их с клиничко-неврологическими и нейровизуализационными данными, что обеспечивает комплексный подход к оценке состояния ЗН [11–14]. Таким образом, использование ОКТ как ключевого диагностического инструмента в сочетании с клиническими тестами и нейровизуализацией позволяет повысить точность диагностики и персонализировать подход к лечению пациентов с воспалительными поражениями ЗН [15].

Актуальность данного исследования обусловлена необходимостью уточнения дифференциально-диагностических критериев между NMOSD-ассоциированным невритом ЗН и невритом ЗН при рассеянном склерозе, что особенно важно для выбора терапевтической тактики и прогноза восстановления зрения.

ЦЕЛЬ работы — сравнительный анализ результатов ОКТ у пациентов с невритом ЗН различной этиологии — NMOSD-ассоциированным и с документированным рассеянным склерозом (MS-ON) для выявления структурных различий и уточнения диагностических критериев.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В исследование включены пациенты с диагнозом неврит ЗН, проходившие обследование в нейроофтальмологическом отделении Воронежского областного офтальмологического центра с января 2023 г. по июнь 2024 г. при научном взаимодействии с ФГБОУ ВО «Северо-Кавказская государственная академия», на базе которой осуществлялось научное сопровождение, анализ данных и подготовка материалов исследования. Набор пациентов проводился на основе проспективного дизайна типа «случай — контроль».

Всего обследовано 26 пациентов (46 глаз), распределенных на три группы: с NMOSD-ON — невритом ЗН, ассоциированным с расстройством спектра нейромиелиита ЗН (группа 1), с MS-ON — невритом ЗН у пациентов с рассеянным склерозом (группа 2) и группа здорового контроля. В исследование вошли пациенты как с первым эпизодом неврита ЗН, так и с повторными эпизодами поражения ЗН в анамнезе: из 26 пациентов (46 глаз) 19 пациентов (34 глаза) имели один перенесенный эпизод неврита ЗН, а у 7 (12 глаз) пациентов отмечались повторные эпизоды. При анализе анамнестических данных отдельно учитывалась длительность основного неврологического заболевания — NMOSD или рассеянного склероза — и время, прошедшее после последнего эпизода неврита ЗН. Средний интервал от последнего эпизода воспаления ЗН до проведения ОКТ составил $7,3 \pm 3,1$ мес в общей группе и $9,4 \pm 3,6$ мес у пациентов с повторными эпизодами неврита ЗН.

Критериями исключения было наличие признаков ишемической, токсической, метаболической, наследственной, инфильтративной или компрессионной нейропатии, а также заболеваний сетчатки и глазного дна, которые могли исказить результаты визуализации. Из исследования исключались лица с внутриглазным давлением более 21 мм рт. ст., с выраженной рефракционной аномалией ($> \pm 3,0$ D), астигматизмом свыше 2,0 D, перенесенной травмой глаза, глаукомой или ранее проведенными лазерными вмешательствами.

Диагноз NMOSD устанавливался на основании клинических данных и положительного ответа на антитела к аквапориному-4 (AQP4-IgG), определяемого методом клеточного иммунного анализа. В группу MS-ON включались пациенты

с невритом ЗН и документированным диагнозом рассеянного склероза, установленным по действующим диагностическим критериям.

В группу NMOSD-ON вошли 12 пациентов (21 глаз) с подтвержденным наличием антител к аквапориному-4 (AQP4-IgG), что определяло их принадлежность к спектру нейромиелиита оптического типа. У 3 пациентов отмечалось одностороннее поражение ЗН, у 9 пациентов — двустороннее. По клинической форме поражение ЗН проявлялось в виде ретробульбарного неврита у 8 пациентов, папиллит — у 4 пациентов. У 8 пациентов был зарегистрирован один эпизод неврита ЗН, у 4 пациентов отмечалось рецидивирующее течение. Длительность основного неврологического заболевания, рассчитанная с момента установления диагноза NMOSD до проведения офтальмологического обследования, составила $7,8 \pm 3,4$ мес.

В группу MS-ON было включено 14 пациентов (25 глаз) с ремиттирующим рассеянным склерозом и клинически подтвержденным невритом ЗН. У 3 пациентов поражение ЗН было односторонним, у 11 пациентов — двусторонним. Ретробульбарный неврит был выявлен у 11 пациентов, папиллит — у 3 пациентов. Один перенесенный эпизод неврита ЗН отмечался у 11 пациентов, повторные эпизоды — у 3 пациентов. Длительность основного неврологического заболевания, определенная с момента установления диагноза рассеянного склероза до включения в исследование, составила $6,9 \pm 2,8$ мес. Отдельно учитывался интервал от последнего эпизода неврита ЗН до проведения ОКТ, поскольку данный показатель не отождествлялся с длительностью основного неврологического заболевания.

Все участники предоставили письменное информированное согласие в соответствии с принципами Хельсинкской декларации. Обследование включало оценку остроты зрения, периметрию, биомикроскопию и расширенный протокол ОКТ (Topcon DRI OCT Triton Plus, Topcon Corporation, Япония) в режиме Enhanced Depth Imaging (EDI).

Для оценки RNFL применялась круговая сканирующая программа диаметром 3,4 мм с последующей автоматической сегментацией. Макулярная область анализировалась на основе сетчатого сканирования 25 горизонтальных сечений, центрированных на фовеа. Толщина хориоидеи (ChT) определялась вручную как расстояние между пигментным эпителием и внутренней границей склеры в субфовеальной области.

Клинические и лабораторные данные регистрировались в электронных формах, включающих уровни AQP4-IgG, антинуклеарных антител и маркеров системного воспаления. Все обследования проводились не ранее чем через 6 мес после последнего эпизода воспаления, когда функциональные и структурные изменения ЗН стабилизировались.

Статистическая обработка выполнялась с использованием программы Jamovi v.2.5.3 (University of Sydney, Австралия). Для сравнения средних значений применялся однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA) с поправкой Холма — Бонферрони. Корреляция между параметрами RNFL, толщиной макулы и остротой зрения (BCVA, выраженной в logMAR) определяли с помощью линейной регрессии Пирсона. Статистически значимыми считались различия при $p < 0,05$.

Основным критерием сравнительной оценки групп с NMOSD-ON, MS-ON и здорового контроля являлось значение толщины RNFL. Дополнительные показатели включали анализ ChT, макулярной области и выявление кистозных изменений сетчатки, что позволило комплексно оценить структурные последствия воспаления ЗН.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Демографические и клинические характеристики участников, в том числе данные о возрасте, поле, длительности основного неврологического заболевания, уровне BCVA (logMAR), количестве эпизодов неврита ЗН и сроке, прошедшем после последнего эпизода воспаления, представлены в таблице 1. Рецидивирующее течение оптического неврита отмечалось у 7 из 26 больных, что составило 26,9%. Средняя длительность заболевания у пациентов с рецидивирующим течением составила $9,4 \pm 3,6$ мес, что было выше, чем в общей выборке.

Сравнение пациентов с первым эпизодом и рецидивирующим течением заболевания по данным ОКТ выявило тенденцию к большему истончению RNFL у больных с рецидивами. Наиболее отчетливо данная закономерность прослеживалась в группе MS-ON, где различия достигали статистической значимости ($p = 0,041$), тогда как в группе NMOSD-ON отмечалась аналогичная тенденция без статистической значимости ($p = 0,116$).

Анализ структурных показателей ОКТ показал, что средняя толщина RNFL достоверно снижена у пациентов обеих исследуемых групп по сравнению с контрольными показателями ($p < 0,01$). При этом выраженность атрофии более значительна у пациентов с NMOSD-ON, особенно в височном и нижнем квадрантах перипапиллярной области. В среднем значение толщины RNFL у пациентов с NMOSD-ON составило $67,4 \pm 9,3$ мкм, у больных с MS-ON — $74,1 \pm 8,7$ мкм, в то время как у здоровых добровольцев аналогичный показатель равнялся $96,5 \pm 7,2$ мкм ($p < 0,001$). Анализ показал, что атрофия преимущественно затрагивала височный сектор, где наблюдалось значительное истончение волокон по сравнению с носовым квадрантом, что согласуется с характером поражения аксонов при демиелинизирующих процессах. Толщина центральной фовеолы оказалась несколько увеличенной в глазах с невритом ЗН по сравнению с контрольной группой, что, вероятно, связано с компенсаторными изменениями внутренних слоев сетчатки. Средние

значения составили $266,8 \pm 22,1$ мкм для NMOSD-ON и $258,4 \pm 19,6$ мкм для MS-ON, при этом различие между ними достигало статистической значимости ($p = 0,041$).

Субфовеальная ChT существенно не отличалась в исследуемых группах и в контроле ($p = 0,38$), что указывает на отсутствие выраженных сосудистых изменений в макулярной зоне на поздней стадии заболевания. В клинической практике у большинства пациентов с NMOSD-ON наблюдалась типичная картина височного преобладания атрофии, подтвержденная на ОКТ-изображениях. Данный феномен отражает избирательное повреждение волокон папилломакулярного пучка, что характерно для поствоспалительной аксонопатии ЗН.

Для количественной оценки распределения атрофии использовалось отношение N/T (носовой/височный квадрант), которое составило $0,94 \pm 0,38$ в группе NMOSD-ON и $1,02 \pm 0,41$ в группе MS-ON, без статистически значимых различий между ними ($F = 0,312$; $p = 0,579$). Это указывает на схожий характер топографии поражения, несмотря на различную иммунопатологическую природу заболеваний. Кроме того, анализ глаз пациентов с единичным эпизодом воспаления показал, что степень истончения RNFL оставалась более выраженной у больных с NMOSD-ON, чем с MS-ON ($p < 0,01$), что подтверждает тенденцию к более агрессивному течению воспаления при NMOSD-связанном неврите. Сравнение показателей пациентов с повторными эпизодами неврита ЗН (NMOSD-ON) не выявило статистически значимых различий ни по сравнению с пациентами, имеющими аналогичное количество рецидивов при рассеянном склерозе (MS-ON), ни с больными NMOSD-ON после одного эпизода ($p > 0,05$). Обобщенные данные межгруппового анализа представлены в таблице 2, где отражены значения зрительных и морфометрических параметров в зависимости от числа перенесенных эпизодов.

Анализ полученных данных показал, что средние значения толщины RNFL у пациентов с NMOSD-ON с

Таблица 1. Демографические и клинические характеристики участников исследования
Table 1. Demographic and clinical characteristics of study participants

Показатель Parameter	NMOSD-ON n = 12	MS-ON n = 4	Контроль Control n = 20	Статистика Statistics	p-значение p-value
Возраст, лет Age, years M $\pm$ SD	$39,4 \pm 10,2$	$41,7 \pm 9,6$	$40,8 \pm 8,9$	$t = 0,84$	0,41
Пол (М/Ж) Gender (M/F)	4/8	5/9	9/11	$\chi^2 = 0,52$	0,47
Длительность заболевания, мес Disease duration, months M $\pm$ SD	$7,8 \pm 3,4$	$6,9 \pm 2,8$	—	$t = 1,12$	0,27
BCVA (logMAR)	$0,48 \pm 0,21$	$0,36 \pm 0,19$	$0,02 \pm 0,01$	$t = 4,92$	$<0,001$
RNFL, мкм RNFL, μm	$67,4 \pm 9,3$	$74,1 \pm 8,7$	$96,5 \pm 7,2$	$F = 15,8$	$<0,001$
Толщина центральной фовеолы, мкм Central foveal thickness, μm	$266,8 \pm 22,1$	$258,4 \pm 19,6$	$249,7 \pm 18,3$	$F = 4,17$	0,041
Субфовеальная ChT, мкм Subfoveal ChT, μm	$230,5 \pm 27,9$	$228,3 \pm 26,1$	$234,6 \pm 25,4$	$F = 0,97$	0,38
Отношение N/T N/T ratio	$0,94 \pm 0,38$	$1,02 \pm 0,41$	—	$F = 0,31$	0,579

Примечание. n — количество пациентов; N/T — носовой/височный квадрант, M $\pm$ SD — среднее $\pm$ стандартное отклонение, RNFL — толщина слоя нервных волокон сетчатки, p — значения рассчитаны с использованием однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) с коррекцией по Бонферрони.

Note. n — number of patients, N/T — nasal/temporal area, M $\pm$ SD — mean $\pm$ standard deviation, RNFL — retinal nerve fiber layer thickness, p — values were calculated using one-way ANOVA with Bonferroni correction.

Таблица 2. Сравнительный анализ средней толщины слоя нервных волокон сетчатки при различных формах неврита зрительного нерва
Table 2. Comparative analysis of mean retinal nerve fiber layer thickness in different forms of optic neuritis

Сравниваемые группы Compared groups	p-значение p-value	Группа 1 Group 1 M ± SD	Группа 2 Group 2 M ± SD	Интерпретация Interpretation
NMOSD-ON с 1 ON (n = 10) vs Здоровые NMOSD-ON with 1 ON vs Healthy (n = 10)	0,000	60,12 ± 21,84	104,76 ± 11,02	Значимо снижено Significantly decreased
MS-ON с 1 ON (n = 9) vs Здоровые MS-ON with 1 ON vs Healthy (n = 9)	0,000	73,94 ± 27,62	104,76 ± 11,02	Значимо снижено Significantly decreased
NMOSD-ON с 1 ON vs MS-ON с 1 ON NMOSD-ON with 1 ON vs MS-ON with 1 ON	0,002	60,12 ± 21,84	73,94 ± 27,62	Различие выражено Marked difference
NMOSD-ON > 1 ON (n = 4) vs MS-ON > 1 ON (n = 3)	0,672	47,83 ± 15,47	53,22 ± 30,91	Различие незначимо Not significant
NMOSD-ON 1 ON vs NMOSD-ON > 1 ON	0,116	60,12 ± 21,84	47,83 ± 15,47	Тенденция к снижению Trend toward decrease
MS-ON 1 ON vs MS-ON > 1 ON	0,041	73,94 ± 27,62	53,22 ± 30,91	Значимое различие Significant difference

Примечание. M ± SD — среднее значение ± стандартное отклонение.

Note. M ± SD — mean ± standard deviation.

множественными эпизодами неврита ЗН оказались ниже, чем у пациентов с единичным эпизодом, однако различия не достигли статистической значимости ($p > 0,05$). Схожая тенденция наблюдалась и в подгруппе MS-ON, где повторные случаи заболевания сопровождались выраженным снижением толщины RNFL по сравнению с первичными эпизодами, что отражает кумулятивный эффект воспалительно-го повреждения ЗН (табл. 3).

Проведенный анализ выявил макулярный микрокистозный отек (ММЕ) по данным ОКТ у 7 (26,9%) из 26 обследованных пациентов и у 8 (15,4%) из 52 глаз, включая 5 (62,5%) глаз у пациентов, перенесших более одного эпизода неврита ЗН. Частота ММЕ оказалась выше у пациентов с NMOSD-ON — 30,7% (4 из 13 глаз), чем у больных с MS-ON — 11,5% (3 из 26 глаз), что свидетельствует о большей выраженности воспалительно-дегенеративных процессов при NMOSD ($p = 0,02$).

Сравнение демографических характеристик не выявило достоверных различий по возрасту и полу между пациентами с наличием ММЕ и без него ($p > 0,05$), что исключает влияние этих факторов на развитие отека. Значения толщины RNFL оказались ниже в группе с ММЕ на 17,8 мкм по сравнению с глазами без отека ($p = 0,04$), что указывает на выраженное аксональное истончение при сочетании воспаления и отека. Толщина центральной фoveальной ямки была увеличена в среднем на 9,6 мкм у пациентов с ММЕ относительно контрольных глаз без отека ($p = 0,21$), что соответствует характерной картине перераспределения внутриглазной жидкости при данном состоянии. Иллюстративное распределение случаев ММЕ и толщины сетчатки демонстрируют различие между группами NMOSD-ON и MS-ON (рисунок).

Полученные результаты подтверждают, что у пациентов с NMOSD-ассоциированным невритом ЗН наблюдается более выраженное истончение RNFL, чем с MS-ON, что согласуется с современными данными о различиях в механизмах

Таблица 3. Регрессионный анализ взаимосвязи RNFL с клиническими показателями у пациентов с NMOSD-ON и MS-ON

Table 3. Regression analysis of the association between RNFL and clinical parameters in patients with NMOSD-ON and MS-ON

Показатель Parameter	NMOSD-ON	β	MS-ON	β
BCVA (logMAR)	$p = 0,028$	-3,94	$p = 0,039$	-1,86
Глобальный RNFL Global RNFL	$p = 0,031$	-4,82	$p = 0,042$	-2,43
Верхний квадрант Superior quadrant	$p = 0,026$	-7,77	$p = 0,028$	-1,47
Носовой квадрант Nasal quadrant	$p = 0,034$	-5,17	$p = 0,036$	-1,38
Нижний квадрант Inferior quadrant	$p = 0,031$	-8,43	$p = 0,033$	-1,17
Височный квадрант Temporal quadrant	$p = 0,044$	-4,91	$p = 0,047$	-2,08
Среднее значение RNFL Mean RNFL	$p = 0,029$	-6,12	$p = 0,038$	-1,96

Примечание. BCVA — максимальная скорректированная острота зрения, RNFL — толщина слоя нервных волокон сетчатки, β — коэффициент регрессии, отражающий направление и выраженность связи между исследуемыми показателями.

Note. BCVA — best corrected visual acuity, RNFL — retinal nerve fiber layer thickness, β — regression coefficient reflecting the direction and severity of the relationship between the studied indicators.

аксонального повреждения при данных формах заболевания [13]. В отличие от MS-ON, где дегенеративные изменения развиваются медленнее, NMOSD-ON характеризуется острым воспалительным ответом, приводящим к ранней и значительной потере аксонов. Это совпадает с результатами работ P. Villoslada и соавт. [12] и X. Wang и L. Bao [13], где также отмечено преимущественное поражение височного сектора и более выраженная атрофия при NMOSD, чем при других типах неврита ЗН.

Согласно нашим данным, субfoвеальная ChT не имеет значимых различий между группами, что подтверждает предположение о преимущественно нейродегенеративном, а не сосудистом характере поражения [6]. Сходные результаты получены E. Esen и соавт. [7], однако в нашем исследовании выявлены более четкие корреляции между истончением RNFL и снижением остроты зрения, что подчеркивает диагностическую ценность количественного анализа ОКТ. Кроме того, частота ММЕ оказалась существенно выше у пациентов с

NMOSD-ON, что, вероятно, отражает сочетанное действие воспалительных и нейродегенеративных процессов на внутренние слои сетчатки.

Интересно отметить, что в отличие от наблюдений К. Chalmoukou и соавт. [2], в нашем исследовании не выявлено связи между частотой рецидивов и степенью истончения RNFL, что может быть обусловлено меньшей длительностью наблюдения и различием терапевтических подходов. Сопоставление с исследованием S. Alba-Arbalat и соавт. [11] показало аналогичную тенденцию к взаимосвязи между структурными изменениями сетчатки и когнитивными показателями, что указывает на системный характер повреждения при NMOSD.

Таким образом, комплексное использование данных ОКТ позволяет не только детализировать степень и топографию повреждения ЗН, но и прогнозировать функциональные исходы заболевания [9, 10]. Для дальнейшего развития направления целесообразно проведение многоцентровых исследований с использованием унифицированных протоколов визуализации, включающих оценку микроструктуры ЗН и зрительных путей. Представленные результаты могут служить основой для создания объективных критериев ранней диагностики и мониторинга эффективности терапии, а также способствовать совершенствованию персонализированных подходов в лечении пациентов с воспалительными поражениями ЗН.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование показало, что у пациентов с NMOSD-ассоциированным невритом ЗН наблюдается более выраженное истончение RNFL, чем при MS-ON, что отражает различия в патогенетических механизмах повреждения аксонов. Полученные результаты продемонстрировали четкую связь между степенью аксональной дегенерации и снижением остроты зрения, особенно в височном и нижнем квадрантах сетчатки, где наблюдалась максимальная выраженность атрофии. Более высокая частота макулярного микрокистозного отека у пациентов с NMOSD-ON указывает на комбинированное влияние воспалительных и дегенеративных процессов на внутренние слои сетчатки. При этом отсутствие различий в ChT между исследуемыми группами подтверждает нейродегенеративный, а не сосудистый характер поражения. Полученные данные подчеркивают значимость комплексного анализа клинических и нейровизуализационных параметров для повышения точности дифференциальной диагностики и прогнозирования восстановления зрительных функций, что открывает перспективы для разработки персонализированных подходов к лечению и мониторингу пациентов с невритом ЗН различной этиологии.

Литература/References

1. Котов А.С., Токарева Ю.В., Лутик В.Н. и др. Расстройство из спектра оптиконевромиелиита в детском возрасте (клинический случай). *Русский журнал детской неврологии*. 2017; 4:56–62. [Kotov A.S., Tokareva Yu.V., Lutsik V.N., et al. Neuromyelitis optica spectrum disorder in childhood (clinical case). *Russian journal of pediatric neurology*. 2017; 4: 56–62 (In Russ.)].
2. Chalmoukou K, Alexopoulos H, Akrivou S, et al. Anti-MOG antibodies are frequently associated with steroid-sensitive recurrent optic neuritis. *Neurol*

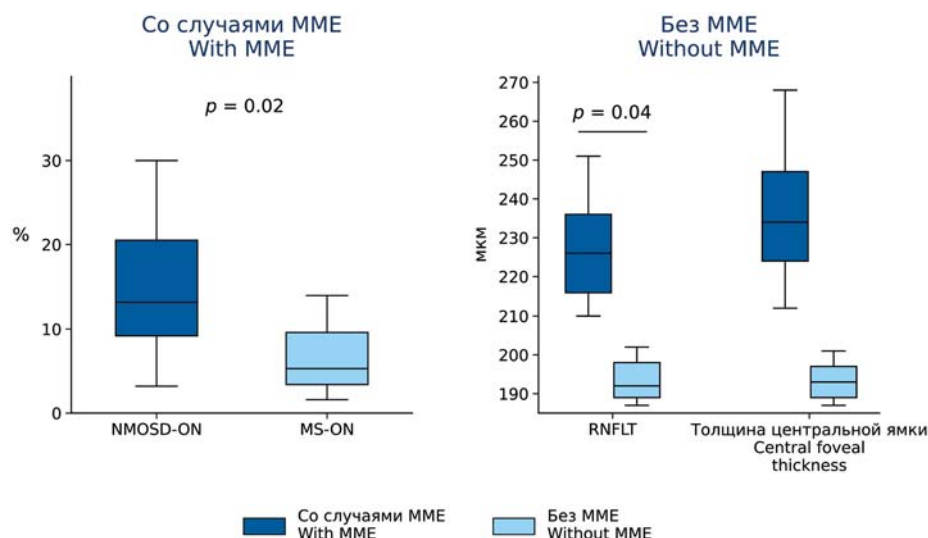


Рисунок. Частота выявления макулярного микрокистозного отека (ММЕ) у пациентов с невритом зрительного нерва различных этиологических форм (NMOSD-ON и MS-ON)

Figure. Frequency of detection of macular microcystic edema (MME) in patients with optic neuritis of various etiological forms (NMOSD-ON and MS-ON)

3. Юрьева Т.Н., Буракова Е.В., Худоногов А.А., Аюева Е.К., Сухарчук О.В. Визуализация зрительного нерва в диагностике и мониторинге ретробулбарного неврита. *Acta Biomedica Scientifica*. 2011; 6: 133–6. [Yuryeva T.N., Burlakova E.V., Khudonogov A.A., Ayueva E.K., Sukharchuk O.V. Visualization of the optic nerve in diagnosis and monitoring of retrobulbar neuritis. *Acta Biomedica Scientifica*. 2011; 6: 133–6 (In Russ.)]. Юрьева Татьяна Николаевна, <https://cyberleninka.ru/article/n/vizualizatsiya-zritel'nogo-nerva-v-diagnostike-i-monitoringe-retrobulbarnogo-nevrita>
4. Леванова О.Г., Попова Л.И. Вариабельность офтальмологических проявлений рассеянного склероза. *Вятский медицинский вестник*. 2018; 2 (58): 7–10. [Levanova O.G., Popova L.I. Variability of ophthalmologic manifestations of multiple sclerosis. *Vyatka medical bulletin*. 2018; 2 (58): 7–10 (In Russ.)].
5. Фурсова А.Ж., Зубкова М.Ю., Васильева и др. Современные диагностические возможности изучения структурных и функциональных изменений сетчатки и зрительного нерва у пациентов с рассеянным склерозом. *Российский офтальмологический журнал*. 2023; 16 (4): 97–104. [Fursova A.Zh., Zubkova M.Yu., Vasilyeva M.A., et al. Modern diagnostic possibilities for studying structural and functional changes in the retina and optic nerve in patients with multiple sclerosis. *Russian ophthalmological journal*. 2023; 16 (4): 97–104 (In Russ.)]. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2023-16-4-97-104>
6. Шуккина Т.В., Бисага Г.Н., Малько В.А., и др. Возможности оптической когерентной томографии сетчатки в клинико-визуализационной оценке нейродегенерации при рассеянном склерозе. *Сибирское медицинское обозрение*. 2024; 5: 39–45. [Shchukina T.V., Bisaga G.N., Malko V.A., et al. Possibilities of optical coherence tomography of the retina in the clinical and imaging assessment of neurodegeneration in multiple sclerosis. *Siberian medical review*. 2024; 5: 39–45 (In Russ.)]. <https://doi.org/10.20333/25000136-2024-5-39-45>
7. Esen E, Sizmaz S, Demir T, et al. Evaluation of choroidal vascular changes in patients with multiple sclerosis using enhanced depth imaging optical coherence tomography. *Ophthalmologica*. 2016; 235 (2): 65–71. doi: 10.1159/000441152
8. Zamvil SS, Slavin AJ. Does MOG Ig-positive AQP4-seronegative opticospinal inflammatory disease justify a diagnosis of NMO spectrum disorder? *Neurol Neuroimmunol Neuroinflamm*. 2015; 2 (1): e62. <https://doi.org/10.1212/NXI.0000000000000062>
9. Szanto D, Wang J-K, Woods B, et al. Macular patterns of neuronal and visual field loss in recovered optic neuritis identified by machine learning. *Sci Rep*. 2024; 14: 30935. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-81835-8>
10. Papadopoulou A, Oertel FC, Chien C, et al. Lateral geniculate nucleus volume changes after optic neuritis in neuromyelitis optica: a longitudinal study. *NeuroImage Clin*. 2021; 30: 102608. <https://doi.org/10.1016/j.nicl.2021.102608>
11. Alba-Arbalat S, Solana E, Lopez-Soley E, et al. Predictive value of retinal atrophy for cognitive decline across disease duration in multiple sclerosis. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 2024; 95: 419–25. <https://doi.org/10.1136/jnnp-2023-332332>

12. Villoslada P, Solana E, Alba-Arbalat S, et al. Retinal damage and visual network reconfiguration defines visual function recovery in optic neuritis. *Neurol Neuroimmunol Neuroinflamm*. 2024; 11: e200288. <https://doi.org/10.1212/NXI.000000000000200288>
13. Wang X, Bao L. Comparison of ocular changes in multiple sclerosis and neuromyelitis optica spectrum disorder patients. *Front Neurol*. 2024; 15: 1417814. <https://doi.org/10.3389/fneur.2024.1417814>
14. Jayakumar N, Lerch M, Dale RC, Ramanathan S. MOG antibody-associated optic neuritis. *Eye*. 2024; 38: 2289–301. <https://doi.org/10.1038/s41433-024-03108-y>
15. Bénard-Séguin É, Nielsen C, Sarhan A, et al. The role of artificial intelligence in predicting optic neuritis subtypes from ocular fundus photographs. *J Neuroophthalmol*. 2024; 44: 462–8. <https://doi.org/10.1097/WNO.00000000000002229>

Вклад авторов в работу: все авторы принимали участие в разработке концепции, дизайна, сборе и обработке данных, написании и редактировании статьи.

Author's contribution: all authors participated in the concept development, design, data collection and processing, writing and editing of the article.

Поступила: 28.02.2026. Переработана: 17.05.2026. Принята к печати: 19.05.2026

Originally received: 28.02.2026. Final revision: 17.05.2026. Accepted: 19.05.2026

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ/INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

ФГБОУ ВО «Северо-Кавказская государственная академия», ул. Ставропольская, д. 36, Черкесск, Карачаево-Черкесская Республика, 369001, Россия

Аслан Сеит-Умарович Батчаев — канд. мед. наук, доцент, и.о. заведующего кафедрой «Педиатрия», ORCID 0009-0005-3150-9664

ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный медицинский университет» Минздрава России, пл. Ленина, д. 1, Махачкала, Республика Дагестан, 367000, Россия

Аминат Сайгидовна Османова — студент

Лиана Муслимовна Махтимогомедова — студент

Залина Мурадовна Билалмагомедова — студент

Зульфия Каримулаевна Хажгераева — студент

Батина Алиасхабовна Махова — студент

ФГБОУ ВО «Чеченский государственный университет им. А.А. Кадыева», Медицинский институт, ул. А. Шерипова, д. 32, Грозный, 364024, Россия

Хадиджа Джамбулатовна Гериханова — студент

ФГБОУ ВО «ВГМУ им. Н.Н. Бурденко» Минздрава России, ул. Студенческая, д. 10, Воронеж, 394036, Россия

Даниил Андреевич Хохлухин — студент, ORCID 0009-0001-0954-2434

Для контактов: Аслан Сеит-Умарович Батчаев,
batchaev2025@bk.ru

North Caucasian State Academy, 36, Stavropol St., Cherkessk, Karachay-Cherkess Republic, 369001, Russia

Aslan S.-U. Batchaev — Cand. of Med. Sci., associate professor, acting head of the department of pediatrics, ORCID 0009-0005-3150-9664

Dagestan State Medical University, 1, Lenin Square, Makhachkala, Republic of Dagestan, 367000, Russia

Aminat S. Osmanova — student

Liana M. Makhtimagomedova — student

Zalina M. Bilalmagomedova — student

Zulfiya K. Khazhgeraeva — student

Batina A. Makhova — student

Kadyrov Chechen State University, Medical Institute, A. Sheripova St., 32, Grozny, 364024, Russia

Khadizha D. Gerikhanova — student

V.I. Burdenko Voronezh State Medical University, 10, Studencheskaya St., Voronezh, 394036, Russia

Daniil A. Khokhlukhin — student, ORCID 0009-0001-0954-2434

For contacts: Aslan S.-U. Batchaev,
batchaev2025@bk.ru



<https://doi.org/10.21516/2072-0076-2026-19-2-36-42>

Corneal endothelial cells change in different stages of keratoconus

Rabia Sharif Bhatti, Shama Khan, Hassan Mansoor, Aunaza Maqbool, Rabeeah Zafar, Rabia Faheem✉

Pakistan Institute of Ophthalmology, Al-Shifa Trust Eye Hospital, Rawalpindi, 4600, Pakistan
rabiafaheem3@gmail.com

Purpose. To evaluate the changes in morphology and total endothelial count in patients with different stages of keratoconus (KC). **Material and methods.** A cross-sectional study included 564 eyes of KC patients (57.8% males and 42.2% females) aged 19.9 ± 6.5 years. Study was conducted at the Cornea and Refractive Surgery department of Alshifa trust eye hospital Rawalpindi. Galilei (G4) Dual Scheimpflug Analyzer and specular microscopy (Tomey EM-4000) were used for all eyes examination. KC eyes were classified according to Amsler classification into stage 1, 2, 3 and 4. **Results.** There was statistically significant difference in endothelial cell density ($p < 0.001$) and coefficient of variation ($p = 0.001$) between different stages of KC eyes. Regarding cell surface area and cell morphology, there was statistically significant difference between different stages of KC eyes ($p < 0.001$). **Conclusions.** Significant changes were seen in endothelial cell count and morphology of eyes by using specular microscopy. For stages 1 and 2 KC, these changes are mild but the endothelium in stage 3 and 4 shows significant changes regarding polymegathism and pleomorphism.

Keywords: keratoconus; endothelial cell density; specular microscopy; polymegathism; pleomorphism

Conflicts of interests: there is no conflict of interests.

Financial interest: no author has a financial or property interest in any material or method mentioned.

Acknowledgements. Authors like to express their gratitude for the general support and encouragement they received during the preparation of this article. While no specific contributions were made from any organization for this study.

For citation: Bhatti R.S., Khan S., Mansoor H., Maqbool A., Zafar R., Faheem R. Corneal endothelial cells change in different stages of keratoconus. Russian ophthalmological journal. 2026; 19 (2): 36-42. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2026-19-2-36-42>

Изменения клеток эндотелия роговицы на разных стадиях кератоконуса

Рабия Шариф Бхатти, Шама Хан, Хассан Мансур, Ауназа Макбул, Рабия Зафар, Рабия Фахим✉

Пакистанский институт офтальмологии, офтальмологическая больница «Аль-Шифа», Равалпинди, 4600, Пакистан

Цель работы — оценить изменения морфологии и общего количества эндотелиальных клеток у пациентов с кератоконусом (КК) на разных стадиях заболевания. **Материал и методы.** В поперечное исследование включены 564 глаза пациентов с КК, в том числе 57,8% мужчин и 42,2% женщин, в возрасте $19,9 \pm 6,5$ года. Исследование проводилось в отделении хирургии роговицы и рефракционной хирургии офтальмологической больницы Alshifa Trust в Равалпинди. Всем пациентам выполнено обследование с использованием Galilei (G4) Dual Scheimpflug Analyzer и эндотелиальная микроскопия (Tomey EM-4000). Стадии КК (1, 2, 3 и 4) были определены в соответствии с классификацией Амслера. **Результаты.** Выявлена статистически значимая разница в плотности эндотелиальных клеток ($p < 0,001$) и коэффициенте вариации ($p = 0,001$) между разными стадиями КК. Статистически значимая разница между стадиями КК наблюдалась также по показателю площади клеточной поверхности и по морфологии клеток ($p < 0,001$). **Заключение.** В глазах с КК с помощью эндотелиальной микроскопии выявлены значительные изменения в количестве и морфологии эндотелиальных клеток. На 1-й и 2-й стадиях КК эти изменения незначительны, но на 3-й и 4-й стадиях эндотелий демонстрирует значительные изменения, касающиеся полимегатизма и плеоморфизма.

Ключевые слова: кератоконус; клетки эндотелия; эндотелиальная микроскопия; полимегатизм и плеоморфизм

Конфликт интересов: отсутствует.

Прозрачность финансовой деятельности: никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

Благодарности: авторы хотели бы выразить благодарность за общую поддержку и ободрение, оказанные им в процессе подготовки этой статьи. При этом ни одна конкретная организация не внесла вклад в это исследование.

Для цитирования: Бхатти Р.Ш., Хан Ш., Мансур Х., Макбул А., Зафар Р., Фахим Р. Изменения клеток эндотелия роговицы на разных стадиях кератоконуса. Российский офтальмологический журнал. 2026; 19 (2): 36-42. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2026-19-2-36-42>

Keratoconus (KC) is a progressive, bilateral, non-inflammatory, and asymmetrical corneal ectatic disorder characterized by localized stromal thinning and protrusion of the cornea, resulting in irregular astigmatism, myopia, and visual impairment of varying severity [1]. The disease usually begins during adolescence or early adulthood and may continue to progress until the third or fourth decade of life, often leading to significant deterioration in quality of vision and daily functioning. Clinically, patients commonly present with blurred vision, glare, photophobia, monocular diplopia, and frequent changes in refractive correction [2]. Advanced stages of the disease may result in corneal scarring and severe visual disability requiring corneal transplantation.

Recent epidemiological studies suggest that KC is more prevalent than previously recognized, particularly in Asian and Middle Eastern populations [3]. A global systematic review and meta-analysis reported substantial geographic variability in the prevalence and incidence of KC, with South Asian populations demonstrating some of the highest disease burdens worldwide [4]. The prevalence of KC has been reported to range from 0.2 to 4790 cases per 100,000 individuals, while incidence estimates vary between 1.5 and 25 cases per 100,000 individuals annually [4]. Such wide variability may be attributed to differences in diagnostic criteria, corneal imaging modalities, environmental influences, ethnicity, and study methodologies. The higher prevalence observed in South Asian populations has been associated with genetic predisposition, consanguinity, chronic eye rubbing, ultraviolet light exposure, and allergic ocular diseases [5].

Although KC has traditionally been described as a degenerative corneal disorder, increasing evidence suggests that inflammatory, biochemical, and genetic mechanisms also contribute significantly to its pathogenesis [6]. Histopathological studies have demonstrated disruption of stromal collagen lamellae, apoptosis of keratocytes, oxidative stress, and degradation of extracellular matrix components within the cornea [7]. Furthermore, advances in proteomics and molecular biology have revealed abnormalities in both the tear film and corneal epithelium of KC patients. Increased concentrations of degradative enzymes, including matrix metalloproteinases, cathepsins, phosphatases, and lipases, have been identified in the tear film, promoting stromal weakening and corneal remodeling [6]. Altered epithelial proliferation, impaired differentiation, inflammatory cytokine expression, and epithelial–mesenchymal transition have also been implicated in disease progression [8].

The corneal endothelium is a single layer of hexagonal cells located on the posterior surface of the cornea and plays a critical role in maintaining corneal transparency through regulation of stromal hydration. Endothelial cells possess limited regenerative capacity; therefore, morphological or functional alterations may have important implications for corneal health and surgical outcomes [9]. In normal corneas, endothelial morphology is assessed using parameters such as endothelial cell density (ECD), coefficient of variation (CV), and percentage of hexagonal

cells (HEX) through specular microscopy. Polymegathism and pleomorphism are considered indicators of endothelial stress and dysfunction.

Early studies investigating endothelial changes in KC primarily attributed observed pleomorphism and polymegathism to prolonged use of rigid contact lenses rather than the disease itself [10]. However, more recent evidence suggests that KC may intrinsically affect endothelial morphology. Several investigators have reported reduced endothelial cell density, increased coefficient of variation, and decreased hexagonality in moderate and advanced KC eyes compared to healthy controls [11, 12]. M. El-Agha et al. [11] demonstrated significant endothelial morphological abnormalities in KC patients, particularly in advanced stages of the disease. Similarly, A. Elmassry et al. [12] reported alterations in endothelial cell morphology associated with increasing severity of KC, indicating that endothelial involvement may represent part of the disease spectrum rather than merely a secondary effect of contact lens wear. Nonetheless, many previous studies were limited by small sample sizes, retrospective designs, or exclusion of severe grade 4 KC cases.

Evaluation of corneal endothelial morphology in KC is clinically important because endothelial integrity directly influences disease management and surgical planning. In early disease, endothelial assessment may help monitor the long-term effects of rigid gas-permeable or scleral contact lens wear. In advanced KC requiring surgical intervention, endothelial status plays a crucial role in determining the suitability of deep anterior lamellar keratoplasty (DALK) versus penetrating keratoplasty (PK) [13]. Preservation of healthy endothelial cells is associated with improved graft survival and reduced postoperative complications. Therefore, a better understanding of endothelial alterations in KC may contribute to improved patient selection, surgical outcomes, and long-term visual rehabilitation.

Despite the high prevalence of KC in South Asian populations and the increased prevalence of associated risk factors such as atopy, eye rubbing, and consanguinity, limited regional data are available regarding corneal endothelial morphology in KC patients. Most available studies have been conducted in Middle Eastern or European populations, limiting the generalizability of their findings to South Asian individuals. Ethnic and environmental variations may influence disease characteristics and endothelial changes, highlighting the need for population-specific research.

Therefore, the present study aims to evaluate corneal endothelial morphology across different severity grades of keratoconus in a South Asian population using specular microscopy. Assessing endothelial parameters in relation to disease severity may enhance understanding of the pathophysiology of KC and provide valuable information for optimizing clinical management and surgical decision-making.

MATERIAL AND METHODS

The study was conducted as a cross-sectional study in the Department of Cornea and Refractive Surgery at

Table 1. Characteristic of keratoconus stages according to the Amsler — Krumeich classification [14]
Таблица 1. Характеристика стадий кератоконуса согласно классификации Amsler — Krumeich [14]

Stages of KC Стадия КК	Stage 1 Стадия 1	Stage 2 Стадия 2	Stage 3 Стадия 3	Stage 4 Стадия 4
Amsler — Krumeich classification Классификация Amsler — Krumeich	Eccentric corneal steepening Induced myopia and/or astigmatism < 5.00 D Average keratometric value < 48 D Экцентрическое увеличение кривизны роговицы, миопия и/или астигматизм < 5.00 D, среднее значение кератометрии < 48 D	Induced myopia and/or astigmatism > 5.00 D but < 8.00 D Average keratometric value < 53 D No central scars Minimum apical corneal thickness > 400 µm Миопия и/или астигматизм > 5.00 D, но < 8.00 D, среднее значение кератометрии < 53 D, нет центральных рубцов, минимальная апикальная толщина роговицы > 400 мкм	Induced myopia and/or astigmatism > 8.00 D but < 10.00 D Average keratometric value > 53 D No central scars Minimum apical corneal thickness between 300–400 µm Миопия и/или астигматизм > 8.00 D, но < 10.00 D, среднее значение кератометрии > 53 D, нет центральных рубцов, минимальная апикальная толщина роговицы 300–400 мкм	Refraction not measurable Average keratometric value > 55 D Central scars Minimum apical corneal thickness < 300 µm Рефракция не определяется, среднее значение кератометрии > 55 D, рубцы в центре, минимальная апикальная толщина роговицы < 300 мкм
Polymegathism Полимегатизм	0–200 µm ² , 201–300 µm ² , 301–400 µm ² , 401–500 µm ² , 501–600 µm ² , > 600 µm ²			
Pleomorphism Плеоморфизм	Endothelial cells varying from three-sided (trigonal) to nine-sided (nonagonal) Клетки эндотелия от трехгранной (треугольной) до девятигранной (неагональной) формы			

Al-Shifa Trust Eye Hospital, Rawalpindi, which provides advanced diagnostic and therapeutic services for conditions affecting the anterior surface of the eye. Ethical approval for the study was obtained from the Ethical Review Board of Al-Shifa Trust Eye Hospital, and all procedures were conducted in compliance with the Declaration of Helsinki.

A total of 564 eyes from patients with KC were included in the study. The mean age of the participants was 19.9 ± 6.5 years (range: 8–35 years), and 57.8% (n = 326) were male. Patients were classified according to the Amsler — Krumeich classification system into stages 1, 2 and 3, while stage 4 KC characterized by significant central corneal scarring [14], was excluded from the study.

The study focused on patients with unilateral or bilateral KC. Inclusion criteria for the study were: patients with unilateral or bilateral KC classified into stages 1, 2, or 3 according to the Amsler — Krumeich classification [14]. Exclusion criteria were: age of 35 years, a history of contact lens use, previous ocular surgeries, acute hydrops, previous collagen crosslinking, and form fruste KC.

All patients underwent a complete ophthalmic examination, including both objective and subjective refraction, slit-lamp examination, and detailed fundus evaluation. In cases where indicated, a trial of hard contact lenses was performed. To ensure consistency, a single examiner performed the slit-lamp examination, assessing corneal clarity and the presence of scars. Topographic measurements were obtained using the Galilei (G4) Dual Scheimpflug Analyzer, which provided data on mean keratometric values and apical corneal thickness. Endothelial morphology was assessed with the EM-4000 specular microscope, which provided automatic capture and measurement at an optical magnification of 190 µm. The study variables were derived from specular microscopy reports and included the following: endothelial cell density (ECD), defined as the number of cells per mm² of the cornea; coefficient of variation (CV), calculated by dividing the standard deviation of endothelial cell density by the total dimensions of the analyzed area; polymegathism, which refers to variations in the size and arrangement of endothelial cell

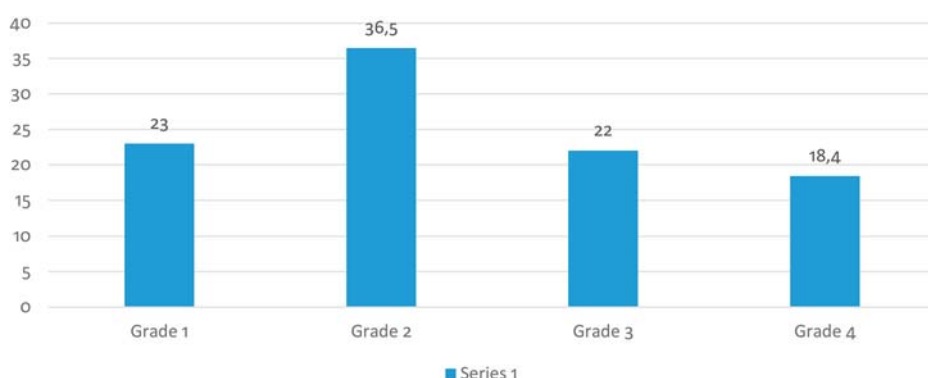


Figure. Distribution of eyes based on severity of keratoconus

Рисунок. Распределение глаз в зависимости от степени тяжести (стадии) кератоконуса

dimensions, categorized into six groups based on cell size, and pleomorphism, which describes changes in the distribution and shape of endothelial cells (Table 1).

The data were stored and analyzed using the Statistical Software for Social Sciences (SPSS) version 22. Descriptive statistics, including arithmetic mean, standard deviation, and range, were calculated for quantitative variables, while frequencies and percentages were used for categorical variables. The normality of the data was assessed using both graphical and statistical methods, with the Kolmogorov — Smirnov test employed for sample sizes greater than 50. For inferential analysis, one-way Analysis of Variance (ANOVA) was used to compare the outcome variables across different stages of KC. If the data did not meet the assumption of normality, the Kruskal — Wallis test was applied instead. Bonferroni adjustments were made for multiple comparisons, and all statistical tests were interpreted at a 95% confidence level.

RESULTS

The best corrected visual acuity (BCVA) and the spherical equivalent had a mean value of 0.4 ± 0.3 (Range = 0.0–1.2) and -5.3 ± -4.1 (Range = 0.0– -22.5) respectively. Based on the Amsler's classification of keratoconus, most eyes belonged to Grade 2 (36.5%, n = 206) while least were present in Grade 4 (18.4%, n = 104) (Figure).

The mean ECD (cells/mm²) was 2620.3 ± 317.3 ranging from 1712/mm² to 3266/mm². The KW test showed a statistically

significant difference between different grades of KC with respect to ECD (χ^2 (df) = 106.3(3), p-value = < 0.001). The average ECD was 2765.2 ± 279.8 and 2335.8 ± 332.2 in Grade 1 and Grade 4 respectively. Moreover, statistically significant difference was also observed in KW test for coefficient of variance (χ^2 (df) = 425.2(3), p-value = < 0.001). The results of Post hoc tests for ECD and CV are provided in detail in Table 2.

Intergroup post hoc comparisons revealed that the highest average percentage of cells within the size range of 301–400 μm^2 was observed in Grade 1 cases (33.7 ± 8.5), while the lowest percentage for this range occurred in Grade 4 cases (26.5 ± 8.5). For the size range of 401–500 μm^2 , Grades 1 (21.3 ± 7.0) and 2 (21.2 ± 6.7) exhibited relatively similar percentages. Regarding the size range of 501–600 μm^2 , Grade 4 displayed the highest mean (14.7 ± 6.6), whereas Grade 3 showed the lowest (9.1 ± 4.4). Detailed post hoc results from the Kruskal — Wallis test are provided in Table 3.

Hexagonal geometry was the most prevalent cell shape, with an overall mean percentage of 41.3 ± 22.1 across all stages of keratoconus. Grade 2 keratoconus exhibited the highest percentage of hexagonal cells (48.1 ± 18.9), while grade 3 showed the lowest (36.1 ± 20.8). In contrast, decagonal cells were the least abundant, with a mean percentage of 0.8 ± 1.8 (range: 0–8). The greatest prevalence of decagonal cells was observed in grade 4 keratoconus (2.0 ± 3.1), followed by grade 3 (1.1 ± 1.8), whereas grades 2 and 1 both had a mean percentage of 0.4. Additional details are presented in Table 4.

DISCUSSION

In KC, early visual impairment is commonly managed with spectacles or rigid gas-permeable contact lenses, which provide satisfactory visual rehabilitation in mild disease. In selected patients, intracorneal ring segments may be used to reduce corneal irregularity and improve visual acuity by flattening

the corneal cone and decreasing astigmatism [15]. As the disease progresses, surgical intervention becomes necessary. Among keratoplasty techniques, deep anterior lamellar keratoplasty (DALK) is increasingly favored over penetrating keratoplasty (PKP) because it preserves the host endothelium, thereby significantly reducing the risk of immunological rejection and endothelial failure [16]. Nevertheless, penetrating keratoplasty remains an important option in advanced KC cases where stromal scarring or severe ectasia compromises visual rehabilitation.

In the present study, corneal endothelial parameters including endothelial cell density (ECD), coefficient of variation (CV), polymegathism, and pleomorphism were evaluated across different stages of KC in 564 eyes classified by severity. Although KC primarily affects the anterior corneal stroma, posterior corneal and endothelial involvement has also been reported in advanced disease [17].

Several mechanisms have been proposed for endothelial alterations in KC, including microtrauma to Descemet's membrane, oxidative stress, ultraviolet radiation exposure, chronic eye rubbing, and long-term contact lens wear [18].

In our study, ECD showed significant variation across KC stages. Previous studies have reported conflicting results. R. Niederer et al. [19] and J. Hollingsworth et al. [20] found no significant difference in ECD between KC stages, suggesting minimal endothelial involvement. In contrast, A. Elmassry et al. [21] and Ö. Uçakhan et al. [22] demonstrated a significant reduction in ECD in advanced KC, indicating progressive endothelial compromise. These discrepancies may be attributed to differences in ethnicity, sample size, imaging modality, and disease grading systems.

Similarly, CV increased with disease severity in our study, indicating progressive endothelial stress. While some studies reported no significant change in CV across KC groups [19],

Table 2. Endothelial Cell Density (ECD) and Coefficient of Variation (CV) Across Different Grades of Keratoconus

Таблица 2. Плотность эндотелиальных клеток (ПЭК) и коэффициент вариации (КВ) при различных стадиях кератоконуса

Grade Стадия	ECD, cells/mm ² ПЭК, кл/мм ²	Range, cells/mm ² Диапазон, кл/мм ²	Mean $\pm$ SD cells/mm ² кл/мм ²	CV КВ	Range CV Диапазон КВ	Mean $\pm$ SD CV КВ	Post Hoc Test Пост хок тест p-value
1	2765.2 ± 279.8	2193–3266	2765.2 ± 279.8	29.7 ± 2.2	20–38	29.7 ± 2.2	$p_1 = 0.07$ $p_2 = 0.005$ $p_3 < 0.001$ $p_4 = 1.00$ $p_5 < 0.001$ $p_6 < 0.001$
2	2668.6 ± 277.0	1822–3108	2668.6 ± 277.0	33.0 ± 2.3	21–52	33.0 ± 2.3	$p_1 < 0.001$ $p_2 < 0.001$ $p_3 < 0.001$ $p_4 < 0.001$ $p_5 < 0.001$ $p_6 < 0.001$
3	2626.9 ± 253.0	1878–2993	2626.9 ± 253.0	36.2 ± 3.0	24–54	36.2 ± 3.0	$p_1 < 0.001$ $p_2 < 0.001$ $p_3 < 0.001$ $p_4 < 0.001$ $p_5 < 0.001$ $p_6 < 0.001$
4	2335.8 ± 332.1	1712–2918	2335.8 ± 332.1	40.6 ± 3.0	25–52	40.6 ± 3.0	$p_1 < 0.001$ $p_2 < 0.001$ $p_3 < 0.001$ $p_4 < 0.001$ $p_5 < 0.001$ $p_6 < 0.001$

Note. SD — Standard Deviation.

Примечание. SD — стандартное отклонение.

Table 3. Polymegathism Across Different Grades of Keratoconus
Таблица 3. Полимегати́зм при различных стадиях кератоконуса

Size Range, μm^2 Размер, $\mu\text{км}^2$	Grade 1 Стадия 1 Mean $\pm$ SD	Grade 2 Стадия 2 Mean $\pm$ SD	Grade 3 Стадия 3 Mean $\pm$ SD	Grade 4 Стадия 3 Mean $\pm$ SD	Range Диапазон	Post Hoc Test Пост хок тест p-value
0–200	6.7 $\pm$ 2.1	8.9 $\pm$ 7.9	11.0 $\pm$ 9.0	7.5 $\pm$ 5.9	3–13, 0–37, 2–38, 1–30	$p_1 = 1.00$ $p_2 = 1.00$ $p_3 < 0.001$ $p_4 = 1.00$ $p_5 < 0.001$ $p_6 < 0.001$
201–300	23.7 $\pm$ 9.4	23.3 $\pm$ 8.8	23.4 $\pm$ 7.1	15.7 $\pm$ 8.6	2–35, 2–40, 10–34, 6–36	$p_1 = 1.00$ $p_2 = 1.00$ $p_3 < 0.001$ $p_4 = 1.00$ $p_5 < 0.001$ $p_6 < 0.001$
301–400	33.7 $\pm$ 8.5	28.4 $\pm$ 8.0	30.3 $\pm$ 6.1	26.5 $\pm$ 8.5	23–54, 15–48, 13–39, 14–48	$p_1 < 0.001$ $p_2 = 0.56$ $p_3 < 0.001$ $p_4 = 0.01$ $p_5 < 0.001$ $p_6 < 0.001$
401–500	21.3 $\pm$ 6.9	21.2 $\pm$ 6.7	19.1 $\pm$ 6.9	22.1 $\pm$ 4.4	7–31, 7–32, 3–30, 12–28	$p_1 = 1.00$ $p_2 = 0.02$ $p_3 = 1.00$ $p_4 = 0.04$ $p_5 = 1.00$ $p_6 = 0.005$
501–600	9.7 $\pm$ 5.2	11.2 $\pm$ 6.9	9.1 $\pm$ 4.4	14.7 $\pm$ 6.6	1–16, 1–28, 1–23, 5–25	$p_1 = 1.00$ $p_2 = 0.89$ $p_3 < 0.001$ $p_4 = 0.06$ $p_5 < 0.001$ $p_6 < 0.001$
> 600	0.3 $\pm$ 0.6	1.6 $\pm$ 2.7	3.4 $\pm$ 4.5	8.8 $\pm$ 7.1	0–2, 0–11, 0–24, 0–25	$p_1 = 0.001$ $p_2 < 0.001$ $p_3 < 0.001$ $p_4 < 0.001$ $p_5 < 0.001$ $p_6 < 0.001$

others demonstrated increased variability in advanced disease [21], supporting our findings.

Regarding polymegathism, earlier studies suggested minimal endothelial cell size variation in KC [23] A. However, our staged analysis demonstrated increasing polymegathism with disease severity, suggesting progressive morphological stress on the endothelium.

Pleomorphism analysis showed a significant reduction in hexagonal cells with increasing KC severity. A healthy corneal endothelium typically maintains approximately 60% hexagonal cells, and reduction reflects endothelial dysfunction. Similar findings have been reported by A. Elmassry et al. [21], Ö. Uçakhan et al. [22], and M. Matsuda et al. [23], who demonstrated decreased hexagonality in KC eyes compared to controls.

R. Laing et al. [24] also reported morphological endothelial changes in KC, although earlier literature suggested these findings could be secondary to contact lens wear rather than intrinsic disease pathology.

The variability in published findings may be due to differences in imaging modalities, KC severity distribution, and lack of standardized classification systems across studies.

This study has limitations, including its cross-sectional design, absence of healthy controls, and potential measurement variability inherent to specular microscopy. Additionally, confounding factors such as contact lens wear and eye rubbing were not controlled.

CONCLUSION

In conclusion, our study highlights the progressive changes in corneal endothelial cells across different stages of KC, with more pronounced alterations in advanced stages. These findings underscore the importance of specular microscopy in assessing corneal endothelium before making decisions regarding transplant options. Given the marked endothelial cell changes observed in stages 3 and potentially stage 4 (though not studied here), a full-thickness transplant may be more suitable for advanced KC cases, as it ensures a healthy endothelium for long-term clarity. However, additional research with longitudinal follow-up, inclusion of stage 4 patients, consideration of systemic factors, and healthy controls is essential to further solidify these recommendations and refine treatment strategies

References/Литература

1. Singh RB, Koh S, Sharma N, et al. Keratoconus. *Nat Rev Dis Primers*. 2024; 10: 81. doi: 10.1038/s41572-024-00565-3

2. Rabinowitz YS. Keratoconus. *Surv Ophthalmol*. 1998; 42 (4): 297–319. doi: 10.1016/S0039-6257(97)00119-7

3. Hashemi H, Heydarian S, Hooshmand E, et al. The prevalence and risk factors for keratoconus: a systematic review and meta-analysis. *Cornea*. 2020; 39 (2): 263–70. doi: 10.1097/ICO.0000000000002150

4. Sriranganathan A, Chan CC, Dhillon J, Felfeli T. Global incidence and prevalence of keratoconus: a systematic review and meta-analysis. *Cornea*. 2025. doi: 10.1097/ICO.0000000000003973

Table 4. Comparison of Cell Geometries Across Different Grades of Keratoconus (Polymorphism)
Таблица 4. Сравнение геометрии клеток при различных стадиях кератоконуса (полиморфизм)

Cell Geometry Форма клеток	Grade 1 Стадия 1 Mean $\pm$ SD	Grade 2 Стадия 2 Mean $\pm$ SD	Grade 3 Стадия 3 Mean $\pm$ SD	Grade 4 Стадия 4 Mean $\pm$ SD	Range All Grades Диапазон	p-values
Trigonal Треугольная	0.6 $\pm$ 3.6	0.1 $\pm$ 0.4	0.9 $\pm$ 1.7	3.6 $\pm$ 6.9	0–24	$p_1 = 0.85$ $p_2 < 0.001$ $p_3 < 0.001$ $p_4 < 0.001$ $p_5 = 0.001$ $p_6 = 1.00$
Tetragonal Четырехугольная	2.8 $\pm$ 8.5	3.9 $\pm$ 5.6	9.4 $\pm$ 11.9	7.7 $\pm$ 12.1	0–56	$p_1 < 0.001$ $p_2 < 0.001$ $p_3 < 0.001$ $p_4 = 1.00$ $p_5 = 0.20$ $p_6 = 1.00$
Pentagonal Пятиугольная	13.7 $\pm$ 10.4	21.0 $\pm$ 10.8	24.9 $\pm$ 14.4	16.4 $\pm$ 10.3	0–57	$p_1 < 0.001$ $p_2 < 0.001$ $p_3 = 0.41$ $p_4 = 0.08$ $p_5 = 0.09$ $p_6 < 0.001$
Hexagonal Шестиугольная	38.1 $\pm$ 24.3	48.1 $\pm$ 18.9	36.1 $\pm$ 20.8	38.1 $\pm$ 23.4	0–76	$p_1 = 0.003$ $p_2 = 1.00$ $p_3 = 1.00$ $p_4 < 0.001$ $p_5 = 0.006$ $p_6 = 1.00$
Heptagonal Семиугольная	26.5 $\pm$ 15.9	18.7 $\pm$ 8.3	16.7 $\pm$ 12.8	18.4 $\pm$ 6.4	0–68	$p_1 < 0.001$ $p_2 < 0.001$ $p_3 = 0.004$ $p_4 = 0.77$ $p_5 = 1.00$ $p_6 = 0.13$
Octagonal Восьмиугольная	13.1 $\pm$ 17.1	6.6 $\pm$ 11.0	9.8 $\pm$ 13.1	11.4 $\pm$ 14.0	0–54	$p_1 = 0.001$ $p_2 = 1.00$ $p_3 = 1.00$ $p_4 = 0.008$ $p_5 < 0.001$ $p_6 = 1.00$
Nonagonal Девятиугольная	4.4 $\pm$ 7.0	1.5 $\pm$ 3.8	2.9 $\pm$ 5.1	6.4 $\pm$ 7.8	0–20	$p_1 = 0.05$ $p_2 = 1.00$ $p_3 = 0.007$ $p_4 = 0.04$ $p_5 < 0.001$ $p_6 = 0.01$
Decagonal Десятиугольная	0.4 $\pm$ 0.7	0.4 $\pm$ 0.8	1.1 $\pm$ 1.8	2.0 $\pm$ 3.0	0–8	$p_1 = 1.00$ $p_2 = 0.04$ $p_3 < 0.001$ $p_4 = 0.001$ $p_5 < 0.001$ $p_6 = 0.47$

- Gomes JA, Tan D, Rapuano CJ, et al. Global consensus on keratoconus and ectatic diseases. *Cornea*. 2015; 34 (4): 359–69. doi: 10.1097/ICO.0000000000000408
- Niazi S, Gatzoufas Z, Doroodgar F, et al. Keratoconus: exploring fundamentals and future perspectives — a comprehensive systematic review. *Ther Adv Ophthalmol*. 2024; 16. doi: 10.1177/25158414241232258
- Mathew JH, Goosey JD, Bergmanson JP. Quantified histopathology of the keratoconic cornea. *Optom Vis Sci*. 2011; 88 (8): 988–97. doi: 10.1097/OPX.0b013e31821f9f1f
- Galvis V, Sherwin T, Tello A, et al. Keratoconus: an inflammatory disorder? *Eye*. 2015; 29 (7): 843–59. doi: 10.1038/eye.2015.63
- Bourne WM. Biology of the corneal endothelium in health and disease. *Eye*. 2003; 17 (8): 912–8. doi: 10.1038/sj.eye.6700559
- Laule A, Cable MK, Hoffman CE, Hanna C. Endothelial cell population changes of keratoconus patients. *Am J Optom Physiol Opt*. 1978; 55 (7): 447–54. doi: 10.1097/00006324-197807000-00001
- El-Agha MS, El Sayed YM, Harhara RM. Corneal endothelial changes in keratoconus patients. *Benha Med J*. 2022; 39 (3): 1–8. doi: 10.21608/bmj.2022.250760
- Elmassry A, Said DG, Dua HS. Evaluation of corneal endothelial cell changes in keratoconus. *Eye Contact Lens*. 2021; 47 (6): 345–50. doi: 10.1097/ICL.0000000000000762
- Reinhart WJ, Musch DC, Jacobs DS, et al. Deep anterior lamellar keratoplasty as an alternative to penetrating keratoplasty: a report by the American Academy of Ophthalmology. *Ophthalmology*. 2011; 118 (1): 209–18. doi: 10.1016/j.ophtha.2010.11.002
- Ento Key. Keratoconus classification systems. Available from: <https://entokey.com/keratoconus-classification-systems/> [cited 2026 May 21].
- Shabayek MH, Alio JL. Intrastromal corneal ring segments for keratoconus: clinical outcomes and visual performance. *J Cataract Refract Surg*. 2007; 33 (7): 1308–14. doi: 10.1016/j.jcrs.2007.03.029
- Borderie VM, Sandali O, Bullet J, et al. Long-term results of deep anterior lamellar keratoplasty versus penetrating keratoplasty. *Ophthalmology*. 2012; 119 (2): 249–55. doi: 10.1016/j.ophtha.2011.07.058
- Jhanji V, Sharma N, Vajpayee RB, et al. Management of keratoconus: current perspective. *Br J Ophthalmol*. 2011; 95 (8): 1044–50. doi: 10.1136/bjo.2010.190090

18. Galvis V, Sherwin T, Tello A, et al. Keratoconus: an inflammatory disorder? *Eye (Lond)*. 2015; 29: 843–59. doi: 10.1038/eye.2015.63
19. Niederer RL, Perumal D, Sherwin T, et al. Keratoconus and endothelial morphology. *Cornea*. 2007; 26 (5): 590–6. doi: 10.1097/ICO.0b013e31803bbdbdc
20. Hollingsworth JG, Bonshek RE, Efron N, et al. Morphology of corneal endothelium in keratoconus. *Eye*. 2005; 19: 1162–6. doi: 10.1038/sj.eye.6701732
21. Elmassry A, Said DG, Dua HS, et al. Corneal endothelial cell changes in keratoconus. *Eye Contact Lens*. 2021; 47 (6): 345–50. doi: 10.1097/ICL.0000000000000762
22. Uçakhan ÖÖ, Özkan M, Kanpolat A, et al. Corneal endothelial changes in keratoconus. *Cornea*. 2006; 25 (6): 708–13. doi: 10.1097/01.ico.0000227880.64302.8d
23. Matsuda M, Suda T, Manabe R, et al. Corneal endothelial changes in keratoconus. *Am J Ophthalmol*. 1982; 93 (3): 342–9. doi: 10.1016/0002-9394(82)90327-6
24. Laing RA, Sandstrom MM, Berrospi AR, et al. Morphological changes in keratoconus endothelium. *Arch Ophthalmol*. 1979; 97 (10): 1865–7. doi: 10.1001/archophth.1979.01020020687011

Author's contributions: Rabia Sahrif Bhatti — conception and design, data acquisition, analysis and interpretation, drafting; Shama Khan, Hassan Mansoor — revising and critical review, analysis and interpretation; Aunaza Maqbool, Rabeeah Zafar — revising and critical review; Rabia Faheem — interpretation, revising and critical review, final approval of the work.

Вклад авторов в работу: Рабия Сахриф Бхатти — разработка концепции и дизайна, сбор данных, анализ и интерпретация, написание текста; Шама Хан, Хассан Мансур — редактирование и критический анализ, анализ и интерпретация; Ауназа Макбул, Рабия Зафар — редактирование и критический анализ; Рабия Фахим — интерпретация, редактирование и критический анализ, окончательное утверждение работы.

Originally received: 15.02.2025. Final revision: 13.07.2025. Accepted: 15.07.2025

Поступила: 15.02.2025. Переработана: 13.07.2025. Принята к печати: 15.07.2025

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS/ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Pakistan Institute of Ophthalmology, Al-Shifa Trust Eye Hospital Rawalpindi, 4600, Pakistan

Sharif Bhatti — Ophthalmic Corneal Surgeon, Department of Cornea and Refractive Surgery

Shama Khan — Ophthalmic Corneal Surgeon, Department of Cornea and Refractive Surgery

Hassan Mansoor — Ophthalmic Corneal Surgeon, Department of Cornea and Refractive Surgery

Aunaza Maqbool — Pediatric ophthalmologist, Department of Pediatric Ophthalmology

Rabeeah Zafar — Pediatric ophthalmologist, Department of Pediatric Ophthalmology

Rabia Faheem — Optometrist

For contacts: Rabia Faheem,
rabiafahim3@gmail.com

Пакистанский институт офтальмологии, глазная больница «Аль-Шифа», Равалпинди, 4600, Пакистан

Шариф Бхатти — офтальмохирург — специалист по роговице, отделение хирургии роговицы и рефракционной хирургии

Шама Хан — офтальмохирург — специалист по роговице, отделение хирургии роговицы и рефракционной хирургии

Хассан Мансур — офтальмохирург — специалист по роговице, отделение хирургии роговицы и рефракционной хирургии

Ауназа Макбул — детский офтальмолог, отделение детской офтальмологии

Рабия Зафар — детский офтальмолог, отделение детской офтальмологии

Рабия Фахим — оптометрист

Для контактов: Rabia Faheem,
rabiafahim3@gmail.com



<https://doi.org/10.21516/2072-0076-2026-19-2-43-46>

Синдром сухого глаза в академической среде: от поведенческих стратегий к ИИ-ориентированной профилактике

Е.П. Брянцева^{1,2✉}, А.О. Укина^{1,3}

¹ ФГОУ ВО «Национальный исследовательский университет ИТМО», Кронверкский пр-т, д. 49, литер А, Санкт-Петербург, 197101, Россия

² БУ ХМАО Югры «Сургутская окружная клиническая больница», ул. Энергетиков, д. 14, Сургут, Ханты-Мансийский автономный округ, 628408, Россия

³ ГБУЗ ЛО «Гатчинская клиническая межрайонная больница», ул. Рощинская, д. 15а, корп. 1, Гатчина, Ленинградская область, 188300, Россия

Цель работы — оценить распространенность синдрома сухого глаза (ССГ) у студентов и сотрудников университета ИТМО с помощью опросника OSDI, определить эффективность интерактивных поведенческих вмешательств и рассмотреть перспективы применения искусственного интеллекта (ИИ) в профилактике ССГ в академической среде. **Материал и методы.** Первичное анкетирование с использованием шкалы OSDI прошли 470 человек в возрасте 18 лет и старше. У 281 (59,8 %) участника выявлены симптомы ССГ; 45 человек с баллом OSDI ≥ 13 были рандомизированы в интервенционную ($n = 21$) и контрольную ($n = 24$) группы. Группа вмешательства получала набор Eye Kit и информационную поддержку через telegram-канал. Через 14 дней участники повторно заполнили анкету. **Результаты.** Обе группы показали снижение симптомов ССГ. Снижение среднего балла OSDI в интервенционной группе (с 21,5 до 12,8, $p < 0,001$) было более значительным, чем в контрольной группе (с 22,8 до 19,4, $p = 0,041$). Разница между группами по итоговому уровню симптомов была статистически значимой ($p = 0,023$), что свидетельствует о более высокой эффективности поведенческого вмешательства. **Заключение.** ССГ широко распространен в академической среде. Поведенческое вмешательство с элементами цифровой коммуникации продемонстрировало статистически значимое снижение симптомов ССГ. Внедрение ИИ может повысить персонализацию профилактики за счет анализа образа жизни, мониторинга паттернов моргания и адаптации среды обучения.

Ключевые слова: синдром сухого глаза; академическая среда; студенты; опросник OSDI; интервенции; искусственный интеллект

Конфликт интересов: конфликт интересов отсутствует.

Прозрачность финансовой деятельности: никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

Благодарность: выражаем благодарность за помощь в проведении исследования Антону Алексеевичу Барчуку, Валентине Дмитриевне Блашук, Анне Владимировне Бунаковой, Юлии Владимировне Волжиной.

Для цитирования: Брянцева Е.П., Укина А.О. Синдром сухого глаза в академической среде: от поведенческих стратегий к ИИ-ориентированной профилактике. Российский офтальмологический журнал. 2026; 19 (2): 43-6. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2026-19-2-43-46>

Dry eye syndrome in academia: from behavioural strategies to AI-oriented prevention

Ekaterina P. Bryantseva^{1,2✉}, Anastasia O. Ukina^{1,3}

¹ ITMO University, 49, bldg. A, Kronverksky Ave, St. Petersburg, 197101, Russia

² Surgut Regional Clinical Hospital, 24, Energetikov St., Surgut, Khanty-Mansiysk Autonomous Region, 628408, Russia

³ Gatchina Clinical Interdistrict Hospital, 15a, bldg. 1, Roshchinskaya St., Gatchina, Leningrad Region, 188300, Russia
ebriantseva@gmail.com

Purpose of the study was to assess the prevalence of dry eye syndrome (DES) among ITMO University students and staff using the OSDI questionnaire, determine the effectiveness of interactive behavioral interventions, and consider the prospects for using artificial intelligence (AI) in DES prevention in the academic environment. **Material and methods.** A total of 470 people aged 18 years and older completed the initial survey using the OSDI scale. 281 participants (59.8%) had DES symptoms. Forty-five people with an OSDI score ≥ 13 were randomized to the intervention ($n = 21$) and control ($n = 24$) groups. The intervention group received the Eye.Kit and informational support via a Telegram channel. After 14 days, participants repeated the survey. **Results.** Both groups showed a reduction in DES symptoms. The reduction in the mean OSDI score in the intervention group (from 21.5 to 12.8, $p < 0.001$) was more significant than in the control group (from 22.8 to 19.4, $p = 0.041$). The difference between the groups in the final symptoms level was statistically significant ($p = 0.023$), indicating a higher effectiveness of the behavioral intervention. **Conclusion.** DES is widespread in the academic environment. Behavioral intervention with elements of digital communication demonstrated a statistically significant reduction in DES symptoms. The implementation of AI can improve the personalization of prevention through lifestyle analysis, monitoring of blink patterns, and adaptation of the learning environment.

Keywords: dry eye syndrome; OSDI questionnaire; interventions; artificial intelligence; academic environment; students

Conflict of interests: there is no conflict of interests.

Financial disclosure: no author has a financial or property interest in any material or method mentioned.

For citation: Bryantseva E.P., Ukina A.O. Dry eye syndrome in academia: from behavioural strategies to AI-oriented prevention. Russian ophthalmological journal. 2026; 19 (2): 43-6 (In Russ.). <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2026-19-2-43-46>

Исследования, проведенные в различных географических регионах, демонстрируют существенную распространенность синдрома сухого глаза (ССГ) среди молодежи [1–3]. Многочисленные исследования показывают, что длительное воздействие мониторов и изменения в динамике моргания связаны с развитием ССГ [4, 5]. Существуют работы, подтверждающие эффективность как медикаментозных [6], так и немедикаментозных поведенческих вмешательств в уменьшении симптомов ССГ у студентов. Например, при соблюдении правила 20–20–20 увеличивается время разрыва слезной пленки [7].

ЦЕЛЬ работы — оценить частоту симптомов ССГ у студентов и сотрудников университета ИТМО с помощью опросника Ocular Surface Disease Index (OSDI — индекс повреждения глазной поверхности) и изучить эффективность поведенческих интерактивных вмешательств в их снижении, а также определить перспективы использования искусственного интеллекта (ИИ) в профилактике ССГ в академической среде.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Рекрутинг участников исследования проводился с помощью рассылки по электронной почте, информации на экранах в холлах и коворкингах университета. Целевой аудиторией были студенты всех направлений и уровней подготовки, сотрудники всех факультетов университета, мужчины и женщины в возрасте от 18 лет. Участие в исследовании было полностью добровольным, сопровождалось письменным информированным согласием и согласием на обработку персональных данных. Исследование было одобрено локальным этическим комитетом.

На начальном этапе исследования проводилась оценка состояния глазной поверхности с помощью анкеты OSDI. Участники, набравшие 13 и более баллов, были случайным образом распределены в интервенционную и контрольную группы с помощью программы Randomus. Участники группы вмешательства получили специально разработанный для исследования набор Eye.Kit, включающий бутылку для воды, ручку и наклейку с надписью: «Моргни дважды», напоминающей о выполнении упражнений на моргание, доступ к telegram-каналу с ежедневной рассылкой информации о причинах, симптомах и профилактике ССГ. У участников контрольной группы доступ к образовательной информационной поддержке и набору Eye.Kit отсутствовал. Через 14 дней обе группы повторно заполнили анкету OSDI (рисунок).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Первоначально анкетирование прошли 470 человек, в том числе 36,6 % мужчин и 63,4 % женщин, с преобладанием возрастной группы 18–23 лет. Симптомы ССГ по опроснику OSDI выявлены у 281 (59,8 %) человека. В финальный анализ вошел 21 участник интервенционной группы и 24 участника контрольной группы. Эффективность вмешательства оценивалась по разнице показателей OSDI до (OSDI-1) и после (OSDI-2) анкетирования.

Статистический анализ результатов выполнен с помощью пакета статистических программ SPSS v.26.0 (IBM SPSS Statistics, США). Определяли среднее значение, медиану и моду изучаемых показателей. Нормальность распределения данных оценивали с использованием теста Шапиро — Уилка.



Рисунок. Дизайн исследования
Figure. Study design

Исходные средние баллы OSDI не показали статистически значимой разницы между группами (группа интервенции — $21,52 \pm 8,42$ балла; группа контроля — $22,83 \pm 4,82$ балла; $p = 0,534$), что свидетельствует о сопоставимости групп на старте исследования (таблица). Данные имели нормальное распределение ($p = 0,99$, тест Шапиро — Уилка). Общий диапазон баллов OSDI достигал 48, среднее значение составило $22,42$ (медиана = 22, мода = 13). В обеих группах наблюдалось статистически значимое снижение баллов OSDI после вмешательства. В интервенционной группе отмечено значительное снижение — с $21,52 \pm 8,42$ до $12,81 \pm 10,28$ балла ($p < 0,001$), в контрольной группе умеренное снижение — с $22,83 \pm 4,82$ до $19,42 \pm 8,46$ балла ($p = 0,041$). Улучшение наблюдалось в обеих группах, снижение баллов OSDI было существенно более выраженным в интервенционной группе (в среднем на 8,71 балла) по сравнению с контрольной группой (в среднем на 3,41 балла). Однако статистически значимое снижение показателей OSDI наблюдалось также в контрольной группе. Одной из вероятных причин является рост осведомленности участников о симптомах ССГ в процессе заполнения анкет, что могло привести к непроизвольной коррекции образа жизни. Наряду с этим, важную роль играет естественное изменение симптомов ССГ в за-

Таблица. Динамика баллов OSDI в группах вмешательства и контроля
Table. Dynamics of OSDI scores in the intervention and control groups

Группы Groups	OSDI-1	OSDI-2	p между этапами p-value between phases of the study
вмешательства intervention	$21,52 \pm 8,42$	$12,81 \pm 10,28$	0,000
контроля control	$22,83 \pm 4,82$	$19,42 \pm 8,46$	0,041
p между группами p-value between groups	0,534	0,023	

висимости от колебаний зрительной нагрузки и текущих факторов окружающей среды. Статистический анализ подтвердил, что разница в итоговых показателях между группами является статистически значимой ($p = 0,023$). Имеющиеся данные, значимая разница в конечных результатах и более значительная эффективность в интервенционной группе позволяют с большой уверенностью считать влияние неучтенных случайных факторов минимальным.

Полученные данные соответствуют общей тенденции, демонстрирующей значительную распространенность ССГ среди студентов [1–3]. Представленные результаты согласуются с исследованиями, демонстрирующими эффективность поведенческих стратегий, таких как соблюдение правила 20–20–20 [7] в облегчении симптомов ССГ.

Перспективы использования ИИ-ассистированных программ профилактики ССГ. Развитие цифровых технологий открывает возможности для профилактики ССГ, особенно в популяциях, подверженных зрительной нагрузке [8, 9]. Основываясь на данных о влиянии образа жизни на развитие ССГ [8], можно считать перспективным формирование прогностической модели для стратификации риска и создания индивидуальных рекомендаций. Технологии отслеживания паттернов моргания и расстояния до экрана позволяют своевременно корректировать расстояние, предлагать перерывы и регулирование освещения. Концепция Health Promoting University показывает эффективность масштабных профилактических инициатив с ИИ [9], что применимо к ССГ через создание кампусной программы заботы о зрении. Использование платформ для скринингов, образовательных материалов, челленджей способно повысить охват и вовлеченность студентов. Примеры успешного применения ИИ-решений в офтальмологии [10–12] подтверждают целесообразность разработки предиктивной ИИ-системы, сочетающей субъективные данные и цифровые метрики.

Литература/References

1. Козина Е.В., Синяпко С.Ф., Гололобов В.Т. и др. Донозологическая диагностика синдрома сухого глаза у студентов медицинского вуза. *Тихоокеанский медицинский журнал*. 2015; (3): 42–5. [Kozina E.V., Sinyapko S.F., Gololobov V.T., et al. Preclinical diagnosis of dry eye syndrome have medical students. *Pacific Medical Journal*. 2015; (3): 42–5 (In Russ.).]
2. Alqurashi A, Almaghrabi H, Alahmadi M, et al. The severity of dry eye symptoms and risk factors among university students in Saudi Arabia: a cross-sectional study. *Sci Rep*. 2024 Jul 2; 14 (1): 15149. doi: 10.1038/s41598-024-65297-6
3. Wróbel-Dudzińska D, Osial N, Stępień PW, Gorecka A, Żarnowski T. Prevalence of dry eye symptoms and associated risk factors among university students in Poland. *Int J Environ Res Public Health*. 2023 Jan 11; 20 (2): 1313. doi: 10.3390/ijerph20021313
4. Al-Mohtaseb Z, Schachter S, Shen Lee B, Garlich J, Trattler W. The relationship between dry eye disease and digital screen use. *Clin Ophthalmol*. 2021 Sep 10; 15: 3811–20. doi: 10.2147/OPTH.S321591
5. Fjaervoll K, Fjaervoll H, Magno M, et al. Review on the possible pathophysiological mechanisms underlying visual display terminal-associated dry eye disease. *Acta Ophthalmol*. 2022 Dec; 100 (8): 861–77. doi: 10.1111/aos.15150
6. Ковалевская М.А., Антонян В.Б., Сергеева М.И. Возможности терапии синдрома сухого глаза при различных видах аметропий. *Российский офтальмологический журнал*. 2023; 16 (2): 22–7. [Kovalevskaya M.A., Antonyan V.B., Sergeeva M.I. Possibilities of dry eye syndrome therapy in various types of ametropia. *Russian ophthalmological journal*. 2023; 16 (2): 22–7 (In Russ.).] <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2023-16-2-22-27>
7. Zulkarnain B, Budiyatin AS, Aryani T, Loebis R. The effect of 20–20–20 rule dissemination and artificial tears administration in high school students diagnosed with computer vision syndrome. *J Pengabdian Masyarakat*. 2021 Mar; 7 (1): 24. doi: 10.22146/jpkm.54121
8. Graham AD, Wang J, Kothapalli T. et al. Artificial intelligence models utilize lifestyle factors to predict dry eye related outcomes. *Sci Rep*. 2025; 15: 13378. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-96778-x>
9. Pratama R, Suhanda R, Aini Z, Nurjannah N, Geumpana TA. Application of artificial intelligence technology in monitoring students' health: Preliminary results of Syiah Kuala Integrated Medical Monitoring (SKIMM). *Narra J*. 2024 Aug; 4 (2): e644. doi: 10.52225/narra.v4i2.644

10. Huang JJ, Channa R, Wolf RM, et al. Autonomous artificial intelligence for diabetic eye disease increases access and health equity in underserved populations. *NPJ Digit Med.* 2024 Jul 22; 7 (1): 196. doi: 10.1038/s41746-024-01197-3. *Erratum in: NPJ Digit Med.* 2024 Aug 23; 7 (1): 220. doi: 10.1038/s41746-024-01229-y
11. Xiao Y, Hu Y, Quan W, et al. Machine learning-based prediction of anatomical outcome after idiopathic macular hole surgery. *Ann Transl Med.* 2021 May; 9 (10): 830. doi: 10.21037/atm-20-8065
12. Нероев В.В., Зайцева О.В., Петров С.Ю., Брагин А.А. Применение искусственного интеллекта в офтальмологии: настоящее и будущее. *Российский офтальмологический журнал.* 2024; 17 (2): 135–41. [Neroev V.V., Zaytseva O.V., Petrov S.Yu., Bragin A.A. Artificial intelligence in ophthalmology: the present and the future. *Russian ophthalmological journal.* 2024; 17 (2): 135–41 (In Russ.)]. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2024-17-2-135-141>

Вклад авторов в работу: авторы внесли равный вклад в разработку концепции и дизайна исследования, в сбор данных и их интерпретацию, написание статьи и финальную подготовку проекта статьи к публикации.

Author's contribution: the authors contributed equally to the development of the concept and design of the study, to the data collection and interpretation; writing of the article and final preparation of the draft article for publication.

Поступила: 30.06.2025. Переработана: 30.07.2025. Принята к печати: 01.08.2025
Originally received: 30.06.2025. Final revision: 30.07.2025. Accepted: 01.08.2025

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ/INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

¹ ФГОУ ВО «Национальный исследовательский университет ИТМО», Кронверкский пр-т, д. 49, литер А, Санкт-Петербург, 197101, Россия

² БУ ХМАО Югры «Сургутская окружная клиническая больница», ул. Энергетиков, д. 14, Сургут, Ханты-Мансийский автономный округ, 628408, Россия

³ ГБУЗ ЛО «Гатчинская клиническая межрайонная больница», ул. Роцинская, д. 15а, корп. 1, Гатчина, Ленинградская область, 188300, Россия

Екатерина Павловна Брянцева — магистр¹, врач-офтальмолог²

Анастасия Олеговна Укина — магистр¹, врач-офтальмолог³

Для контактов: Екатерина Павловна Брянцева,
 ebriantceva@gmail.com

¹ ITMO University, 49, bldg. A, Kronverksky Ave, St. Petersburg, 197101, Russia

² Surgut Regional Clinical Hospital, 24, Energetikov St., Surgut, Khanty-Mansiysk Autonomous Region, 628408, Russia

³ Gatchina Clinical Interdistrict Hospital, 15a, bldg. 1, Roshchinskaya St., Gatchina, Leningrad Region, 188300, Russia

Ekaterina P. Bryantseva — Master's Degree¹, ophthalmologist²

Anastasia O. Ukina — Master's Degree¹, ophthalmologist³

For contacts: Ekaterina P. Bryanceva,
 ebriantceva@gmail.com

<https://doi.org/10.21516/2072-0076-2026-19-2-47-54>



Эффективность применения аналогов простагландинов в качестве стартовой терапии у пациентов с впервые выявленной глаукомой низкого давления

А.Ш. Загидуллина¹, А.И. Арсланова¹✉, А.А. Александров²

¹ ФГБОУ ВО «Башкирский государственный медицинский университет» Минздрава России, ул. Ленина, д. 3, Уфа, Республика Башкортостан, 450008, Россия

² ГБУЗ РБ ГKB № 8, ул. 40 лет Октября, д. 1, Уфа, Республика Башкортостан, 450112, Россия

Цель работы — изучить эффективность применения аналога простагландина тафлупрост 0,0015 % в качестве стартовой терапии у пациентов с впервые выявленной глаукомой низкого давления (ГНД). **Материал и методы.** Изучены изменения функциональных, морфометрических и гемодинамических параметров у 65 пациентов с впервые выявленной ГНД на фоне применения аналога простагландина тафлупрост 0,0015 % в течение 6 мес. **Результаты.** У пациентов с начальной стадией ГНД (35 пациентов, 35 глаз) уровень внутриглазного давления по Маклакову снизился к концу периода наблюдения в среднем на 25 % — с $20,1 \pm 1,7$ до $15,1 \pm 0,75$ мм рт. ст., у пациентов со II стадией ГНД (30 пациентов, 30 глаз) в среднем на 21,0 % — с $19,63 \pm 1,7$ до $15,5 \pm 1,0$ мм рт. ст. По данным компьютерной периметрии у 77,14 % пациентов с I стадией впервые выявленной ГНД зарегистрировано уменьшение выраженности локальных дефектов полей зрения; у пациентов со II стадией — улучшение показателей средней светочувствительности сетчатки. Методом оптической когерентной томографии с ангиографией (ОКТА) в начальной и развитой стадиях ГНД зарегистрировано улучшение показателей сосудистой плотности сетчатки в поверхностном сосудистом сплетении fovea и parafovea; в глубоком сосудистом сплетении — в области fovea в I стадии и в parafovea во II стадии ГНД. **Заключение.** При применении в течение 6 мес тафлупроста в качестве стартовой терапии у пациентов с ГНД не отмечено прогрессирования глаукомной оптической нейропатии. Использование ОКТА является перспективным методом оценки эффективности проводимой местной гипотензивной терапии у пациентов с первичной открытоугольной глаукомой, в том числе с ГНД.

Ключевые слова: глаукома низкого давления; первичная открытоугольная глаукома; аналоги простагландинов; ОКТ; ОКТА; периметрия; тонометрия

Конфликт интересов: отсутствует.

Прозрачность финансовой деятельности: никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

Для цитирования: Загидуллина А.Ш., Арсланова А.И., Александров А.А. Эффективность применения аналогов простагландинов в качестве стартовой терапии у пациентов с впервые выявленной глаукомой низкого давления. Российский офтальмологический журнал. 2026; 19 (2): 47-54. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2026-19-2-47-54>

Efficacy of prostaglandin analogues as initial therapy in patients with newly diagnosed normal tension glaucoma

Aygul Sh. Zagidullina¹, Aygul I. Arslanova¹✉, Arkadiy A. Alexandrov²

¹ Bashkir State Medical University, 3, Lenin St., Ufa, Bashkortostan, 450008, Russia

² City Clinical Hospital No. 8, 1, 40 let October St., Ufa, Bashkortostan, 450112, Russia

aygui90@mail.ru

Purpose of the study: to evaluate the efficacy of prostaglandin analogues as initial therapy in patients with newly diagnosed normal tension glaucoma (NTG). **Material and methods.** The study involved changes in functional, morphometric and hemodynamic parameters in 65 patients with newly diagnosed NTG treated with 0.0015 % Tafluprost for 6 months. **Results.** In patients with the initial stage of NTG (35 patients, 35 eyes), the initial level of intraocular pressure according to Maklakov decreased by the end of the observation period by an average of 25 % from 20.1 ± 1.7 to 15.1 ± 0.75 mm Hg, in patients with stage II NPG (30 patients, 30 eyes) — by an average of 21.0 % from 19.63 ± 1.7 to 15.5 ± 1.0 mm Hg. According to computer perimetry, 77.14 % of patients with stage I newly diagnosed NPG showed a decrease in the severity of local visual field defects; in patients with stage II — an improvement in the average retinal light sensitivity. Using the optical coherence tomography with angiography (OCTA) method in the initial and advanced stages of NTG, an improvement in the retinal vascular density was recorded in the superficial vascular plexus Fovea and Parafovea; in the deep vascular plexus — in the Fovea area in I stage and in Parafovea in II stage NTG. **Conclusion.** The initial therapy of Tafluprost for 6 months in patients with newly diagnosed NTG demonstrated the absence of progression of glaucomatous optic neuropathy in the initial and advanced stages of the disease. OCTA is a promising direction for assessing the effectiveness of hypotensive therapy in patients with primary open-angle glaucoma, including normal tension glaucoma.

Keywords: normal tension glaucoma; primary open-angle glaucoma; prostaglandin analogues; OCT; OCTA; perimetry; tonometry

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

Financial disclosure: no authors has a financial or property interest in any material or method mentioned.

For citation: Zagidullina A.Sh., Arslanova A.I., Alexandrov A.A. Efficacy of prostaglandin analogues as initial therapy in patients with newly diagnosed normal tension glaucoma. Russian ophthalmological journal. 2026; 19 (2): 47-54 (In Russ.). <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2026-19-2-47-54>

В настоящее время единственным патогенетическим методом лечения глаукомы низкого давления (ГНД), как и при гипертензивной форме первичной открытоугольной глаукомы (ПОУГ), является снижение внутриглазного давления (ВГД). По данным Collaborative Normal-Tension Glaucoma Study (CNTGS), снижение уровня ВГД на 30 % от исходного позволяет снизить скорость прогрессирования глаукомного процесса в течение 5 лет у 80 % пациентов с ГНД [1]. Препаратами первой линии терапии являются аналоги простагландинов (АПГ). Использование бета-блокаторов (бетаксолол, тимолол) при ГНД является спорным. Исследования показали, что данные препараты могут вызывать избыточное снижение артериального давления в ночное время с уменьшением кровотока диска зрительного нерва (ДЗН) и прогрессированием ухудшения полей зрения [2].

ЦЕЛЬ работы — изучить эффективность применения тафлупроста 0,0015 % в качестве стартовой терапии у пациентов с впервые выявленной ГНД.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В ГБУЗ РБ ГКБ № 8 г. Уфы была проведена оценка эффективности местной гипотензивной терапии тафлупростом 0,0015 % у пациентов с впервые выявленной ГНД. Измерение ВГД проводили методом Маклакова до и после 6 мес лечения. Для оценки функционального состояния зрительного нерва и сетчатки всем обследуемым проведена компьютерная периметрия (программа Glaucoma-Test,

Tomey A-1000, США). Динамику морфометрических параметров оценивали по данным оптической когерентной томографии (ОКТ) ДЗН и комплекса ганглиозных клеток сетчатки (кГКС/ganglion cell complex, GCC) (Optovue XR Avanti, США). Изменения показателей гемодинамики — сосудистой плотности поверхностного и глубокого сосудистых сплетений макулярной области сетчатки и ДЗН на уровне радиального капиллярного сплетения (Radial peripapillary capillaries, RPC) — регистрировали с помощью ОКТ с ангиографией (ОКТА) (Optovue XR Avanti AngioVue, США).

Статистическую обработку полученных данных проводили при помощи программы IBM SPSS Statistics v.23. Для оценки нормальности распределения выборки использовали тест Шапиро — Уилка. Для определения достоверности различий в зависимых группах с ненормальным распределением до и после лечения применили критерий Уилкоксона.

РЕЗУЛЬТАТЫ

У пациентов с начальной стадией ГНД (35 человек, 35 глаз) через 6 мес лечения тафлупростом 0,0015 % уровень ВГД по Маклакову снизился в среднем на 25 % — с $20,1 \pm 1,7$ до $15,1 \pm 0,75$ мм рт. ст.

По данным компьютерной периметрии у 77,14 % больных выявлено уменьшение выраженности локальных дефектов полей зрения (Pattern Standard Deviation, PSD), показатель среднего снижения светочувствительности сетчатки (Mean Deviation, MD) не ухудшился (табл. 1).

Таблица 1. Показатели компьютерной периметрии у пациентов с ГНД до и после лечения, $M \pm \sigma$
Table 1. Computer perimetry parameters in patients with normal tension glaucoma before and after treatment, $M \pm \sigma$

Показатели, дБ Parameters, dB	I стадия до лечения I stage before treatment n = 35	I стадия после лечения I stage after treatment n = 35	II стадия до лечения II stage before treatment n = 30	II стадия после лечения II stage after treatment n = 30
MD	-2,46 ± 0,42	-2,41 ± 0,55	-9,45 ± 1,44	-6,15 ± 1,20*
PSD	5,33 ± 1,10	3,94 ± 0,15*	12,03 ± 2,60	8,33 ± 1,20

Примечание. Здесь и в таблицах 2–5: n — количество глаз, * — $p < 0,05$, достоверность различий показателей при сравнении до и после лечения.
Note. Here and in the tables 2–5: n — number of eyes, * — $p < 0,05$, difference with parameters before and after treatment.

Таблица 2. Показатели ОКТ ДЗН у пациентов с ГНД до и после лечения, $M \pm \sigma$
Table 2. OCT parameters in patients with normal tension glaucoma before and after treatment, $M \pm \sigma$

Показатели Parameters	I стадия до лечения I stage before treatment n = 35	I стадия после лечения I stage after treatment n = 35	II стадия до лечения II stage before treatment n = 30	II стадия после лечения II stage after treatment n = 30
СНВС в среднем, мкм RNFL average, μm	91,63 ± 3,32	91,61 ± 2,18	81,1 ± 1,3	80,12 ± 1,70
СНВС в верхней гемисфере, мкм RNFL superior, μm	91,68 ± 3,76	92,13 ± 2,36	82,76 ± 1,50	83,16 ± 2,10
СНВС в нижней гемисфере, мкм RNFL inferior, μm	93,23 ± 3,88	93,48 ± 3,01	78,59 ± 1,30	77,92 ± 2,30
ГКС в среднем, мкм GCC average, μm	89,49 ± 4,76	89,19 ± 3,16	73,17 ± 1,26	74,11 ± 2,12
ГКС в верхней гемисфере, мкм GCC superior, μm	88,63 ± 4,46	87,77 ± 3,01	74,0 ± 2,3	75,02 ± 2,11
ГКС в нижней гемисфере, мкм GCC inferior, μm	89,06 ± 5,48	89,01 ± 3,12	70,79 ± 2,01	71,28 ± 1,36
Объем фокальных потерь, % FLV, %	1,94 ± 0,40	0,99 ± 0,36*	8,98 ± 1,90	5,12 ± 1,02*
Объем глобальных потерь, % GLV, %	6,18 ± 2,14	6,02 ± 2,18	19,27 ± 2,10	12,36 ± 2,40*

У больных со II стадией ГНД (30 пациентов, 30 глаз) через 6 мес лечения тафлупростом 0,0015 % уровень ВГД по Маклакову снизился в среднем на 21,0 % — с $19,63 \pm 1,7$ до $15,5 \pm 1,0$ мм рт. ст. Отмечено улучшение показателей средней светочувствительности сетчатки. При дальнейшем наблюдении пациентам данной группы для достижения целевого ВГД была назначена фиксированная комбинация тафлупроста с тимололом.

По данным ОКТ ДЗН на фоне гипотензивного лечения у пациентов с начальной стадией ГНД наблюдалось снижение уровня фокальных потерь кГКС (Focal Loss Volume, FLV) (табл. 2). Показатели уровня глобальных потерь кГКС (Global Loss Volume, GLV), толщины слоя нервных волокон сетчатки (СНВС) и кГКС в динамике не ухудшались.

В развитой стадии заболевания зарегистрировано улучшение показателей фокальных и глобальных потерь кГКС; толщина СНВС и кГКС достоверно не изменились.

По данным ОКТА макулярной области сетчатки в поверхностном сосудистом сплетении у пациентов с начальной стадией ГНД зарегистрировано улучшение показателей сосудистой плотности в области fovea, parafovea в среднем и в нижней гемисфере (табл. 3).

В развитой стадии ГНД на уровне поверхностного сосудистого сплетения сетчатки данные показатели улучшились в области fovea, parafovea в среднем, а также в верхней и нижней гемисферах.

В глубоком сосудистом сплетении макулярной области сетчатки по данным ОКТА у пациентов с начальной

стадией ГНД зарегистрировано улучшение показателей сосудистой плотности в области fovea; у пациентов со II стадией ГНД — в области parafovea (табл. 4).

По данным ОКТ ДЗН у пациентов с I стадией ГНД на фоне местного гипотензивного лечения зарегистрировано улучшение показателей сосудистой плотности перипапиллярной области; у пациентов с развитой стадией ГНД — в перипапиллярной области и нижней гемисфере (табл. 5).

Эффективность местного гипотензивного лечения тафлупростом 0,0015 % демонстрируется клиническим примером.

Пациентка Д., 65 лет, обратилась в диспансерно-амбулаторное отделение микрохирургии глаза ГБУЗ РБ ГKB № 8 г. Уфы для планового ежегодного обследования. На момент осмотра активных жалоб не предъявляла. Из анамнеза известно, что имеется миопия слабой степени обоих глаз с детства, состояла на учете у невролога с диагнозом «расстройство вегетативной нервной системы». Острота зрения на оба глаза 0,2 с корр. —2,0D = 0,8. ВГД по Маклакову OD/OS = 22,0/21,0 мм рт. ст. Показатели компьютерной периметрии правого глаза — MD —3,56 дБ, PSD 6,44 дБ; левого глаза — MD —4,18 дБ, PSD 5,93 дБ. При наружном осмотре и биомикроскопии обоих глаз передний отрезок без особенностей, угол передней камеры открыт. Офтальмоскопически оба глаза: ДЗН бледные, границы четкие, снижение объема нейроретинального пояса по правилу ISNT во всех секторах, сдвиг сосудистого пучка к носу. По данным ОКТ ДЗН обоих глаз все показатели толщины СНВС и кГКС, геометрические параметры ДЗН и нейроретинального пояса были ниже

Таблица 3. Показатели сосудистой плотности макулярной области сетчатки в поверхностном сосудистом сплетении у пациентов с ГНД на фоне лечения, $M \pm \sigma$

Table 3. Vessel density parameters in superficial vascular plexus of macula in patients with normal tension glaucoma before and after treatment, $M \pm \sigma$

Сектор исследования, % Examined sector, %	I стадия до лечения I stage before treatment n = 35	I стадия после лечения I stage after treatment n = 35	II стадия до лечения II stage before treatment n = 30	II стадия после лечения II stage after treatment n = 30
В целом Whole image	44,76 $\pm$ 2,82	44,15 $\pm$ 2,82	40,83 $\pm$ 1,10	40,11 $\pm$ 2,03
Верхняя гемисфера Superior-Hemi	44,67 $\pm$ 3,46	43,19 $\pm$ 3,15	40,68 $\pm$ 1,03	42,16 $\pm$ 2,21
Нижняя гемисфера Inferior-Hemi	44,85 $\pm$ 2,71	43,14 $\pm$ 2,18	41,12 $\pm$ 2,01	42,33 $\pm$ 2,14
Фовеа Fovea	16,00 $\pm$ 2,10	21,10 $\pm$ 1,16*	14,15 $\pm$ 2,2	19,12 $\pm$ 1,63*
Парафовеа (ПФ) Parafovea (PF)	47,95 $\pm$ 2,18	49,10 $\pm$ 1,36*	44,3 $\pm$ 2,3	48,14 $\pm$ 1,18*
ПФ-верхняя гемисфера PF-Superior-Hemi	48,09 $\pm$ 3,68	48,18 $\pm$ 3,15	44,8 $\pm$ 1,9	48,54 $\pm$ 1,21*
ПФ-нижняя гемисфера PF-Inferior-Hemi	47,94 $\pm$ 3,36	49,9 $\pm$ 2,18*	44,57 $\pm$ 1,97	49,21 $\pm$ 2,01*
ПФ-височный квадрант PF-Tempo	46,91 $\pm$ 4,82	46,21 $\pm$ 3,36	42,52 $\pm$ 1,89	41,99 $\pm$ 2,15
ПФ-верхний квадрант PF-Superior	49,45 $\pm$ 4,81	49,15 $\pm$ 4,14	45,36 $\pm$ 1,99	46,12 $\pm$ 2,36
ПФ-назальный квадрант PF-Nasal	45,93 $\pm$ 2,06	45,10 $\pm$ 2,66	43,92 $\pm$ 1,87	44,18 $\pm$ 2,99
ПФ-нижний квадрант PF-Inferior	49,92 $\pm$ 3,60	49,16 $\pm$ 2,80	45,56 $\pm$ 1,96	46,32 $\pm$ 2,02

Таблица 4. Показатели сосудистой плотности макулярной области сетчатки в глубоком сосудистом сплетении у пациентов с ГНД на фоне лечения, $M \pm \sigma$

Table 4. Vessel density parameters in deep vascular plexus of macula in patients with normal tension glaucoma before and after treatment, $M \pm \sigma$

Сектор исследования, % Examined sector, %	I стадия до лечения I stage before treatment n = 35	I стадия после лечения I stage after treatment n = 35	II стадия до лечения II stage before treatment n = 30	II стадия после лечения II stage after treatment n = 30
В целом Whole image	51,58 $\pm$ 4,58	54,01 $\pm$ 4,16	52,85 $\pm$ 1,50	51,26 $\pm$ 1,03
Верхняя гемисфера Superior-Hemi	51,89 $\pm$ 4,63	53,18 $\pm$ 4,08	52,5 $\pm$ 2,3	53,12 $\pm$ 1,98
Нижняя гемисфера Inferior-Hemi	51,95 $\pm$ 4,67	53,46 $\pm$ 3,20	53,23 $\pm$ 2,60	54,36 $\pm$ 1,60
Фовеа Fovea	29,96 $\pm$ 1,06	34,15 $\pm$ 1,18*	32,85 $\pm$ 1,08	34,12 $\pm$ 2,19
Парафовеа (ПФ) Parafovea (PF)	54,66 $\pm$ 4,92	56,21 $\pm$ 3,08	51,67 $\pm$ 2,00	56,21 $\pm$ 1,19*
ПФ-верхняя гемисфера PF-Superior-Hemi	54,11 $\pm$ 7,33	54,12 $\pm$ 4,01	52,41 $\pm$ 4,6	52,36 $\pm$ 4,55
ПФ-нижняя гемисфера PF-Inferior-Hemi	53,78 $\pm$ 5,39	54,55 $\pm$ 5,15	52,65 $\pm$ 5,23	55,23 $\pm$ 5,15
ПФ-височный квадрант PF-Tempo	54,16 $\pm$ 4,39	54,86 $\pm$ 4,18	51,45 $\pm$ 1,02	52,33 $\pm$ 4,51
ПФ-верхний квадрант PF-Superior	54,50 $\pm$ 5,23	54,69 $\pm$ 5,16	51,27 $\pm$ 3,60	50,86 $\pm$ 4,40
ПФ-назальный квадрант PF-Nasal	55,00 $\pm$ 3,97	55,54 $\pm$ 3,11	51,11 $\pm$ 5,60	52,98 $\pm$ 5,20
ПФ-нижний квадрант PF-Inferior	54,53 $\pm$ 6,56	55,13 $\pm$ 6,18	51,99 $\pm$ 4,70	51,47 $\pm$ 4,10

Таблица 5. Показатели сосудистой плотности ДЗН на уровне RPC у пациентов с ГНД на фоне лечения, $M \pm \sigma$
Table 5. Vessel density parameters in radial peripapillary capillaries plexus of optic nerve head in patients with normal tension glaucoma before and after treatment, $M \pm \sigma$

Сектор исследования, % Examined sector, %	I стадия до лечения I stage before treatment n = 35	I стадия после лечения I stage after treatment n = 35	II стадия до лечения II stage before treatment n = 30	II стадия после лечения II stage after treatment n = 30
В целом Whole image	45,7 ± 1,1	46,18 ± 1,20	43,5 ± 1,5	42,36 ± 1,33
Внутри ДЗН Inside disc	50,40 ± 1,03	51,02 ± 1,11	48,9 ± 2,3	47,17 ± 2,01
Перипапиллярно Peripapillary	45,60 ± 2,01	49,40 ± 1,18*	44,6 ± 2,6	49,22 ± 2,30*
Верхняя гемисфера Superior Hemi	46,5 ± 2,2	52,36 ± 1,13	44,00 ± 1,08	44,12 ± 1,22
Нижняя гемисфера Inferior Hemi	47,4 ± 2,3	50,20 ± 1,18	45,7 ± 2,0	49,77 ± 1,98*
Верхнеаальный квадрант Nasal Superior	42,34 ± 1,9	45,60 ± 1,33	40,9 ± 4,6	40,95 ± 4,11
Нижнеаальный квадрант Nasal Inferior	42,0 ± 1,97	41,22 ± 2,10	42,20 ± 5,23	41,36 ± 4,33
Нижневисочный квадрант Tempo Inferior	50,73 ± 1,89	50,14 ± 2,01	48,40 ± 1,02	47,99 ± 4,2
Верхневисочный квадрант Tempo Superior	51,98 ± 1,99	51,36 ± 2,17	49,4 ± 3,6	48,65 ± 4,01

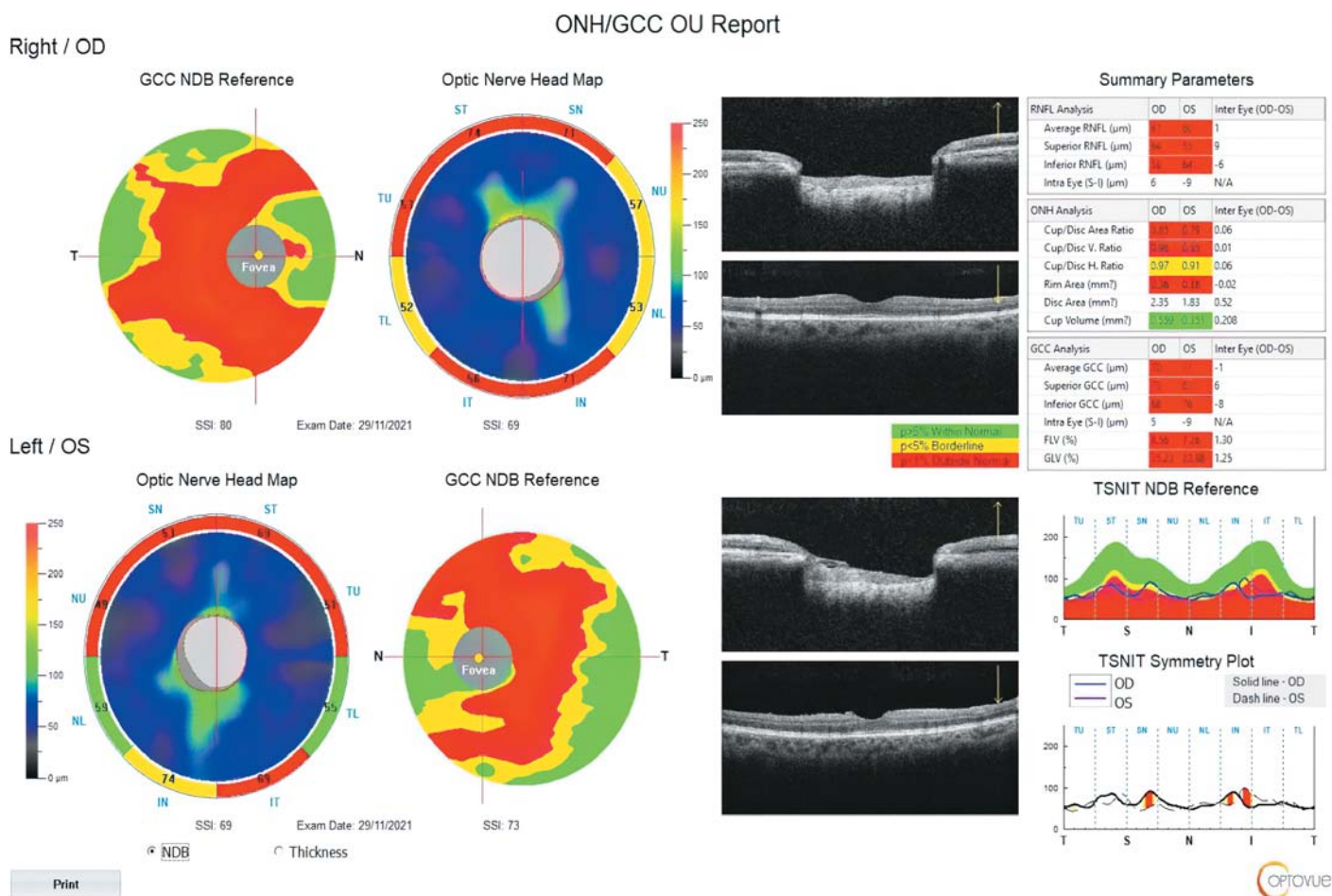


Рис. 1. Протокол ОКТ-исследования ДЗН и кГКС у пациентки Д. с впервые выявленной ГНД
Fig. 1. OCT protocol of optic nerve head in patient D. with newly diagnosed normal tension glaucoma

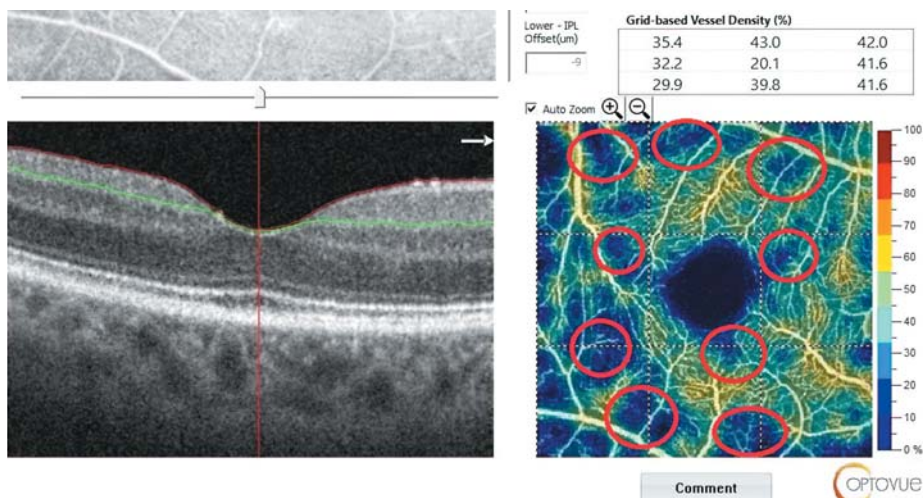


Рис. 2. Протокол ОКТ-исследования макулярной области сетчатки поверхностного сосудистого сплетения у пациентки Д. с впервые выявленной ГНД до лечения, правый глаз (участки гипоперфузии указаны красными кругами)

Fig. 2. OCTA protocol of macula in superficial vascular plexus in patient D. with newly diagnosed normal tension glaucoma before treatment, right eye (areas of hypoperfusion are indicated by red circles)

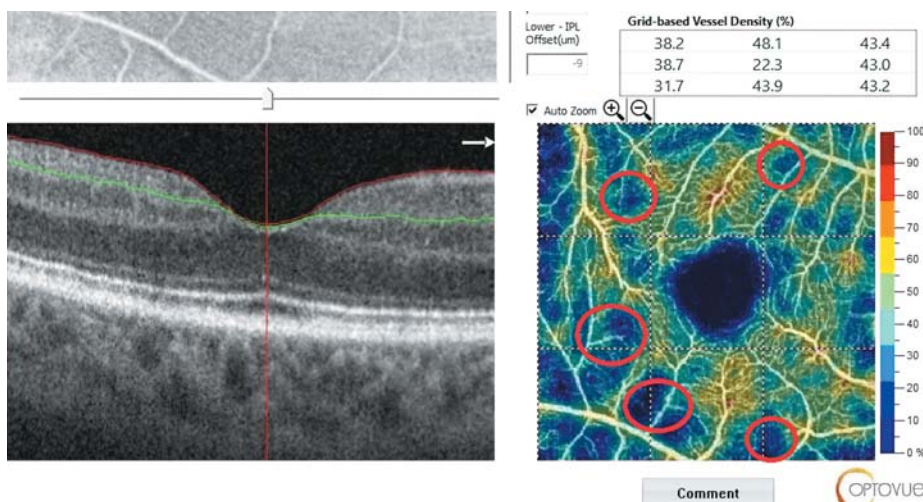


Рис. 3. Протокол ОКТ-исследования макулярной области сетчатки поверхностного сосудистого сплетения у пациентки Д. с впервые выявленной ГНД через 6 мес на фоне лечения, правый глаз (участки гипоперфузии указаны красными кругами)

Fig. 3. OCTA protocol of macula in superficial vascular plexus in patient D. with newly diagnosed normal tension glaucoma after 6 months treatment, right eye (areas of hypoperfusion are indicated by red circles)

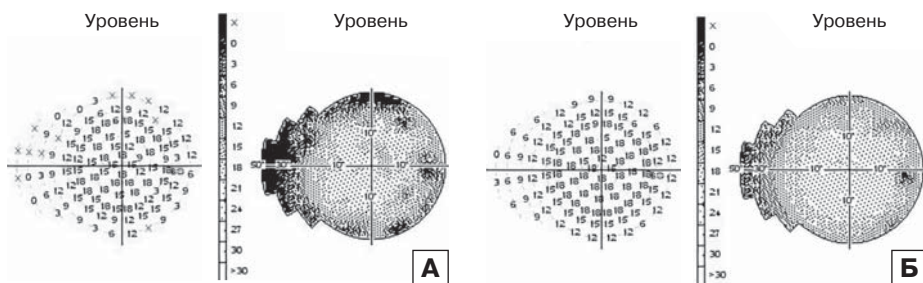


Рис. 4. Протокол исследования компьютерной периметрии правого глаза у пациентки Д. с впервые выявленной ГНД: А — до лечения; Б — через 6 мес лечения АПГ

Fig. 4. Computer perimetry protocol of right eye in patient D. with newly diagnosed normal tension glaucoma: A — before treatment; Б — after 6 months treatment PGAs

возрастной нормы, уровни фокальных и глобальных потерь ГКС превышали возрастные показатели (рис. 1).

По данным ОКТ-исследования макулярной области сетчатки обоих глаз на уровне поверхностного сосудистого сплетения визуализировались множественные участки гипоперфузии (рис. 2).

На основании полученных данных пациентке выставлен диагноз: «ОУ — первичная открытоугольная ГНД IIa стадии, впервые выявленная». Для стабилизации глаукомного процесса назначен аналог простагландина тафлупрост 0,0015 % на ночь по 1 капле в оба глаза.

При повторном обследовании через 7 дней уровень ВГД по Маклакову в правом глазу снизился до 16 мм рт. ст. (на 27,3 %), в левом глазу — до 15 мм рт. ст. (на 28,6 %); через 1 мес — до 15 мм рт. ст. в обоих глазах (на 31,8 и 28,6 % соответственно). Через 6 мес уровень ВГД в обоих глазах составил 17 мм рт. ст. (на 22,7 и 19,0 % ниже исходных значений соответственно). В последующем для достижения целевого ВГД была назначена фиксированная комбинация тафлупрост 0,0015 % с тимололом на ночь 1 раз в сутки.

При повторном исследовании методом ОКТ-исследования макулярной области сетчатки обоих глаз на уровне поверхностного сосудистого сплетения отмечено увеличение показателей сосудистой плотности, уменьшение участков гипоперфузии (рис. 3).

По данным статической автоматической периметрии в обоих глазах через 6 мес после начала гипотензивного лечения отмечено уменьшение количества абсолютных скотом, переход абсолютных скотом в относительные (рис. 4, А, Б). Показатели компьютерной периметрии MD и PSD правого глаза улучшились до -1,82 и 1,87 дБ соответственно; левого глаза — до -2,56 и 3,16 дБ соответственно.

ОБСУЖДЕНИЕ

Основным патогенетическим лечением ГНД является медикаментозное и хирургическое снижение ВГД. В многоцентровом проспективном рандомизированном двойном слепом контролируемом клиническом исследовании The Collaborative Normal-Tension Glaucoma Study (CNTGS), включавшем 140 пациентов с ГНД, продемонстрировано, что снижение ВГД не менее чем на 30 % в течение 5 лет наблюдения привело к стабилизации дефектов полей зрения в 80 % случаев по сравнению с 65 % у нелеченных пациентов [3].

В рандомизированном двойном слепом клиническом исследовании The Early Manifest Glaucoma Trial (EMGT) после 6-летнего наблюдения пациентов с ГНД было показано, что снижение ВГД на 25 % может снизить риск прогрессирования заболевания до 45 % в исследуемой группе по сравнению с 62 % в контрольной [4].

Согласно утвержденным клиническим рекомендациям «Глаукома первичная открытоугольная» (2024), препаратами первого выбора для медикаментозной терапии ПОУГ являются аналоги простагландинов и простамиды [5]. Препараты данной группы снижают ВГД на 25–35 % за счет улучшения увеосклерального пути оттока внутриглазной жидкости. На животных моделях тафлупрост, латанопрост и биматопрост продемонстрировали нейропротекторное действие на ганглиозные клетки сетчатки *in vitro* [6].

В многоцентровом ретроспективном когортном исследовании эффективности применения тафлупроста, травопроста и латанопроста более 6 мес у 177 пациентов с ГНД выявлено отсутствие прогрессирования глаукомного процесса [7].

J. Oh, K. Park [8] проанализировали показатели ВГД и компьютерной периметрии 47 пациентов с ГНД (85 глаз) на фоне лечения латанопростом 0,005 %. Средний уровень ВГД через 12 мес снизился на 16 % от исходных значений. Стоит отметить, что у пациентов с начальным уровнем ВГД ≥ 15 мм рт. ст. наблюдалось более значительное его снижение во всех последующих наблюдениях, чем у пациентов с исходными значениями ВГД < 15 мм рт. ст.

S. Kojima и соавт. [9] сообщили, что на фоне лечения 25 пациентов с ПОУГ тафлупростом в течение года улучшились показатели компьютерной периметрии и параметры микроциркуляции ДЗН в верхнем и нижнем секторах по данным лазерной спекл-флоуграфии. Исследования японских авторов продемонстрировали отсутствие ухудшения показателей компьютерной периметрии у 416 пациентов с ГНД в течение 3-летнего периода лечения тафлупростом [10, 11].

Мониторинг ГНД на фоне применения фиксированной комбинации латанопроста с тимололом в течение 10 лет показал отсутствие ухудшения показателей компьютерной периметрии [12]. Кроме того, в глазах с ГНД аналоги простагландинов увеличивают скорость глазного кровотока, что может быть связано с повышением перфузионного давления и изменением тонуса сосудистой стенки [13]. M. McKibbin, M. Menage [13] проанализировали изменения ВГД и показателей глазного кровотока с помощью тонографа OBF (OBF Labs., UK) у 19 пациентов с ГНД (32 глаза) на фоне применения латанопроста 0,005 % 1 раз в сутки. Через 4 нед после начала лечения зарегистрировано снижение ВГД в среднем до 15 мм рт. ст. и увеличение среднего показателя глазного кровотока с 656 до 796 мкл/мин.

По данным отечественных авторов, исследование ретинального кровотока методом ОКТА выявило улучшение показателей сосудистой плотности у пациентов с ПОУГ после антиглаукомных операций [14]. Таким образом, ОКТА может являться перспективным диагностическим методом для выявления изменений показателей сосудистой плотности сетчатки и зрительного нерва и оценки эффективности местного гипотензивного лечения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение в течение 6 мес тафлупроста в качестве стартовой терапии у пациентов с начальной и развитой стадиями впервые выявленной ГНД продемонстрировало отсутствие прогрессирования глаукомной оптической нейропатии.

У пациентов с начальной стадией ГНД уровень ВГД по Маклакову снизился к концу периода наблюдения в среднем на 25 % — с $20,1 \pm 1,7$ до $15,1 \pm 0,75$ мм рт. ст. По данным компьютерной периметрии у 77,14 % пациентов с I стадией ГНД зарегистрировано уменьшение выраженности локальных дефектов полей зрения. По данным ОКТ ДЗН на фоне гипотензивного лечения наблюдалось снижение уровня фокальных потерь кГКС.

У пациентов со II стадией ГНД уровень ВГД по Маклакову снизился в среднем на 21,0 % — с $19,63 \pm 1,7$ до $15,5 \pm 1,0$ мм рт. ст. По данным компьютерной периметрии зарегистрировано улучшение показателей средней светочувствительности сетчатки; по данным ОКТ ДЗН — улучшение показателей фокальных и глобальных потерь кГКС. Методом ОКТА макулярной области сетчатки в поверхностном сосудистом сплетении зарегистрировано повышение кровотока в области fovea, parafovea; в глубоком сосудистом плексусе — улучшение микроциркуляции в области fovea в I стадии и parafovea во II стадии ГНД. Использование ОКТА является перспективным методом оценки эффективности проводимой местной гипотензивной терапии у пациентов с ПОУГ, в том числе с ГНД.

Литература/References

1. Anderson DR. Normal Tension Glaucoma Study. Collaborative normal tension glaucoma study. *Curr Opin Ophthalmol*. 2003 Apr; 14 (2): 86–90. doi: 10.1097/00055735-200304000-00006
2. Hayreh SS, Podhajsky P, Zimmerman MB. Beta-blocker eyedrops and nocturnal arterial hypotension. *Am J Ophthalmol*. 1999, Sep; 128 (3): 301–9. doi: 10.1016/s0002-9394(99)00160-9
3. Collaborative Normal-Tension Glaucoma Study Group. The effectiveness of intraocular pressure reduction in the treatment of normal-tension glaucoma. *Am J Ophthalmol*. 1998 Oct; 126 (4): 498–505. doi: 10.1016/s0002-9394(98)00272-4
4. Heijl A, Leske MC, Bengtsson B, et al. Early Manifest Glaucoma Trial Group. Reduction of intraocular pressure and glaucoma progression: Results from the Early Manifest Glaucoma Trial. *Arch Ophthalmol*. 2002 Oct; 120 (10): 1268–79. doi: 10.1001/archoph.120.10.1268
5. Клинические рекомендации «Глаукома первичная открытоугольная» 2024, утверждены Минздравом РФ. [Clinical Guidelines “Primary open angle glaucoma” 2024, approved by the Ministry of Health of the Russian Federation (In Russ.)].
6. Yamagishi R, Aihara M, Araie M. Neuroprotective effects of prostaglandin analogues on retinal ganglion cell death independent of intraocular pressure reduction. *Exp. Eye Res*. 2011 Sep; 93 (3): 265–70. doi: 10.1016/j.exer.2011.06.022
7. Kim JM, Sung KR, Kim HK, et al. Long-term effectiveness and safety of Tafluprost, Travoprost, and Latanoprost in Korean patients with primary open-angle glaucoma or normal-tension glaucoma: A multicenter retrospective cohort study (LOTUS Study). *J Clin Med*. 2021 Jun 19; 10 (12): 2717. doi: 10.3390/jcm10122717
8. Oh JY, Park KH. The effect of latanoprost on intraocular pressure during 12 months of treatment for normal-tension glaucoma. *Korean J Ophthalmol*. 2005 Dec; 19 (4): 297–301. doi: 10.3341/kjo.2005.19.4.297
9. Kojima S, Sugiyama T, Shibata M, et al. Changes in visual field, morphology and microcirculation of the optic nerve head after instillation of tafluprost for one year. *Jpn J Clin Ophthalmol*. 2014; 68: 895–902.
10. Nomura A, Osaki H, Shimada F, Kuwayama Y. The clinical effectiveness of tafluprost on Japanese normal-tension glaucoma patients. *Clin Ophthalmol*. 2018 Mar 20; 12: 539–48. doi: 10.2147/OPTH.S158017
11. Inoue K, Tanaka A, Tomita G. Effects of tafluprost treatment for 3 years in patients with normal-tension glaucoma. *Clin Ophthalmol*. 2013; 7: 1411–6. doi: 10.2147/OPTH.S46340
12. Карлова Е.В., Золотарев А.В. Фиксированная комбинация латанопрост/тимолол в долгосрочном лечении пациентов с глаукомой нормального давления. *Вестник офтальмологии*. 2022; 138 (3): 82–6. [Karlova E.V., Zolotarev A.V. Fixed combination of latanoprost and timolol in the long-term treatment of patients with normal-tension glaucoma. *Vestnik oftal'mologii*. 2022; 138 (3): 82–6 (In Russ.)]. <https://doi.org/10.17116/oftalma202213803182>
13. McKibbin M, Menage MJ. The effect of once-daily latanoprost on intraocular pressure and pulsatile ocular blood flow in normal tension glaucoma. *Eye Lond*. 1999; 13 (Pt 1): 31–4. doi: 10.1038/eye.1999.6

14. Жукова С.И., Юрьева Т.Н., Микова О.И. и др. ОКТ-ангиография в оценке хориоретинального кровотока при колебании внутриглазного давления у больных первичной открытоугольной глаукомой. *РМЖ. Клиническая офтальмология*. 2016; 2: 98–103. [Zhukova S.I., Iureva T.N.,

Mikova O.I., et al. OCT-angiography in assessment of chorioretinal blood flow in patients with primary open angle glaucoma and IOP fluctuations. *RMJ. Clinical ophthalmology*. 2016; 2: 98–103 (In Russ.)].

Вклад авторов в работу: А.Ш. Загидуллина — разработка концепции исследования, анализ данных, редактирование статьи; А.И. Арсланова — проведение исследований, сбор и анализ данных, написание статьи; А.А. Александров — анализ данных, редактирование статьи.
Authors' contribution: A.Sh. Zagidullina — study development and concept, data analysis, editing of the article; A.I. Arslanova — conducting research, data collection and analysis, writing of the article; A.A. Alexandrov — data analysis and editing of the article.

Поступила: 21.03.2025. Переработана: 22.03.2025. Принята к печати: 24.03.2025
Originally received: 21.03.2025. Final revision: 22.03.2025. Accepted: 24.03.2025

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ/INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

ФГБОУ ВО «Башкирский государственный медицинский университет»
Минздрава России, ул. Ленина, д. 3, Уфа, Республика Башкортостан,
450008, Россия

Айгуль Шамилевна Загидуллина — д-р мед. наук, профессор кафедры офтальмологии

Айгуль Ирековна Арсланова — ассистент кафедры офтальмологии БГМУ

ГБУЗ РБ ГКБ № 8, ул. 40 лет Октября, д. 1, Уфа, Республика Башкортостан, 450112, Россия

Аркадий Андреевич Александров — канд. мед. наук, заведующий диспансерно-амбулаторным отделением микрохирургии глаза

Для контактов: Айгуль Ирековна Арсланова,
aygul90@mail.ru

Bashkir State Medical University, 3, Lenin St., Ufa, Bashkortostan, 450008, Russia

Aygul Sh. Zagidullina — Dr. of Med. Sci., professor, chair of ophthalmology

Aygul I. Arslanova — assistant, chair of ophthalmology
City Clinical Hospital No. 8, 40 let October St., Ufa, Bashkortostan, 450112, Russia

Arkadiy A. Alexandrov — Cand. of Med. Sci., head of outpatient department of eye microsurgery

For contacts: Aygul I. Arslanova,
aygul90@mail.ru

Сравнительная оценка биометрических параметров слезной железы по данным компьютерной томографии и эхографии у здоровых лиц разного возраста

А.А. Зайцева, Т.Н. Киселева, М.С. Зайцев✉, К.В. Луговкина, С.Г. Бережнова

ФГБУ «НМИЦ глазных болезней им. Гельмгольца» Минздрава России, ул. Садовая-Черногрозская, д. 14/19, Москва, 105062, Россия

Анализ литературных источников указывает на вариабельность биометрических параметров слезной железы (СЖ), полученных методом компьютерной томографии (КТ) у здоровых лиц в норме. Для разработки объективных критериев и повышения эффективности диагностики патологии СЖ необходимы данные о биометрических параметрах пальпебральной и орбитальной долей СЖ с использованием разных методов визуализации. **Цель работы** — сравнительный анализ биометрических характеристик СЖ, полученных методами КТ и эхографии у здоровых лиц разного возраста. **Материал и методы.** Обследовано 60 пациентов (120 глаз) в возрасте от 18 до 90 лет. Все обследуемые были распределены по трем возрастным группам. В 1-ю группу вошли 20 пациентов (40 глаз) в возрасте от 18 до 40 лет, во 2-ю группу — 20 человек (40 глаз) от 40 до 60 лет, и 3-ю группу составили 20 пожилых лиц (40 глаз) от 60 до 90 лет. С помощью ультразвукового исследования (УЗИ) оценивали структуру и биометрические параметры пальпебральной и орбитальной долей СЖ. Проводили КТ орбит в аксиальной, коронарной и сагиттальной плоскостях. В аксиальной и коронарной проекциях определяли осевую длину и ширину железы, в сагиттальной — размеры пальпебральной и орбитальной долей СЖ. **Результаты.** У взрослых лиц наименьшие средние биометрические характеристики СЖ определены в 1-й группе: $8,48 \pm 0,5$ и $2,2 \pm 0,1$ мм для пальпебральной доли и $13,47 \pm 0,48$ мм для орбитальной доли. Достоверных изменений между параметрами пальпебральной доли в 1-й и 2-й группах не выявлено. В 3-й группе отмечалось увеличение диаметра и толщины пальпебральной части СЖ на 9,0 и 6,6 % соответственно по сравнению с 1-й и 2-й группами. Параметры орбитальной доли в старшей возрастной группе были наибольшими и составили $16,02 \pm 0,15$ мм, что на 12,0 и 7,2 % больше, чем в 1-й и 2-й группах. Максимальные средние значения длины СЖ по данным КТ наблюдались в 1-й группе: $15,1 \pm 2,4$ мм в аксиальной плоскости, $16,2 \pm 2,4$ мм — в коронарной. Статистически значимой разницы в размерах СЖ по данным УЗИ и КТ в сагиттальной проекции между 1-й и 2-й группами не выявлено. Средние биометрические показатели орбитальной части СЖ в 3-й группе были статистически достоверно больше по сравнению с таковыми в 1-й и 2-й группах ($p < 0,05$). **Заключение.** Анализ результатов УЗИ продемонстрировал сопоставимость средних значений эхографических биометрических характеристик с данными КТ в сагиттальной проекции. Установлена высокая достоверная корреляция между средними показателями размеров пальпебральной и орбитальной долей СЖ при использовании двух разных методов исследования.

Ключевые слова: слезная железа; пальпебральная доля; орбитальная доля; биометрические параметры; ультразвуковая диагностика; компьютерная томография

Конфликт интересов: отсутствует.

Прозрачность финансовой деятельности: никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

Для цитирования: Зайцева А.А., Киселева Т.Н., Зайцев М.С., Луговкина К.В., Бережнова С.Г. Сравнительная оценка биометрических параметров слезной железы по данным компьютерной томографии и эхографии у здоровых лиц разного возраста. Российский офтальмологический журнал. 2026; 19 (2): 55-61. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2026-19-2-55-61>

Comparative assessment of the biometric parameters of the lacrimal gland based on computed tomography and echography in healthy individuals of different ages

Alina A. Zaitseva, Tatiana N. Kiseleva, Maxim S. Zaitsev✉, Ksenija V. Lugovkina, Svetlana G. Berezhnova

Helmholtz National Medical Research Center of Eye Diseases, 14/19, Sadovaya-Chernogryazskaya St., Moscow, 105062, Russia
zaicev1549@yandex.ru

*Analysis of literary sources demonstrates the variability in biometric parameters of the lacrimal gland (LG) obtained by computed tomography (CT) in healthy subjects. The various imaging methods of LG with assessment on biometric parameters of the palpebral and orbital lobes of healthy LG are needed for the development objective criteria and improve the efficiency of diagnostics of LG pathology. The **purpose** was to conduct a comparative analysis of the biometric characteristics of LG obtained with CT and echography in healthy individuals of different ages. **Material and methods.** A total of 60 patients (120 eyes) were examined, divided into 3 groups: 18–40 years (the 1st group), 40–60 years (the 2nd group), and 60–90 years (the 3rd group). There are 20 individuals (40 eyes) in each group. Ultrasound was used to assess the structure of the palpebral lobe of the LG, measuring its diameter and thickness in two projections. The diameter of the orbital lobe was also measured. The CT of the orbits was performed in axial, coronal, and sagittal planes. In the axial and coronal projections, the total axial length and thickness of the gland were measured, while the sagittal projection measured the palpebral lobe separately and the diameter of the orbital part. **Results.** In adult patients, the lowest biometric parameters of the LG were recorded in the 1st group: 8.48 ± 0.5 mm for the palpebral part and 2.2 ± 0.1 mm for the orbital part, as well as 13.47 ± 0.48 mm for the orbital part. There were no significant differences in the parameters of the palpebral part between the 1st and the 2nd groups. In the 3rd group, there was an increase in the diameter and thickness of the palpebral part of the LG by 9.0 and 6.6 %, respectively, compared with the 1st and 2nd groups. The maximum average values of the length of the LG according to CT were observed in the 1st group: 15.1 ± 2.4 mm in the axial plane and 16.2 ± 2.4 mm in the coronal plane. There was no statistically significant difference in size between the 1st and 2nd groups. An age-dependent increase in the size of the LG was recorded in the sagittal plane. The average biometric parameters of the orbital part of the LG in the 3rd group were significantly higher compared to the 1st and 2nd groups. **Conclusion.** The analysis of ultrasound results demonstrated the comparability of the average values of echographic biometric characteristics with CT data in the sagittal plane. A high reliable correlation has been established between the average length and width of the palpebral and orbital parts of LG using two different research methods.*

Keywords: lacrimal gland; palpebral lobe; orbital lobe; biometric parameters; ultrasound diagnostics; computed tomography

Conflict of interests: there is no conflict of interests.

Financial disclosure: no author has a financial or property interest in any material or method mentioned.

For citation: Zaitseva A.A., Kiseleva T.N., Zaitsev M.S., Lugovkina K.V., Berezhnova S.G. Comparative assessment of the biometric parameters of the lacrimal gland based on computed tomography and echography in healthy individuals of different ages. Russian ophthalmological journal. 2026; 19 (2): 55-61 (In Russ.). <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2026-19-2-55-61>

По данным разных авторов, в последние годы наблюдается увеличение частоты заболеваний слезной железы (СЖ) [1, 2]. Известно, что структурно-функциональные изменения СЖ находятся в тесной взаимосвязи с состоянием других органов и систем организма. Поэтому нередко патологические процессы СЖ и ряд системных заболеваний имеют общие причины, в том числе генетически обусловленные [3]. Патология СЖ может быть следствием аномалий ее развития, травм, иметь воспалительную, опухольную, а также инволюционную природу. Часто различные патологические процессы СЖ характеризуются схожей клинической картиной и приобретают хроническое течение с нарушением функции и гемодиализации желез. В связи с этим продолжает оставаться актуальным поиск и разработка неинвазивных, высокоинформативных и доступных методов диагностики заболеваний СЖ.

В литературе имеется целый ряд исследований, посвященных изучению анатомо-топографических характеристик

и структурных изменений СЖ с использованием различных методов визуализации, включающих компьютерную томографию (КТ), магнитно-резонансную томографию (МРТ) и ультразвуковое исследование (УЗИ) [4, 5]. Однако до сих пор остаются нерешенными вопросы, касающиеся техники проведения исследования СЖ и достоверной оценки ее размеров.

В настоящее время представлены противоречивые сведения о биометрических характеристиках СЖ в норме, полученных с использованием метода КТ. Так, в исследовании S. Nawaz и соавт. [6] анализ биометрических характеристик СЖ у 75 мужчин и 33 женщин (средний возраст 49 ± 20 лет) показал более высокие значения размеров СЖ у мужчин. По данным авторов, в аксиальном срезе средний диаметр СЖ составил 14,7 мм у мужчин и 14,5 мм у женщин, в коронарном срезе — 17,7 и 16,9 мм соответственно. Изучение взаимосвязи размеров СЖ с возрастом обследуемых авторами не проводилось.

D. Tamboli с соавт. [7] при обследовании 586 орбит с помощью метода КТ у лиц европеоидной расы старше 18 лет установили обратную зависимость между размером СЖ и возрастом, а также отсутствие гендерных различий биометрических показателей железы. Авторы продемонстрировали достоверно низкие значения аксиального размера СЖ у пожилых по сравнению с лицами молодого возраста. B. Idowu и соавт. [8] при проведении КТ у 110 человек (220 орбит) в норме не обнаружили гендерных и возрастных различий размеров СЖ. В этом исследовании было определено, что длина и ширина СЖ в аксиальном срезе существенно отличаются от таковых в коронарном срезе и составляют в среднем 13,1 на 3,8 мм и 22,3 на 5,8 мм соответственно.

Анализ данных, представленных в литературе, указывает на вариабельность биометрических параметров СЖ, полученных методом КТ у здоровых лиц в норме. Кроме того, большинство авторов осуществляли измерение железы в аксиальной и коронарной проекциях, что затрудняет сравнение размеров СЖ с результатами эхографии. Поэтому необходимо определение единых биометрических характеристик для оценки состояния СЖ с использованием разных методов визуализации. Измерение биометрических параметров орбитальной и пальпебральной долей СЖ ранее другими авторами не выполнялось, однако это имеет большое клиническое значение для определения области поражения и топографической оценки патологического процесса.

В связи с этим **ЦЕЛЬЮ** нашей работы явился сравнительный анализ биометрических характеристик СЖ, полученных методами КТ и эхографии у здоровых лиц разного возраста.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Обследовано 60 пациентов (120 глаз) в возрасте от 18 до 90 лет. Все обследуемые были распределены по трем возрастным группам. В 1-ю группу вошли 20 пациентов (40 глаз) в возрасте от 18 до 40 лет, во 2-ю группу — 20 человек (40 глаз) от 40 до 60 лет, и 3-ю группу составили 20 пожилых лиц (40 глаз) от 60 до 90 лет. Критериями исключения из исследования являлись онкопатология, воспалительная патология, травмы глаза и орбиты, синдром сухого глаза (ССГ), системные аутоиммунные заболевания.

УЗИ проводили на многофункциональном приборе с использованием линейного датчика 11–18 МГц в режиме В-сканирования при средненизких значениях коэффициента усиления сигнала (GAIN) по разработанной нами методике [1]. Вначале выполняли сканирование пальпебральной доли СЖ при расположении датчика в верхненаружной области верхнего века в косопоперечном направлении. При этом ориентацию сканирующей плоскости осуществляли по оси, проходящей через центр брови и латеральный край орбиты. Затем позицию датчика изменяли на 90 град., и плоскость сканирования проходила через медиальный угол орбиты и боковой край брови. В процессе осмотра оценивали контуры и внутреннюю структуру пальпебральной доли СЖ, далее измеряли диаметр и толщину пальпебральной доли в двух ортогональных проекциях. На следующем этапе выполняли УЗИ орбитальной доли СЖ с измерением ее диаметра.

С этой целью ультразвуковой датчик перемещали вверх, располагая его под верхней границей орбиты в верхненаружной области для В-сканирования в поперечной проекции.

КТ орбит проводили в аксиальной, коронарной и сагиттальной проекциях. Толщина среза составляла 1,0 мм. При визуализации СЖ в аксиальной и коронарной проекциях различий между пальпебральной и орбитальной долями не отмечали, поэтому измерения проводили по общей осевой длине и толщине железы. В сагиттальной проекции измеряли отдельно пальпебральную долю и длину орбитальной доли.

Статистический анализ результатов исследования проводился с использованием стандартного пакета программы GraphPad Prism, версия 8.00 для Windows (GraphPad Software, Inc). Для определения распределения полученных данных использовался тест Shapiro — Wilk's. Межгрупповые различия множественных данных анализировали с применением однофакторного ANOVA-теста с поправкой Tukey. Для сравнения двух групп применяли t-критерий Стьюдента. Для оценки зависимостей изменения размеров СЖ между двумя методами исследования применяли корреляционный Pearson-анализ.

РЕЗУЛЬТАТЫ

У всех обследуемых при проведении УЗИ пальпебральная доля СЖ определялась периокулярно над верхним сводом конъюнктивы в верхненаружном квадранте орбиты в виде треугольного образования с четкими контурами. Орбитальная доля СЖ на эхограмме имела округлую форму и четкие контуры на фоне мелкозернистой, однородной и более рефлективной орбитальной клетчатки. Эхогенность обеих долей СЖ была средней, эхоструктура — гомогенной (рис. 1, А, Б).

У взрослых лиц наименьшие значения биометрических показателей СЖ были установлены в 1-й группе и составили $8,48 \pm 0,5$ и $2,2 \pm 0,1$ мм для пальпебральной доли и $13,47 \pm 0,48$ мм для орбитальной доли соответственно. Следует отметить, что достоверных изменений между параметрами пальпебральной доли в 1-й и 2-й группах не отмечалось. Однако в 3-й группе у лиц в возрасте от 60 до 90 лет выявлено увеличение диаметра и толщины пальпебральной доли СЖ на 9,0 и 6,6 % соответственно по сравнению с таковыми показателями в 1-й и 2-й группах. Кроме того, в старшей возрастной группе отмечены наибольшие значения параметров орбитальной доли СЖ, средний размер которой составил $16,02 \pm 0,15$ мм, что на 12,0 и 7,2 % больше,

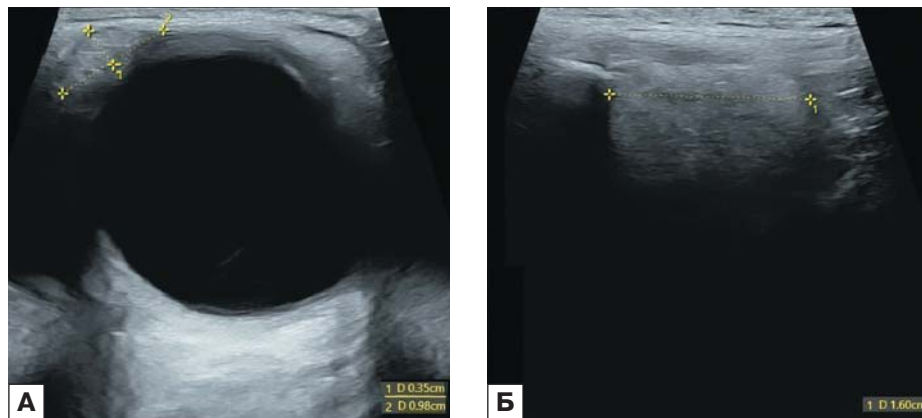


Рис. 1. Эхограмма слезной железы в норме. А — пальпебральная доля; Б — орбитальная доля

Fig. 1. Echogram of the lacrimal gland in norm. А — the palpebral lobe; Б — the orbital lobe

Таблица 1. Средние биометрические показатели слезной железы у взрослых здоровых лиц
Table 1. Mean biometric indices of the lacrimal gland in healthy adults

Группы, возраст, лет Groups, age, yrs	Пальпебральная доля Palpebral lobe		Орбитальная доля Orbital lobe
	диаметр, мм diameter, mm M ± s [ДИ]	толщина, мм thickness, mm M ± s [ДИ]	диаметр, мм diameter, mm M ± s [ДИ]
1 — 18–40 n = 20	8,48 ± 0,40 [7,9–8,9]	3,2 ± 0,2 [2,8–3,5]	13,47 ± 0,48 [12,9–14,0]
2 — 40–60 n = 20	8,63 ± 0,25 [8,4–9,0]	3,50 ± 0,16 [3,3–3,7]	14,96 ± 0,45* [14,5–15,5]
3 — 60–90 n = 20	9,44 ± 0,44** [9,0–10,0]	3,9 ± 0,3* [3,4–4,2]	16,02 ± 0,15** [16,0–16,3]

Примечание. n — число пациентов; * — $p < 0,01$; ** — $p < 0,001$ — достоверность относительно показателей в 1-й группе.

Note. n — number of patients; * — $p < 0.01$; ** — $p < 0.001$ — reliability of indices relative to the 1st group.

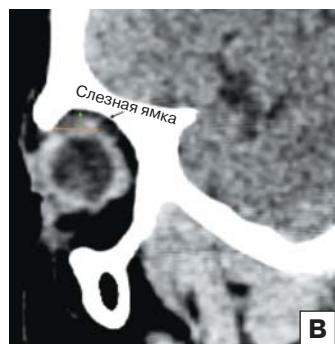


Рис. 2. КТ-изображение слезной железы. А — аксиальный срез; Б — коронарный срез; В — сагиттальный срез пальпебральной части; Г — сагиттальный срез орбитальной части

Fig. 2. CT image of the lacrimal gland. A — axial scan; Б — coronal scan; В — sagittal scan of the palpebral lobe; Г — sagittal scan of the orbital lobe

чем в 1-й и 2-й группах соответственно (табл. 1).

В связи с представленной дифференцированной визуализацией пальпебральной и орбитальной долей СЖ нами был предложен новый метод стандартизированного количественного анализа КТ-изображения. Аксиальные срезы ориентировали параллельно ходу зрительного нерва, что являлось унифицированным подходом для всех обследуемых. Коронарные проекции получали под прямым углом к аксиальным срезам. Сагиттальная плоскость проходила перпендикулярно к вышеуказанным проекциям. Благодаря такой технике, визуализация СЖ осуществлялась в трех проекциях. Размер железы в аксиальной плоскости (длина) соответствовал дистанции

от наиболее удаленной точки по оси до ближайшей точки переднего контура СЖ. Ширину СЖ в этой проекции измеряли по оси под прямым углом от внутреннего до наружного контура (рис. 2, А). В коронарной проекции ширину СЖ определяли как наибольшее расстояние между ее внутренним и наружным контуром перпендикулярно длине (рис. 2, Б). Пальпебральная доля в сагиттальной плоскости представляла собой структуру треугольной формы, прилегающую к главному яблоку в верхнелатеральном сегменте. Измеряли длину пальпебральной доли вдоль контура глазного яблока и ширину — перпендикулярно отрезку, соответствующему длине (рис. 2, В). Орбитальная доля СЖ в этой проекции характеризовалась округлыми очертаниями, и ее косопоперечный диаметр определяли между костными стенками орбиты в проекции слезной ямки (рис. 2, Г).

Результаты КТ показали, что максимальные средние значения длины СЖ наблюдались в 1-й группе. В аксиальной проекции этот показатель составил $15,1 \pm 2,4$ мм, в коронарной — $16,2 \pm 2,4$ мм. Важно подчеркнуть, что статистически значимой разницы в размерах СЖ между 1-й и 2-й группами не выявлено. Однако в 3-й группе у лиц в возрасте от 60 до 90 лет регистрировали уменьшение среднего показателя длины СЖ в аксиальной проекции на 5,5 % по сравнению с таковым в 1-й и 2-й группах. При исследовании длины и ширины СЖ в коронарной плоскости статистически достоверных различий этих показателей между всеми тремя группами не наблюдалось (табл. 2).

Анализ биометрических показателей СЖ, полученных в сагиттальной плоскости, показал возрастассоциированное увеличение ее размеров. Статистически достоверных различий размеров СЖ в 1-й группе по сравнению со 2-й группой обнаружено не было ($p > 0,05$). Однако в 3-й группе отмечалось увеличение среднего значения длины на 11,36 % и ширины пальпебральной доли СЖ — на 17,2 % по сравнению с показателями в 1-й группе. Средние биометрические параметры орбитальной доли СЖ в 3-й группе были статистически достоверно больше по сравнению с таковыми в 1-й и 2-й группах (табл. 3).

В нашем исследовании впервые были определены биометрические показатели СЖ у здоровых лиц разного возраста с помощью метода КТ в трех проекциях сканирования. Анализ результатов УЗИ продемонстрировал сопоставимость средних значений эхографических биометрических характеристик с данными КТ в сагиттальной плоскости. Установлена высокая достоверная корреляция между средними

Таблица 2. Средние биометрические показатели слезной железы у взрослых здоровых лиц по данным КТ аксиального и коронарного сканирования

Table 2. Average biometric parameters of the lacrimal gland in healthy adults according to CT axial and coronal scans

Группы, возраст, лет Groups, age, yrs	Аксиальная проекция Axial scan		Коронарная проекция Coronal scan	
	длина, мм length, mm M ± s [ДИ]	ширина, мм width, mm M ± s [ДИ]	длина, мм length, mm M ± s [ДИ]	ширина, мм width, mm M ± s [ДИ]
1 — 18–40 n = 20	15,1 ± 2,4 [12,7–18,0]	5,0 ± 1,1 [3,8–6,3]	16,2 ± 2,4 [13,6–18,9]	5,0 ± 1,0 [3,9–6,0]
2 — 40–60 n = 20	14,8 ± 2,6 [12,1–17,9]	4,9 ± 1,1 [3,8–6,1]	16,4 ± 2,6 [13,7–18,9]	4,9 ± 1,0 [3,7–6,1]
3 — 60–90 n = 20	14,0 ± 2,5* [11,3–16,7]	4,9 ± 1,0 [3,7–6,1]	16,1 ± 2,5 [13,5–18,8]	4,8 ± 1,2 [3,6–6,0]

Примечание. n — число пациентов; * — $p < 0,1$ — достоверность относительно показателей в 1-й группе

Note. n — number of patients; * — $p < 0.1$ — reliability of indices relative to the 1st group.

Таблица 3. Средние биометрические показатели слезной железы у взрослых здоровых лиц по данным КТ сагиттального сканирования

Table 3. Average biometric parameters of the lacrimal gland in healthy adults according to CT sagittal scanning

Группы, возраст, лет Groups, age, yrs	Сагиттальный срез слезной железы Sagittal scan of the lacrimal gland		
	пальпебральная доля palpebral lobe		орбитальная доля orbital lobe
	длина, мм length, mm M ± s [ДИ]	ширина, мм width, mm M ± s [ДИ]	длина, мм length, mm M ± s [ДИ]
1 — 18–40 n = 20	8,3 ± 0,7 [7,6–9,0]	3,1 ± 0,3 [2,7–3,5]	13,9 ± 1,0 [12,8–14,9]
2 — 40–60 n = 20	8,5 ± 0,6 [7,9–9,2]	3,3 ± 0,2 [2,9–3,6]	14,5 ± 1,3* [13,1–15,9]
3 — 60–90 n = 20	9,3 ± 0,6* [8,6–10,1]	3,8 ± 0,3* [3,5–4,2]	15,6 ± 1,2** [14,7–16,8]

Примечание. n — число пациентов; * — $p < 0,1$; ** — $p < 0,01$ — достоверность относительно показателей в 1-й группе.

Note. n — number of patients; * — $p < 0.1$; ** — $p < 0.01$ — reliability of indices relative to the 1st group.

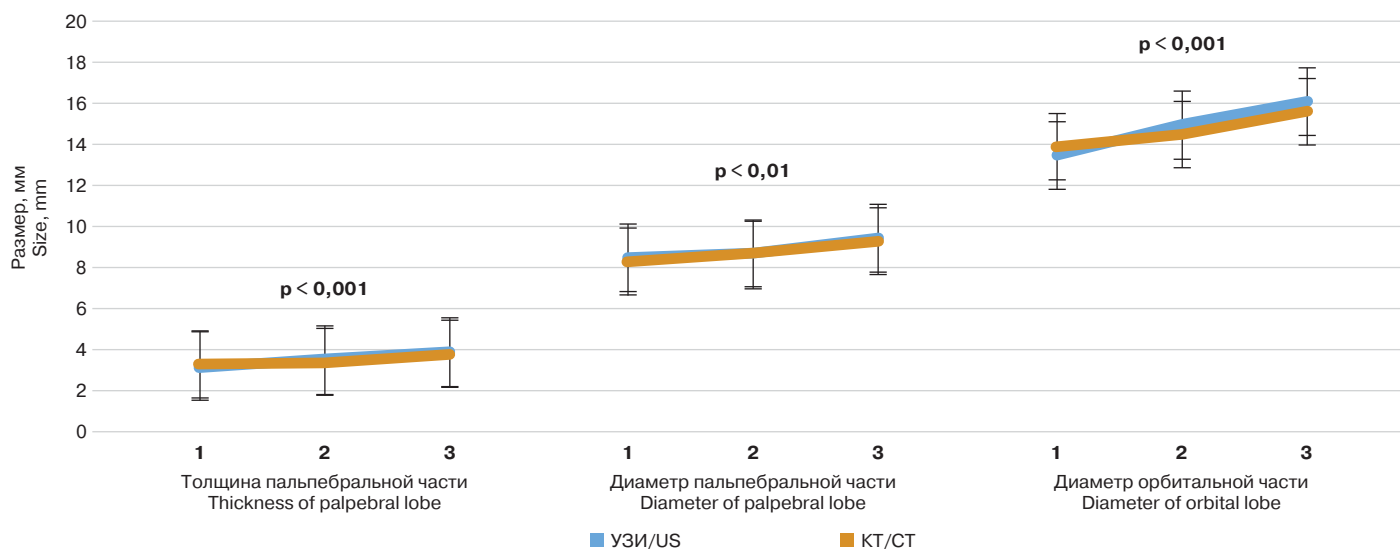


Рис. 3. Сравнительный анализ биометрических параметров СЖ, полученных с помощью УЗИ и КТ. 1, 2, 3 — номера возрастных групп
Fig. 3. Comparative analysis of biometric parameters of LG obtained by ultrasound and CT. 1, 2, 3 — age group numbers

показателями длины и ширины пальпебральной доли ($p < 0,001$ и $p < 0,01$ соответственно) и орбитальной доли ($p < 0,001$) при использовании двух разных методов исследования (рис. 3). С помощью УЗИ и КТ были установлены возрастные изменения размеров СЖ. Сопоставимость размеров СЖ при проведении эхографии и КТ стала возможной лишь при дифференцированном подходе к ее исследованию по предложенной нами методике, поскольку при УЗИ и в сагиттальной проекции КТ четко визуализируются пальпебральная и орбитальная доли СЖ.

ОБСУЖДЕНИЕ

Известно, что золотым стандартом для диагностики заболеваний орбиты, в том числе патологии СЖ, являются КТ и МРТ. Полученные нами средние биометрические параметры СЖ с помощью КТ оказались сопоставимыми с результатами исследования S. Nawaz и соавт. [6], которые представили среднюю длину орбитальной доли СЖ ($15,46 \pm 1,97$ мм) у здоровых лиц в возрасте от 30 до 60 лет. Близкие по значению средние размеры СЖ (от 14,6 до 16,2 мм) были получены K. Rana и соавт. [9] при проведении МРТ у 211 взрослых здоровых лиц. В работе V. Dalvi и соавт. [10] при обследовании 512 здоровых лиц в возрасте от 20 до 60 лет с помощью МРТ средний диаметр пальпебральной доли составил $13,20 \pm 1,35$ мм, ее толщина — $3,5 \pm 0,99$ мм и средний диаметр орбитальной доли — $16,1 \pm 2,4$ мм, что согласуется с нашими результатами, полученными при проведении КТ.

Таблица 4. Средние показатели биометрических параметров слезной железы, полученных с помощью компьютерной томографии у здоровых лиц в разных популяциях
Table 4. The average values of the biometric parameters of the lacrimal gland obtained by computed tomography in healthy individuals of different populations

Авторы Authors	Аксиальный срез Axial scan		Коронарный срез Coronal scan	
	длина, мм length, mm	ширина, мм width, mm	длина, мм length, mm	ширина, мм width, mm
J. Lee и соавт. [13]	14,7	4,3	20,7	3,8
E. Bulbul и соавт. [12]	16,0	4,0	18,3	4,1
S. Danjem, A. Salaam [11]	14,5	4,1	20,8	3,0
Данные нашего исследования Data of our study	15,1	5,0	16,2	5,0

В то же время в литературе имеются сведения о различиях параметров аксиальной длины СЖ с полученными нами данными. Так, при обследовании орбит с помощью КТ у лиц негроидной расы средняя аксиальная длина правой и левой СЖ составила 14,6 и 14,5 мм, а ширина — 2,9 и 3,0 мм соответственно — они оказались ниже значений, полученных нами и другими авторами [11]. Е. Bulbul и соавт. [12] при проведении КТ в Турции у здоровых взрослых лиц получили следующие средние параметры правой и левой СЖ: аксиальная длина — 16,2 мм, ширина — 4,1 мм справа и аксиальная длина — 16,0 мм, ширина — 4,0 мм слева. В исследовании J.S. Lee и соавт. [13] средние показатели длины СЖ в аксиальной и коронарной проекциях составили 14,7 и 17,7 мм соответственно и ширины СЖ — 5,1 и 5,2 мм соответственно (табл. 4). Данные, полученные в рамках нашего исследования, демонстрируют различия показателей длины и ширины СЖ на КТ в аксиальной и коронарной проекциях с результатами исследований, выполненных в Корее и Турции. Вероятно, здесь следует отметить роль различных методов измерения биометрических показателей, а также этнические и возрастные особенности исследуемых популяций, которые могут оказывать влияние на полученные результаты.

Следует отметить, что исследование размеров СЖ в сагиттальном срезе ранее не проводилось, что требовало дополнительного изучения этого вопроса.

В отличие от ранее представленных работ в литературе, нами впервые выполнена оценка биометрических характеристик пальпебральной и орбитальной долей СЖ у взрослых здоровых лиц разных возрастных групп с использованием двух разных методов визуализации орбиты. Для адекватной сравнительной оценки размеров СЖ нами предложен новый подход к измерению пальпебральной и орбитальной долей в сагиттальной проекции КТ. Кроме того, впервые выполнен дифференцированный подход к УЗИ долей СЖ (пальпебральной и орбитальной), который показал, что с возрастом преимущественно увеличивается орбитальная доля, что соответствует результатам КТ в сагиттальной плоскости. В работе К. Nat и соавт. [14] при анализе патоморфологических образцов СЖ 81 донора в возрасте от 26 до 89 лет (средний возраст составил $67,26 \pm 12,67$ года) было установлено увеличение доли соединительной и жировой ткани железы, связанное с возрастом. Авторы отмечали снижение плотности ацинусов и, как следствие, увеличение размеров железы у пожилых лиц, что согласуется с представленными нами эхографическими данными и результатами КТ.

Ввиду ограниченного числа публикаций, посвященных визуализации СЖ, требуется проведение дополнительных исследований ее анатомических и структурных особенностей. В настоящее время УЗИ представляется наиболее

доступным и информативным методом для достижения этой цели. Ввиду сопоставимости данных, полученных при исследовании СЖ с использованием КТ и УЗИ, эхография может быть рекомендована для широкого применения в клинической практике. Для обеспечения объективной интерпретации эхографических изображений СЖ необходимы данные о биометрических параметрах пальпебральной и орбитальной долей в норме у здоровых лиц различных возрастных групп.

Ограничением нашего исследования явилось отсутствие сравнительной биометрической оценки парных СЖ.

Кроме того, мы не проводили исследование СЖ с помощью МРТ, что остается перспективным направлением дальнейших исследований.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Эхография является доступным, неинвазивным и высокоинформативным методом исследования СЖ. Нормативные показатели размеров пальпебральной и орбитальной частей СЖ сопоставимы с данными КТ, являющейся золотым стандартом диагностики заболеваний орбиты. Эхографические биометрические и структурные характеристики железы в норме у взрослых лиц разного возраста могут быть использованы в качестве критериев для ранней диагностики заболеваний СЖ.

Литература/References

1. Киселева Т.Н., Зайцев М.С., Зайцева А.А., Луговкина К.В. Возможности ультразвукового исследования для оценки биометрических характеристик слезной железы в норме у лиц разного возраста. *Российский офтальмологический журнал*. 2025; 18 (1): 30–5. [Kiseleva T.N., Zaitsev M.S., Zaitseva A.A., Lugovkina K.V. Possibilities of ultrasound examination for assessing biometric characteristics of the lacrimal gland in normal individuals of different ages. *Russian ophthalmological journal*. 2025; 18 (1): 30–5 (In Russ.)]. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2025-18-1-30-35>
2. Киселева Т.Н., Зайцев М.С., Луговкина К.В., Зайцева А.А. Эхография слезной железы: исторические аспекты и возможности современных технологий. *Российский офтальмологический журнал*. 2025; 18 (3): 3–6. [Kiseleva T.N., Zaitsev M.S., Lugovkina K.V., Zaitseva A.A. Sonography of the lacrimal gland: historical aspects and possibilities of modern technologies. *Russian ophthalmological journal*. 2025; 18 (3): 3–6 (In Russ.)]. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2025-18-3-6>
3. Нероев В.В., Киселева Т.Н., ред. Ультразвуковые исследования в офтальмологии: руководство для врачей. 1-е изд. Москва: ИКАР; 2019. [Neroev V.B., Kiseleva T.N., eds. *Ultrasound in Ophthalmology: A Guide for Physicians*. Moscow: IKAR. 2019 (In Russ.)].
4. Давыдов Д.В., Серова Н.С., Какорина О.А., Павлова О.Ю. Сравнительное исследование объемов орбит по данным мультиспиральной компьютерной томографии. *Офтальмологические ведомости*. 2024; (2): 41–51. [Davydov D.V., Serova N.S., Kakorina O.A., Pavlova O.Yu. Comparative study of orbital volumes according to multispiral computed tomography data. *Ophthalmology reports*. 2024; 17 (2): 41–51 (In Russ.)]. <https://doi.org/10.17816/OV630330>
5. Давыдов Д.В., Серова Н.С., Павлова О.Ю. Современные возможности применения компьютерной томографии в диагностике травматических повреждений орбиты. *Офтальмологические ведомости*. 2022; 1 (1): 39–47. [Davydov D.V., Serova N.S., Pavlova O.Y. Modern capabilities of the computed tomography in orbital traumatic injuries diagnosis. *Ophthalmology reports*. 2022; 15 (1): 39–47 (In Russ.)]. <https://doi.org/10.17816/OV106092>
6. Nawaz S, Lal S, Butt R, et al. Computed tomography evaluation of normal lacrimal gland dimensions in the adult Pakistani population. *Cureus*. 2020; 24 (123): 7393. <https://doi.org/10.7759/cureus.7393>
7. Tamboli DA, Harris MA, Hogg JP, et al. Computed tomography dimensions of the lacrimal gland in normal Caucasian orbits. *Ophthalmic Plast Reconstr Surg*. 2011; 27 (6): 453–6. <https://doi.org/10.1097/IOP.0b013e31821e9f5d>

8. Idowu BM, Onigbinde SO, Chen AL, et al. Relationship between the computed tomographic volumetry of the eyeballs and lacrimal glands in a Nigerian population. *J West Afr Coll Surg*. 2022; 12 (1): 34–40. <https://doi.org/10.4103/jwas>
9. Rana K, Juniat V, Patel S. Normative lacrimal gland dimensions by magnetic resonance imaging in an Australian cohort. *Orbit*. 2023; 42 (2): 157–60. <https://doi.org/10.1080/01676830.2022.2055085>
10. Dalvi VN, Ambhore A, Dhok AP, et al. Normal dimensions of the lacrimal gland on magnetic resonance imaging in Indian adult population: a retrospective study. *Pan Afr Med J*. 2023; 31 (45): 71. <https://doi.org/10.11604/pamj.2023.45.71.38213>
11. Danjem SM, Salaam AJ. Computed tomographic dimensions of the lacrimal gland in normal Nigerian orbits. *International Journal of Scientific and Research Publications*. 2016; 6 (1): 5–7. https://aditum.org/images/currentissue/1650279235Galley_Proof.pdf
12. Bulbul E, Yazici A, Yanik B, Yazici H, Demirpolat G. Evaluation of lacrimal gland dimensions and volume in Turkish population with computed tomography. *J Clin Diagn Res*. 2016; 10 (2): 6–8. <https://doi.org/10.7860/JCDR/2016/16331.7207>
13. Lee JS, Lee H, Kim JW, et al. Computed tomographic dimensions of the lacrimal gland in healthy orbits. *J Craniofac Surg*. 2013; 24 (3): 712–5. <https://doi.org/10.1097/SCS.0b013e31827fecc0>
14. Hat K, Kaştelan S, Planinić A, et al. Pathohistological features of the aging human lacrimal gland. *Croat Med J*. 2023; 64 (5): 307–19. <https://doi.org/10.3325/cmj.2023.64.307>

Вклад авторов в работу: А.А. Зайцева — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка данных, написание текста; Т.Н. Киселева — концепция и дизайн исследования, редактирование; М.С. Зайцев — сбор и обработка данных; анализ полученных данных, обзор литературы, написание текста; К.В. Луговкина — сбор и обработка данных, написание текста; С.Г. Бережнова — сбор, обработка и анализ данных.
Author's contribution: A.A. Zaitseva — study concept and design, data collection and processing, writing of the article; T.N. Kiseleva — study concept and design, editing of the article; M.S. Zaitsev — data collection, processing and analysis, literature review, writing of the article; K.V. Lugovkina — data collection and processing, writing of the article; S.G. Berezhnova — data collection, processing and analysis.

Поступила: 27.01.2026. Переработана: 25.02.2026. Принята к печати: 26.02.2026
 Originally received: 27.01.2026. Final revision: 25.02.2026. Accepted: 26.02.2026

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ/INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

ФГБУ «НМИЦ глазных болезней им. Гельмгольца» Минздрава России, ул. Садовая-Черногызская, д. 14/19, Москва, 105062, Россия

Алина Андреевна Зайцева — врач-офтальмолог первой категории взрослого консультативного поликлинического отделения

Татьяна Николаевна Киселева — д-р мед. наук, профессор, начальник отдела ультразвуковых исследований

Максим Сергеевич Зайцев — канд. мед. наук, научный сотрудник отдела ультразвуковых исследований

Ксения Вадимовна Луговкина — канд. мед. наук, старший научный сотрудник отдела ультразвуковых исследований

Светлана Григорьевна Бережнова — канд. мед. наук, заведующая рентгенологическим отделением

Для контактов: Максим Сергеевич Зайцев, zaicev1549@yandex.ru

Helmholtz National Medical Research Center of Eye Diseases, 14/19, Sadovaya-Chernogryzskaya St., Moscow, 105062, Russia

Alina A. Zaitseva — ophthalmologist of the adult advisory polyclinic department

Tatiana N. Kiseleva — Dr. of Med. Sci., professor, head of ultrasound department

Maxim S. Zaitsev — Cand. of Med. Sci., researcher of ultrasound department

Kseniya V. Lugovkina — Cand. of Med. Sci., researcher of ultrasound department

Svetlana G. Berezhnova — Cand. of Med. Sci., head of the X-ray department

For contacts: Maxim S. Zaitsev, zaicev1549@yandex.ru

Особенности биомеханики роговицы, внутриглазного давления и параметров переднего отрезка глаза при первичной глаукоме у коренных жителей Республики Саха (Якутия)

Е.К. Захарова^{1,2✉}, Т.Н. Малишевская³, И.П. Луцкан^{1,2}, Т.Р. Поскачина², Д.А. Федотов², С.А. Петров⁴

¹ Якутская республиканская офтальмологическая клиническая больница, ул. Свердлова, д. 15, Якутск, 677005, Россия

² Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, ул. Белинского, д. 58, Якутск, 677013, Россия

³ ФГБУ «НМИЦ глазных болезней им. Гельмгольца» Минздрава России, ул. Садовая-Черногрозская, д. 14/19, Москва, 105062, Россия

⁴ ФГБУН «Федеральный исследовательский центр «Тюменский научный центр» Сибирского отделения РАН», ул. Малыгина, д. 86, Тюмень, 625026, Россия

Исследование биомеханических свойств роговицы у пациентов различных этнических групп с первичной глаукомой представляется весьма актуальной задачей, поскольку может способствовать персонифицированному подходу к тактике ведения и лечения данных пациентов. Цель работы — изучить биомеханические свойства роговицы и параметры переднего сегмента глаза у коренных жителей Республики Саха (Якутия) (РС (Я)) с первичной глаукомой. Материал и методы. Исследовано 220 глаз 112 коренных жителей РС (Я) в возрасте $65,79 \pm 4,98$ года, из них 72 глаза с первичной закрытоугольной глаукомой (ПЗУГ), 70 глаз — с первичной открытоугольной глаукомой (ПОУГ) II–III стадии и 78 глаз — с неполной возрастной катарактой без глаукомы. Топографические параметры роговицы измеряли с помощью корнеотопографа Pentacam (Oculus). Биомеханические параметры, внутриглазное давление (ВГД), скорректированное ВГД (bIOP), индекс «напряжение — деформация» (SSI), параметр жесткости аппланации (SP-A1) определяли с помощью анализатора Corvis ST (Oculus, Германия). Результаты. Выявлена «тонкая» центральная толщина роговицы (ЦТР) у лиц без глаукомы и у пациентов с ПОУГ, однако биомеханические параметры свидетельствовали о повышенной жесткости роговицы: больные с ПОУГ имели более высокие значения SP-A1 и bIOP. У пациентов с ПЗУГ диагностирована «нормальная» ЦТР, однако биомеханические параметры были характерны для более эластичной роговицы в сравнении с лицами без глаукомы и с ПОУГ. Во всех трех группах выявлены высокие значения SSI, что связано с возрастом пациентов. При этом SSI в группе ПОУГ был ниже, чем в других группах, вероятно вследствие терапии аналогами простагландинов, которые снижают жесткость фиброзной оболочки глаза. Заключение. Выявленные различия параметров переднего сегмента глаз и биомеханики роговицы у пациентов с различными формами глаукомы позволят повысить эффективность динамического наблюдения и лечения.

Ключевые слова: биомеханические свойства роговицы; первичная глаукома; коренные жители Республики Саха (Якутия); корреляционный профиль

Конфликт интересов: отсутствует.

Прозрачность финансовой деятельности: никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

Для цитирования: Захарова Е.К., Малишевская Т.Н., Луцкан И.П., Поскачина Т.Р., Федотов Д.А., Петров С.А. Особенности биомеханики роговицы, внутриглазного давления и параметров переднего отрезка глаза при первичной глаукоме у коренных жителей Республики Саха (Якутия). Российский офтальмологический журнал. 2026; 19 (2): 62–70. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2026-19-2-62-70>

Features of biomechanics of the cornea, IOP and parameters of the eye anterior segment in primary glaucoma in the indigenous inhabitants of the Republic of Sakha (Yakutia)

Ekaterina K. Zakharova^{1,2✉}, Tatiana N. Malishevskaya³, Ivan P. Lutskan^{1,2},
Tamara R. Poskachina², Denis A. Fedotov², Sergey A. Petrov⁴

¹ Yakutsk Republican Ophthalmological Clinical Hospital, 15, Sverdlova St., Yakutsk, 677005, Russia

² Northeastern Federal University named after M.K. Ammosov, 58, Belinsky St., Yakutsk, 677013, Russia

³ Helmholtz National Medical Research Center of Eye Diseases, 14/19, Sadovaya-Chernogryazskaya St., Moscow, 105062, Russia

⁴ Federal Research Center "Tyumen Scientific Center" of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 86, Malygina St., Tyumen, 625026, Russia
katya1961@mail.ru

*The study of the biomechanical properties of the cornea in patients of different ethnic groups with primary glaucoma is very relevant and determines a personalized approach to the management and treatment of these patients. The purpose of the work is to study the biomechanical properties of the cornea and the parameters of the anterior segment of the eyes in patients with primary glaucoma of the indigenous inhabitants of the Republic of Sakha (Yakutia). **Materials and methods.** A total of 220 eyes of 112 native residents of the Republic of Sakha (Yakutia) aged 65.79 ± 4.98 years were examined, including 72 eyes with primary angle-closure glaucoma (PACG), 70 eyes with primary open-angle glaucoma (POAG) stages II–III, and 78 eyes with incomplete age-related cataracts without glaucoma. Corneal topographic parameters were measured using a Pentacam corneotopographer (Oculus). Intraocular pressure (IOP), corrected IOP (bIOP), biomechanical parameters including stress-strain index (SSI), and applanation stiffness parameter (SP-A1) were determined using a Corvis ST analyzer (Oculus, Germany). **Results.** A "thin" central corneal thickness (CCT) was found in individuals without glaucoma and in patients with POAG, but biomechanical parameters indicated increased corneal stiffness: patients with POAG had higher SP-A1 and bIOP values. Patients with PACG had a "normal" CCT, and biomechanical parameters indicated a more elastic cornea compared to individuals without glaucoma and POAG, which is probably a protective mechanism in people with a shallow anterior chamber from a potential increase in IOP. High SSI values were found in all three groups, which is related to the patients' age. However, the SSI in the POAG group was lower than in the other groups, likely due to therapy with prostaglandin analogues, which reduce the stiffness of the eye fibrous layer. **Conclusion.** The identified differences in the parameters of the eye anterior segment and corneal biomechanics in patients with various forms of glaucoma will improve the effectiveness of dynamic monitoring and treatment.*

Keywords: angle-closure glaucoma; epidemiology; disability; diagnostics; monitoring; clinical guidelines

Conflict of interest: there is no conflict of interest.

Financial disclosure: no author has a financial or property interest in any material or method mentioned

For citation: Zakharova E.K., Malishevskaya T.N., Lutskan I.P., Poskachina T.R., Fedotov D.A., Petrov S.A. Features of biomechanics of the cornea, IOP and parameters of the eye anterior segment in primary glaucoma in the indigenous inhabitants of the Republic of Sakha (Yakutia). Russian ophthalmological journal. 2026; 19 (2): 62–70 (In Russ.). <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2026-19-2-62-70>

В настоящее время количество больных глаукомой в мире составляет 105 млн человек, и, по прогнозам ВОЗ, к 2030 г. это количество увеличится еще на 10 млн [1–7].

Как показали результаты эпидемиологического исследования [8, 9], в Российской Федерации (РФ) распространенность первичной закрытоугольной глаукомы (ПЗУГ) в субъектах РФ различна, это связано с неоднородностью этнического состава населения, проживающего на территории субъекта. ПЗУГ преобладает у женщин (66,6 %), средний возраст дебюта заболевания составляет в среднем 59,5 года. Показана высокая доля ПЗУГ (8,2 %) и частоты острого приступа (19,5 %) в субъектах РФ, которые приняли участие в эпидемиологическом исследовании [9].

Оценка распространенности глаукомы в Республике Саха (Якутия) (РС(Я)) за 20-летний период — с 2003 по 2022 г. — выявила рост интенсивного показателя первичной заболеваемости глаукомой на 22,6 % (со 106,9 до 138,6 на 100 тыс. взрослого населения), что выше средних по-

казателей РФ на 30 % [9]. По данным регистра «Глаукома» РС (Я), 79 % пациентов с глаукомой составляют представители коренного населения, преобладает закрытоугольная форма (51,4 %). Особенности глаукомы среди коренного населения РС (Я) остаются малоизученными.

Ведущим фактором развития и прогрессирования глаукомы является повышение уровня внутриглазного давления (ВГД) выше индивидуально переносимого. Достижение целевых значений уровня ВГД для сохранения зрительных функций у больных глаукомой до сих пор остается актуальной проблемой [10]. Существенное влияние на точность определения ВГД с помощью тонометрии оказывают биомеханические свойства фиброзной оболочки глаза. Проведено большое количество клинических и теоретических исследований, посвященных изучению влияния биомеханических свойств роговицы и ее центральной толщины на показатели ВГД, полученные при измерении различными тонометрами [11, 12].

Центральная толщина роговицы (ЦТР) играет важную роль в интерпретации ВГД и прогнозировании прогрессирования заболевания. Так, тонкая роговица (ЦТР < 520 мкм) дает ложно заниженные показатели ВГД и повышает риск поздней диагностики глаукомы, так как реальное давление недооценивается. Толстая роговица (ЦТР > 560 мкм) дает ложно завышенные значения ВГД. При ЦТР 600 мкм истинное ВГД может быть на 4–6 мм рт. ст. ниже измеренного, что может приводить к гипердиагностике глаукомы и необоснованному лечению [13].

В работах Е.Н. Иомдиной и соавт. [14, 15] установлено, что корнеосклеральная капсула пациентов с ПОУГ является более жесткой, плотной и менее проницаемой, что связано с избыточным накоплением экстрацеллюлярного матрикса (ЭЦМ) и коллагена, деградация которого затруднена из-за нарушенного метаболизма соединительнотканной оболочки. В других исследованиях выявлено, что у пациентов с подозрением на первичное закрытие угла передней камеры чаще обнаруживалась сниженная жесткость роговицы в сравнении с лицами без глаукомы [16].

Значительная вариабельность анатомических и морфологических параметров роговицы и склеры определяет разнообразие биомеханических свойств фиброзной оболочки глаз в популяции. Одной из важных задач современной офтальмологии является оценка независимого вклада биомеханики роговицы и ВГД в реакцию глаза на механические раздражители и обеспечение точных измерений для надлежащего мониторинга пациентов с глаукомой [12].

Показано, что тонкая роговица ассоциирована с более быстрым прогрессированием глаукомной оптической нейропатии (ГОН) даже при нормализованном ВГД [17].

Изучение биомеханики роговицы *in vivo* началось в 2005 г. с появлением устройства для двунаправленной аппланации, позволяющего оценивать деформацию роговицы на основе сигналов инфракрасного света, — ORA (Reichert Ocular Instruments, Нью-Йорк) [18, 19]. Ряд авторов в своих работах высоко оценивают значение динамического анализатора Corvis ST для изучения ВГД с учетом жесткости роговицы [19–21]. Предполагают, что высокая жесткость роговицы отражает высокую перипапиллярную жесткость склеры, а значит, большую уязвимость головки зрительного нерва [22–24]. Недавние исследования выявили влияние жесткости роговицы (измеренной с помощью Corvis ST) на развитие и прогрессирование глаукомы [25–28]. В частности, доказано, что параметр жесткости аппланации (SP-A1) Corvis ST (высокое значение указывает на жесткость роговицы) является прогностическим показателем прогрессирования глаукомы [29].

Интересные исследования последних лет свидетельствуют о влиянии местной гипотензивной терапии на структуру роговицы и передние отделы склеры [28]. Выявлено, что под влиянием глазных капель аналогов простагландинов фиброзная оболочка глаза становится тоньше и мягче [23], предположительно за счет активации матриксной металлопротеиназы [30].

Гены, ассоциированные с толщиной роговицы (*FOXO1*, *FNDC3B*), также влияют на риск развития глаукомы [31]. Полиморфизм rs 4894535 в гене *FNDC3B* связан с уменьшением ЦТР и повышенным риском развития ПОУГ [32].

Другие исследователи связывают изменение биомеханических свойств фиброзной оболочки с изменением температуры окружающей среды, считая, что это частично обусловлено более низким систолическим артериальным давлением летом [33, 34].

В последнее десятилетие появились работы, связывающие изменение жесткости роговицы с возрастом, которое

происходит медленно с течением времени, вследствие чего оказывает меньшее влияние на роговицу, чем острые вариации ВГД [26, 35].

При подготовке данной статьи мы проанализировали ряд работ, связанных с изучением этнических особенностей толщины и биомеханики роговицы, ВГД и параметров переднего отрезка глаза в мире [36–38]. Так, у афроамериканцев средняя ЦТР — 520–535 мкм (на 20–30 мкм тоньше, чем у европейцев) [37]. Возможно, данный фактор риска связан с более высокой распространенностью глаукомы и ее агрессивным течением в этой популяционной группе.

У азиатской популяции ЦТР варьирует от 530 до 550 мкм, у японцев чаще выявляется нормотензивная глаукома [36–38]. У латиноамериканцев ЦТР близка к показателям толщины роговицы у европейцев (540–560 мкм) [37].

В зависимости от толщины и жесткости роговицы меняется и тактика динамического наблюдения и лечения. Так, у пациентов с тонкой роговицей рекомендуется чаще проводить оптическую когерентную томографию (ОКТ) и периметрию для раннего выявления прогрессирования. Лазерная трабекулопластика (SLT) менее эффективна при толстой роговице (> 580 мкм) из-за поглощения стромой лазерной энергии. При фильтрующих операциях у пациентов с тонкой роговицей выше риск гипотонии и хориоидальных отслоек в послеоперационном периоде. Минимально инвазивная хирургия (MIGS) предпочтительна при ЦТР < 500 мкм из-за меньшего риска осложнений [39].

Этнические особенности требуют дифференцированного подхода на всех этапах ведения глаукомы — от генетического консультирования до выбора хирургической тактики. Учет анатомии, фармакогенетики и социокультурного контекста позволяет улучшить прогноз и снизить риск прогрессирования глаукомы в уязвимых группах.

В связи с этим сравнительное исследование биомеханических свойств роговицы, стандартного и скорректированного ВГД у пациентов с первичной глаукомой и без глаукомы в различных этнических группах представляется нам весьма актуальным, так как определяет персонафицированный подход к тактике ведения и лечения пациентов с глаукомой.

ЦЕЛЬ работы — изучить особенности биомеханики роговицы, ВГД и параметров переднего отрезка глаза при первичной глаукоме у коренных жителей РС (Я).

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В исследование включены 112 коренных жителей РС (Я) (220 глаз) в возрасте $65,79 \pm 4,98$ года, обратившихся за медицинской помощью в Якутскую республиканскую офтальмологическую больницу.

Критериями исключения из исследования были: молодого возраста (до 40 лет); патология рефракции (миопия, гиперметропия, астигматизм) свыше 2,0 дптр; переднезадняя ось глаза (ПЗО) более 27,0 мм; использование контактных линз; любая патология роговицы (рубцы, помутнения, дистрофические изменения, кератоконус); хирургическое лечение глаз в анамнезе (по поводу катаракты и глаукомы, включая лазерную иридэктомию (ЛИЭ), витреоретинальные и рефракционные операции и др.); травмы и хронические воспаления глаз; общесоматические сопутствующие заболевания в стадии декомпенсации.

Исследуемые были разделены на 3 группы: 1-я группа — 36 пациентов с ПЗУГ (72 глаза) в возрасте $66,10 \pm 4,17$ года; 2-я группа — 35 пациентов с первичной открытоугольной глаукомой (ПОУГ) (70 глаз) в возрасте $63,75 \pm 7,67$ года и 3-я группа (контрольная) — 41 человек (78 глаз) без глаукомы с неполной возрастной катарактой в возрасте $67,52 \pm 3,10$ года.

В 1-й группе пациентов развитая стадия ПЗУГ была диагностирована в 63,8 %, далеко зашедшая — в 36,2 % случаев. Во 2-й группе пациентов развитая стадия ПОУГ была диагностирована в 60,0 % случаев, далеко зашедшая — в 40,0 %. В 3-й группе (контрольной) в 100,0 % была диагностирована неполная возрастная катаракта.

Медикаментозное лечение пациентам с глаукомой проводилось в 100 % случаев. Больные с ПЗУГ получали местную терапию ингибиторами карбоангидразы (64 %) или в комбинации с бета-блокаторами (36 %), в анамнезе у всех была выполнена ЛИЭ; с ПОУГ — аналогами простагландинов (60 %) или в комбинации с бета-блокаторами (40 %).

Помимо традиционных методов исследования (визометрии, тонометрии, биомикроскопии, офтальмоскопии, гониоскопии), всем пациентам выполняли компьютерную периметрию при помощи стандартных тестов на анализаторе поля зрения Twinfield 2 (Oculus, Германия). Оценивались общепринятые критерии: MD — средняя разница между нормальными значениями с поправкой на возраст, измеренными во всех точках теста; PSD — стандартное шаблонное отклонение (вариабельность дефектов), которое применяется для динамического контроля за развитием глаукоматозных дефектов; показатель суммарной чувствительности.

Томографические параметры переднего отрезка глаза: ЦТР, глубину передней камеры (ГПК), переднезадний размер (ПЗР) глазного яблока — измеряли с помощью анализатора переднего отрезка глаза — корнеотопографа Pentacam (Oculus, Германия).

Для оценки биомеханических параметров роговицы, стандартного и биомеханически скорректированного ВГД

(bIOP) использовали динамический анализатор Corvis ST (Oculus, Германия). Исследовали следующие показатели: SP-A1 — параметр жесткости, определяемый как отношение давления на роговицу к смещению вершины роговицы при первой аппланации; DA Ratio (DA) — соотношение амплитуд деформации роговицы на вершине и в 2-мм зоне как свидетельство степени жесткости роговицы; Integr. Radius — радиус роговицы, вписанный в вогнутую поверхность; Stress — Strain Index (SSI) — индекс «напряжения — деформации» роговицы; BGF — биомеханический глаукомный фактор, характеризующий риск развития глаукомы при низком ВГД.

Протокол исследования соответствовал этическим стандартам, изложенным в Хельсинкской декларации 1964 г., и был одобрен комитетом по этике ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова» Минобрнауки России (СВФУ).

Статистическая обработка результатов проводилась с использованием стандартного пакета программ статистического анализа SPSS 16.0 for Windows с обработкой данных методами вариационной статистики, включающими вычисление средних значений, стандартных отклонений, ошибок средних, коэффициента корреляции Пирсона. Критический уровень статистической значимости составлял менее 0,05. Данные с нормальным распределением были представлены в формате $M \pm m$, где M — среднее значение, m — стандартная ошибка среднего.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Различия анатомических и биомеханических параметров глаза у пациентов групп сравнения представлены в таблице.

Таблица. Показатели ПЗО, ЦТР, ГПК, ВГД Po, bIOP, биомеханических параметров фиброзной оболочки глаза и BGF у пациентов в группах сравнения

Table. Indicators of AL, CCT, ACD, IOP Po, bIOP, biomechanical parameters of the fibrous membrane of the eye and BGF in patients in the comparison groups

Показатели Parameters	ПЗО AL	ЦТР CCT	ГПК ACD	ВГД Po IOP Po	bIOP	DA ratio	Integr. Radius	SP-A1	SSI	BGF
Группа контроля Control group n = 78										
M	22,17	507,59	2,91	14,62	13,21	4,25	7,29	108,27	1,31	0,49
m	0,60	2,24	0,04	0,42	0,41	0,12	0,22	3,58	0,04	0,02
StD	5,26	19,77	0,34	3,69	3,65	1,07	1,97	31,61	0,36	0,21
ПОУГ POAG n = 70										
M	21,96	502,14	2,73*	15,90	14,28	3,50**	5,93**	97,29	1,17	0,47
m	0,81	3,62	0,06	0,88	0,85	0,20	0,35	5,56	0,07	0,03
StD	6,80	30,28	0,48	7,33	7,13	1,62	2,90	45,83	0,58	0,25
ПЗУГ PACG n = 72										
M	20,15	526,67***	2,54***	14,75	14,50	3,81	6,37*	96,21	1,23	0,36**
m	0,85	3,50	0,03	0,80	0,53	0,21	0,32	5,12	0,06	0,03
StD	7,21	29,76	0,29	6,83	4,54	1,76	2,70	43,48	0,55	0,29

Примечание. ПЗО — переднезадняя ось глаза, ЦТР — центральная толщина роговицы, ГПК — глубина передней камеры, ВГД Po — ВГД, измеренное методом стандартной бесконтактной тонометрии, bIOP — ВГД с учетом биомеханических свойств фиброзной оболочки глаза, DA Ratio — соотношение между амплитудой деформации роговицы на вершине и в 2-мм зоне, Integr. Radius (R) — радиус роговицы, вписанный в вогнутую поверхность, SP-A1 — отношение давления на роговицу к смещению вершины роговицы при первой аппланации, SSI — индекс «напряжение — деформация», BGF — биомеханический глаукомный фактор, * — достоверность различия по сравнению с контролем $p < 0,05$; ** — $p < 0,01$; *** — $p < 0,01$.

Note. AL — axial length of the eye, CCT — central corneal thickness, ACD — anterior chamber depth, IOP Po — IOP, measured by standard contactless tonometry, bIOP — IOP, taking into account the biomechanical properties of the fibrous membrane of the eye, DA Ratio — the ratio between the amplitude of corneal deformation at the apex and in the 2-millimeter zone, Integr. Radius (R) — the radius of the cornea inscribed in the concave surface, SP-A1 — the ratio of corneal pressure to corneal apex displacement at first appplanation, SSI — the stress-strain index, BGF — biomechanical glaucoma factor, * — the significance of the difference compared with the control, * — $p < 0.05$; ** — $p < 0.01$; *** — $p < 0.01$.

Группы отличались неравным гендерным распределением: в группе ПЗУГ преобладали женщины — 83,3 %, мужчин было 16,7 %; в группе ПОУГ женщин было 65,7 %, мужчин — 34,3 %, в группе контроля гендерный состав различался незначительно: женщин было 51,2 %, мужчин — 48,7 %. Данные свидетельствуют о более частом выявлении заболевания у женщин, особенно с ПЗУГ, что соответствует данным мировых исследований [2, 4].

Согласно градации толщины роговицы [40], в нашем исследовании у пациентов с ПОУГ и в контрольной группе выявлена «тонкая» ЦТР ($502,14 \pm 30,28$ и $507,59 \pm 19,77$ соответственно), с ПЗУГ — «нормальная» ЦТР ($526,67 \pm 29,76$). Данные результаты подтверждают международные исследования об этнических особенностях ЦТР у лиц монголоидной расы, для которых характерны более «тонкие» роговицы [37, 41, 42].

У пациентов с ПЗУГ в сравнении с ПОУГ и у лиц без глаукомы выявлена более короткая ПЗО — $20,15 \pm 7,21$ мм, ЦТР — $526,66 \pm 29,76$ мкм и мелкая передняя камера — $2,54 \pm 0,29$ мм (см. таблицу). Причем значение ЦТР у лиц с ПЗУГ, по данным нашего исследования, было ниже в сравнении с другими азиатскими популяциями [37, 41, 42].

Сравнение биомеханических параметров роговицы показало, что у больных с ПЗУГ среднее значение SP-A1 значительно ниже ($96,21 \pm 43,48$), чем у лиц без глаукомы ($108,27 \pm 31,61$) и с ПОУГ ($97,29 \pm 45,83$). Полученные данные соответствуют результатам других исследований, в которых при ПЗУГ чаще выявлялась меньшая жесткость роговицы, чем у здоровых людей, что, возможно, является защитным физиологическим механизмом у лиц с мелкой передней камерой от потенциального повышения ВГД [43].

Низкие показатели биомеханических параметров — DA ($3,50 \pm 1,62$) и Integr. Radius ($5,93 \pm 2,90$) — зафиксированы в группе ПОУГ в сравнении с ПЗУГ ($DA = 3,81 \pm 1,76$; $R = 6,37 \pm 2,70$) и контрольной группой ($DA = 4,25 \pm 1,07$; $R = 7,29 \pm 1,97$). Повышенное значение показателя SP-A1 ($97,29 \pm 45,83$) при ПОУГ свидетельствует о повышенной жесткости роговицы и подтверждает результаты международных исследований, доказывающих высокую жесткость фиброзной оболочки глаза при ПОУГ [15, 21, 22, 25, 44].

SSI (см. таблицу) в норме принят за 1,0 в возрасте 50 лет [45]. В нашем исследовании выявлены повышенные значения SSI во всех группах: ПЗУГ — $1,23 \pm 0,55$; ПОУГ — $1,17 \pm 0,58$; в контрольной — $1,31 \pm 0,36$. Известно,

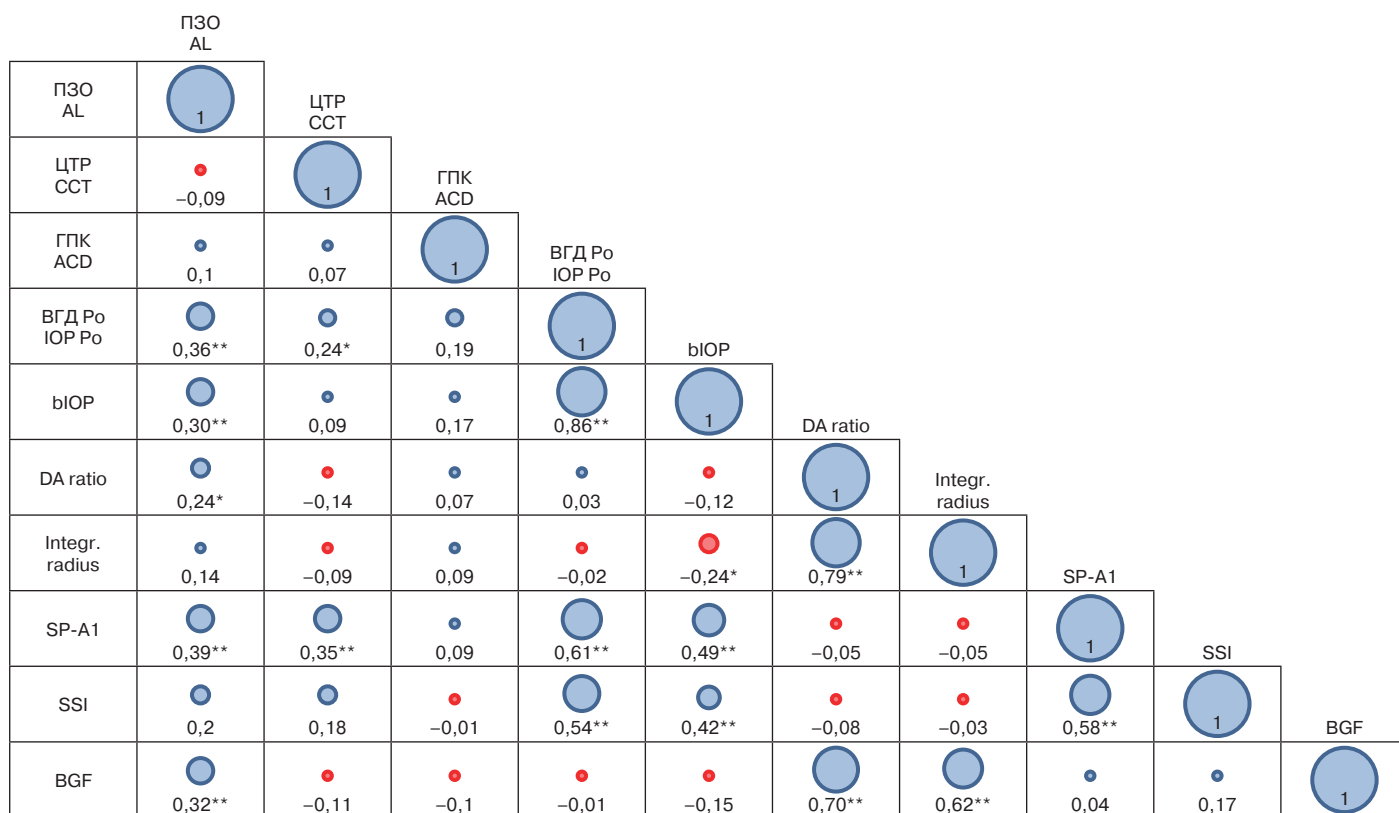


Рис. 1. Корреляционный профиль показателей ЦТР, ПЗО, ВГД и биомеханических индексов фиброзной оболочки глаза у пациентов с ПЗУГ. Здесь и на рисунках 2, 3: ПЗО — переднезадняя ось глаза; ЦТР — центральная толщина роговицы; ГПК — глубина передней камеры; ВГД Po — ВГД, измеренное методом стандартной бесконтактной тонометрии; bIOP — ВГД с учетом биомеханических свойств фиброзной оболочки глаза; DA Ratio — соотношение между амплитудой деформации роговицы на вершине и в 2-мм зоне, Integr. Radius (R) — радиус роговицы, вписанный в вогнутую поверхность; SP-A1 — отношение давления на роговицу к смещению вершины роговицы при первой аппланации; SSI — индекс «напряжение — деформация»; BGF — биомеханический глаукомный фактор; * — корреляция значима на уровне 0,05; ** — корреляция значима на уровне 0,01

Fig. 1. Correlation profile of the central corneal thickness, intraocular pressure (IOP Po), bIOP biomechanical indices of the fibrous membrane of the eye in patients with primary angle-closed glaucoma. Here and in the figures 2, 3: AL — axial length of the eye; CCT — central corneal thickness; ACD — anterior chamber depth; IOP Po — IOP, measured by standard contactless tonometry; bIOP — IOP, taking into account the biomechanical properties of the fibrous membrane of the eye; DA Ratio — the ratio between the amplitude of corneal deformation at the apex and in the 2-millimeter zone, Integr. Radius (R) — the radius of the cornea inscribed in the concave surface; SP-A1 — the ratio of corneal pressure to corneal apex displacement at first applanation; SSI — the stress-strain index; BGF — biomechanical glaucoma factor; * — correlation is significant at 0.05; ** — correlation is significant at 0.01

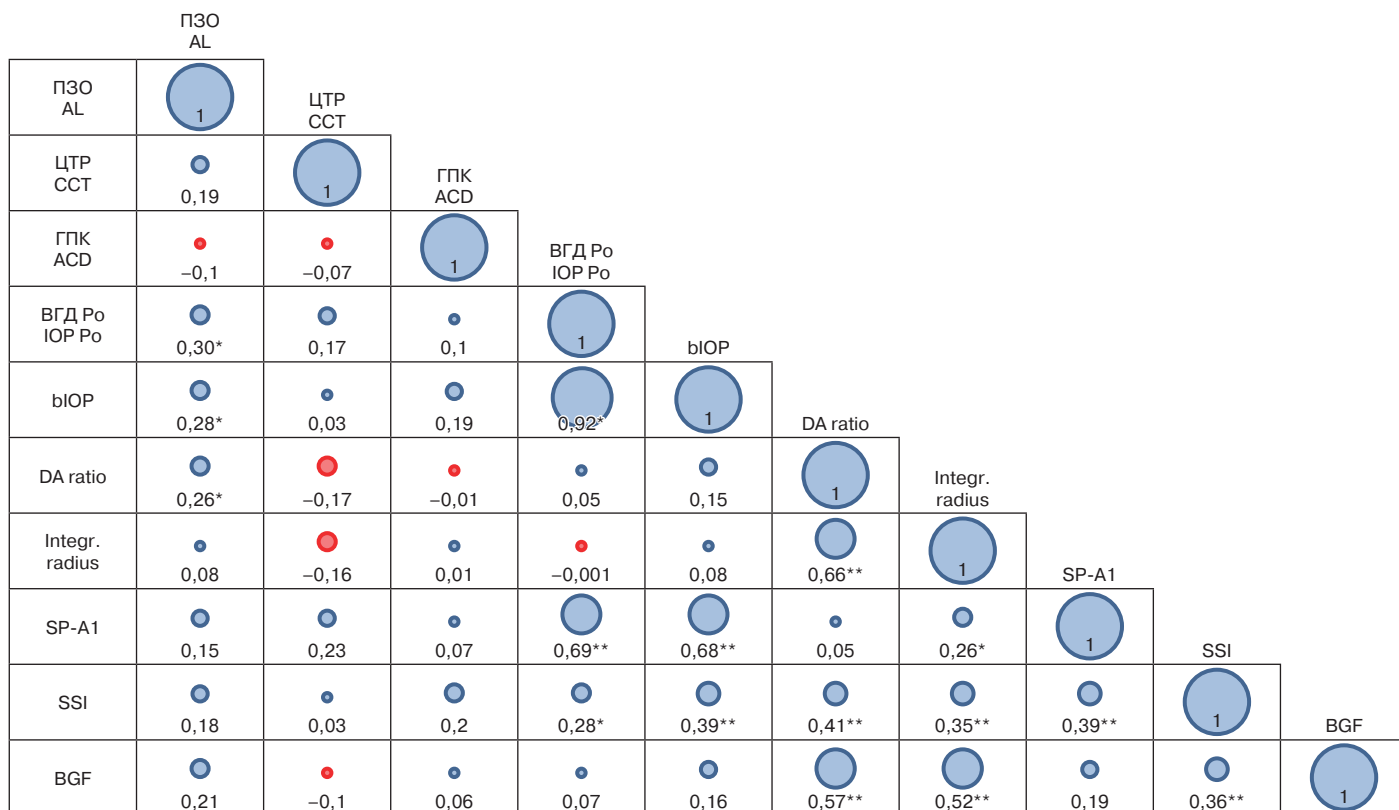


Рис. 2. Корреляционный профиль ЦТР, ПЗО, ВГД и биомеханических индексов фиброзной оболочки глаза у пациентов с ПОУГ
Fig. 2. Correlation profile of the central corneal thickness, intraocular pressure (IOP Po), bIOP biomechanical indices of the fibrous membrane of the eye in patients with primary angle-open glaucoma

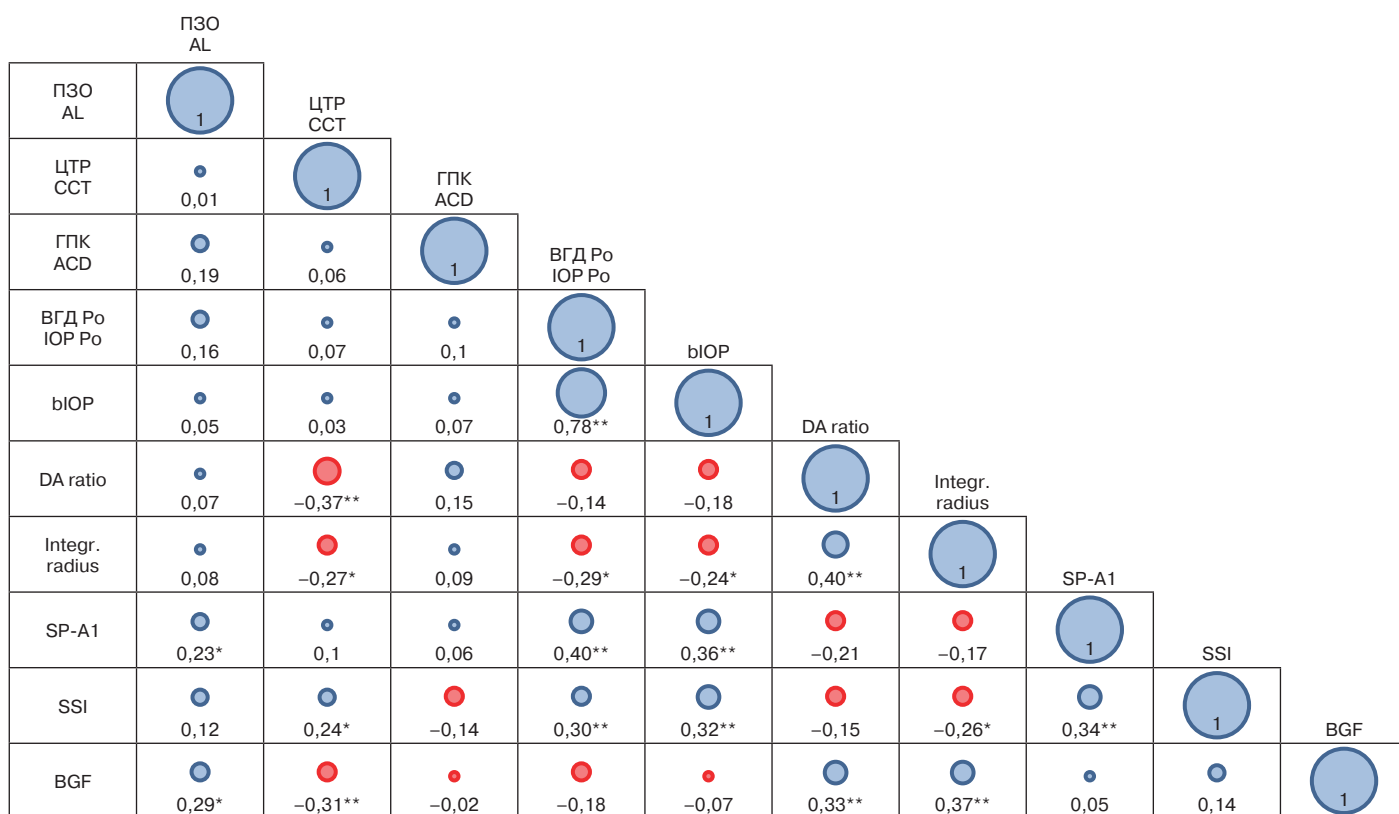


Рис. 3. Корреляционный профиль ЦТР, ПЗО, ВГД и биомеханических индексов фиброзной оболочки глаза у пациентов группы контроля
Fig. 3. Correlation profile of the central corneal thickness, intraocular pressure (IOP Po), bIOP biomechanical indices of the fibrous membrane of the eye in patients of the control group

что данный индекс напрямую коррелирует с возрастом [45]. Полученные нами данные подтверждают это утверждение. Самое высокое значение зарегистрировано в контрольной группе у пациентов, возраст которых был несколько выше ($67,52 \pm 3,10$ года), чем у пациентов групп сравнения. Другим фактором, который может влиять на жесткость роговицы и значение SSI в группе ПОУГ, является применение для местного гипотензивного лечения аналогов простагландинов [23]. Одним из возможных механизмов такого влияния может выступать активация матричных металлопротеиназ [46, 47].

BGF — биомеханический глаукомный фактор, применяется для скрининга на глаукому нормального давления (ГНД) и помогает в постановке и уточнении этого диагноза [24]. В нашем исследовании данный показатель был косвенным, поскольку обычно используется для выявления ГНД, хотя мы выявили его различия у пациентов с ПЗУГ и ПОУГ. Минимальные значения данного показателя встречались при ПЗУГ ($0,36 \pm 0,29$), максимальные — в группе контроля ($0,49 \pm 0,21$). В группе пациентов с ПОУГ этот показатель составил $0,47 \pm 0,25$.

Анализ корреляционных взаимосвязей изучаемых параметров у пациентов с ПЗУГ выявил (рис. 1), что наиболее сильные корреляции прослеживаются между уровнем исходного давления ВГД P_o ($14,75 \pm 6,83$ мм рт. ст.), а также bIOP ($14,50 \pm 4,54$ мм рт. ст.) и SP-A1 ($96,21 \pm 43,48$), значения которого ниже, чем в контроле и при ПОУГ, что вполне ожидаемо, так как на SP-A1 значительно влияет уровень ВГД P_o ($r = 0,61$ при $p < 0,01$) и ЦТР ($r = 0,35$ при $p < 0,01$). Выявлена также прямая корреляция показателя bIOP с SSI ($r = 0,42$ при $p < 0,01$), значение которого было ниже, чем при ПОУГ, но больше, чем в группе контроля. Выявлена и другая взаимосвязь: DA Ratio ($r = 0,70$ при $p < 0,01$), Integr. Radius ($r = 0,62$ при $p < 0,01$), значения которых были выше, чем в группе ПОУГ, с низким показателем BGF ($0,36 \pm 0,29$), что подтверждает наше предположение о менее жесткой роговице в группе ПЗУГ, чем ПОУГ, но более жесткой в сравнении с группой контроля.

Анализ корреляционных взаимосвязей изучаемых параметров у пациентов с ПОУГ (рис. 2) показал, что наиболее сильные корреляции прослеживаются между высоким значением ВГД P_o и bIOP ($r = 0,92$ при $p < 0,05$), значение которого было выше контроля и ниже, чем при ПЗУГ. Значение bIOP также напрямую коррелировало с параметром SP-A1 ($r = 0,68$ при $p < 0,01$), что свидетельствует о повышенной жесткости роговицы. Другая корреляция — низких показателей DA Ratio ($r = 0,57$ при $p < 0,05$) и Integr. Radius ($r = 0,52$ при $p < 0,01$) с повышенным BGF ($0,47 \pm 0,25$) — также свидетельствует о повышенной жесткости роговицы в группе ПОУГ в сравнении с ПЗУГ.

Анализ корреляционных взаимосвязей параметров пациентов группы контроля показал (рис. 3), что наиболее сильные корреляции прослеживаются между ВГД P_o ($14,62 \pm 3,69$) и bIOP ($13,21 \pm 3,65$), которые слабо коррелировали с показателем SP-A1 ($r = 0,40$ при $p < 0,01$ и $r = 0,36$ при $p < 0,01$ соответственно) и SSI ($r = 0,30$ при $p < 0,01$ и $r = 0,32$ при $p < 0,01$ соответственно), что объясняется более низкими значениями ВГД P_o и bIOP и свидетельствует о меньшей жесткости роговицы у пациентов без глаукомы.

Не выявлена значимая взаимосвязь показателей DA Ratio ($4,25 \pm 1,07$) и Integr. Radius ($7,29 \pm 1,97$), значения которых соответствуют менее жесткой роговице. Показатель BGF ($0,49 \pm 0,21$) оказался выше, чем у пациентов с глаукомой, что подтверждает наше предположение о менее жесткой роговице в группе контроля.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При анализе параметров переднего сегмента глаза у коренных жителей РС (Я) с первичной глаукомой выявлены особенности ЦТР, которая была «тонкой» у лиц без глаукомы и у пациентов с ПОУГ, однако биомеханические параметры глаз были характерны для жесткой фиброзной оболочки глаза. При этом при ПОУГ параметры жесткости были выше, что является неблагоприятным прогностическим признаком. Значения ЦТР у пациентов с ПЗУГ были в диапазоне нормы, но ближе к ее нижней границе, а биомеханические параметры были характерны для более эластичной роговицы, чем у лиц без глаукомы и с ПОУГ, что, возможно, является защитным механизмом от потенциального повышения ВГД у людей с более мелкой передней камерой.

Мы выявили высокие показатели SSI во всех трех группах, причем самое высокое значение зарегистрировано в группе контроля, что, возможно, свидетельствует о жесткой роговице у коренных жителей РС (Я) и является этнической особенностью данной популяции.

Обнаруженные корреляции свидетельствуют о взаимосвязи биомеханических свойств роговицы, ВГД и риска прогрессирования глаукомы в группах сравнения.

Учет этнических особенностей роговицы коренных жителей РС (Я) будет способствовать дифференцированному подходу к диагностике глаукомы, ее мониторингу, консервативному лечению, выбору хирургической тактики. Выявленные анатомические факторы и корреляционные взаимосвязи между биомеханическими свойствами роговицы и ВГД позволят более точно прогнозировать риск развития глаукомы и ее прогрессирования.

Литература/References

1. Quigley HA, Broman AT. The number of people with glaucoma worldwide in 2010 and 2020. *Br J Ophthalmol.* 2006; 90 (3): 262–7. doi: 10.1136/bjo.2005.081224
2. Tham YC, Li X, Wong TY, et al. Global prevalence of glaucoma and projections of glaucoma burden through 2040: a systematic review and meta-analysis. *Ophthalmology.* 2014; 121 (11): 2081–90. doi: 10.1016/j.ophtha.2014.05.013
3. Chan EW, Li X, Tham YC, et al. Glaucoma in Asia: regional prevalence variations and future projections. *Br J Ophthalmol.* 2016; 100 (1): 78–85. doi: 10.1136/bjophthalmol-2014-306102
4. Cheng JW, Zong Y, Zeng YY, Wei RL. The prevalence of primary angle closure glaucoma in adult Asians: a systematic review and meta-analysis. *PLoS One.* 2014; 9 (7): e103222. doi: 10.1371/journal.pone.0103222
5. Song P, Wang J, Bucan K, et al. National and subnational prevalence and burden of glaucoma in China: A systematic analysis. *J Glob Health.* 2017; 7 (2): 020705. doi: 10.7189/jogh.07.020705
6. Asia Pacific Glaucoma Guidelines: Kugler Publications; 2016.
7. Бакунина Н.А., Сотникова Ю.П., Куроедов А.В. и др. Эпидемиология, классификация и генетика закрытоугольной глаукомы. *Офтальмология. Восточная Европа.* 2021; 11 (4): 529–38. [Bakunina N.A., Sotnikova Yu.P., Kuroyedov A.V., et al. Epidemiology, classification and genetics of angle-closure glaucoma. *Ophthalmology. Eastern Europe.* 2021; 11 (4): 529–38 (In Russ.)]. doi: 10.34883/PI.2021.11.4.037
8. Нероев В.В., Михайлова Л.А., Малишевская Т.Н. и др. Эпидемиология глаукомы в Российской Федерации. *Российский офтальмологический журнал.* 2024; 17 (3): 7–12. [Neroev V.V., Mikhaylova L.A., Malishevskaya T.N., et al. Glaucoma epidemiology in the Russian Federation. *Russian ophthalmological journal.* 2024; 17 (3): 7–12 (In Russ.)]. https://doi.org/10.21516/2072-0076-2024-17-3-7-12
9. Нероев В.В., Малишевская Т.Н., Петров С.Ю. и др. Эпидемиологические особенности первичной закрытоугольной глаукомы в Российской Федерации. *Российский офтальмологический журнал.* 2025; 18 (1): 7–16. [Neroev V.V., Malishevskaya T.N., Petrov S.Yu., et al. Epidemiological features of primary angle-closure glaucoma in the Russian Federation. *Russian ophthalmological journal.* 2025; 18 (1): 7–16 (In Russ.)]. https://doi.org/10.21516/2072-0076-2025-18-1-7-16
10. Балалин С.В., Гушин А.В. Новые возможности исследования толерантного ВГД у больных первичной открытоугольной глаукомой с помощью автоматизированной офтальмотонографии. *Глаукома.*

- 2003; 3: 15–20. [Balalin S.V., Gushchin A.V. New opportunities for studying tolerant IOP in patients with primary open-angle glaucoma using automated ophthalmotonomophthalmography. *Glaucoma*. 2003; 3: 15–20 (In Russ.)].
11. Mollan SP, Wolffsohn JS, Nessim M, et al. Accuracy of Goldmann, Ocular Response Analyser, Pascal and TonoPen XL tonometry in keratoconic and normal eyes. *British Journal of Ophthalmology*. 2008; 92 (12): 1661–5. doi: 10.1136/bjo.2007.136473
12. Liu J, Roberts CJ. Influence of corneal biomechanical properties on intraocular pressure measurement: quantitative analysis. *J Refract Surg*. 2005; 31 (1): 146–55. doi: 10.1016/j.jcrs.2004.09.031
13. Егоров Е.А., Васина М.В. Влияние толщины роговицы на уровень внутриглазного давления среди различных групп пациентов. *РМЖ Клиническая офтальмология*. 2006; 1: 16–9. [Egorov E.A., Vasina M.V. Corneal thickness influence on the intraocular pressure level in the different groups of patients. *RMJ Clinical ophthalmology*. 2006; 1: 16–9 (In Russ.)].
14. Иомдина Е.Н., Бауэр С.М., Котляр К.Е. Биомеханика глаза: теоретические аспекты и клинические приложения. Москва: Реальное Время; 2015. [Iomdina E.N., Bauer S.M., Kotliar K.E. Eye biomechanics: theoretical aspects and clinical applications. Moscow: Real Time; 2015 (In Russ.)].
15. Иомдина Е.Н., Игнатьева Н.Ю., Данилов Н.А. и др. Биохимические и структурно-биомеханические особенности матрикса склеры человека при первичной открытоугольной глаукоме. *Вестник офтальмологии*. 2011; 6: 10–4. [Iomdina E.N., Ignatieva N.Y., Danilov N.A., et al. Biochemical and structural- biomechanical characteristics of the matrix of the sclera of a human with primary open-angle glaucoma. *Vestnik oftal'mologii*. 2011; 6:10–4 (In Russ.)]. PMID: 22442986.
16. Catania F, Morengi E, Rosetta P, et al. Corneal biomechanics assessment with ultra-high speed Scheimpflug Camera in primary open angle glaucoma compared with healthy subjects: A meta-analysis of the Literature. *Curr Eye Res*. 2023; 48 (2): 161–71. doi:10.1080/02713683.2022.2059809
17. Jonas JB, Stroux A, Velten I, et al. Central corneal thickness correlated with glaucoma damage and rate of progression. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2005; 46 (4): 1269–74. doi:10.1167/iov.04-0265
18. Luce DA. Determining in vivo biomechanical properties of the cornea with an ocular response analyzer. *J Cataract Refract Surg*. 2005; 31 (1): 156–62. doi: 10.1016/j.jcrs.2004.10.044
19. Ambrósio JrR, Ramos I, Luz A, et al. Dynamic ultra-high speed Scheimpflug imaging for assessing corneal biomechanical properties. *Rev Bras Oftalmol*. 2013; 72 (2): 99–102. doi: 10.1590/S0034-72802013000200005
20. Eliasy A, Chen KJ, Vinciguerra R, et al. Determination of corneal biomechanical behavior in vivo for healthy eyes using CorVis ST tonometry: Stress-Strain Index. *Front Bioeng Biotechnol*. 2019; 7: 105. doi: 10.3389/fbioe.2019.00105
21. Silva N, Ferreira A, Baptista PM, et al. Corneal biomechanics for ocular hypertension, primary open-angle glaucoma, and amyloidotic glaucoma: A comparative study by Corvis ST. *Clin Ophthalmol*. 2022; 16: 71–83. doi: 10.2147/OPTH.S3500295
22. Aoki S, Asaoka R, Fujino Y, et al. Comparison of two analyzer measurements focusing on material stiffness among normal, treatment-naïve, and treated glaucoma eyes. *Sci Rep*. 2023; 13 (1): 96. doi:10.1038/s41598-022-27346-w
23. Иомдина Е.Н., Киселева О.А., Арчаков А.Ю., Моисеева И.Н., Штейн А.А. Влияние аналогов простагландинов на биомеханические показатели корнеосклеральной оболочки глаза при первичной открытоугольной глаукоме. *Российский офтальмологический журнал*. 2017; 10 (1): 15–9. [Iomdina E.N., Kiseleva O.A., Archakov A.Yu., Moiseeva I.N., Stein A.A. The effect of prostaglandin analogues on biomechanical parameters of the corneoscleral membrane of the eye in primary open-angle glaucoma. *Russian ophthalmological journal*. 2017; 10 (1): 15–9 (In Russ.)]. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2017-10-1-15-19>
24. Pillunat KR, Herber R, Spoerl E, Erb C, Pillunat LE. A new biomechanical glaucoma factor to discriminate normal eyes from normal pressure glaucoma eyes. *Acta Ophthalmol*. 2019; 97 (7): e962–e967. doi:10.1111/aos.14115
25. Qassim A, Mullany S, Abedi F, et al. Corneal stiffness parameters are predictive of structural and functional progression in glaucoma suspect eyes. *Ophthalmology*. 2021; 128 (7): 993–1004. doi: 10.1016/j.ophtha.2020.11.021
26. Brazuna R, Alonso RS, Salomão MQ, Fernandes BF, Ambrósio R Jr. Ocular biomechanics and glaucoma. *Vision (Basel)*. 2023; 7 (2): 36. doi: 10.3390/vision7020036
27. Aoki S, Miki A, Omoto T, et al. Biomechanical glaucoma factor and corneal hysteresis in treated primary open-angle glaucoma and their associations with visual field progression. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2021; 62 (7): 4. doi: 10.1167/iov.62.7.4
28. Miki A, Yasukura Y, Weinreb RN, et al. Dynamic Scheimpflug ocular biomechanical parameters in untreated primary open angle glaucoma eyes. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2020; 61 (4): 19. doi: 10.1167/iov.61.4.19
29. Vinciguerra R, Elsheikh A, Roberts CJ, et al. Influence of pachymetry and intraocular pressure on dynamic corneal response parameters in healthy patients. *J Refract Surg*. 2016; 32 (8): 550–61. doi:10.3928/1081597X-20160524-01
30. Kim JW, Lindsey JD, Wang N, Weinreb RN. Increased human scleral permeability with prostaglandin exposure. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2001 Jun; 42 (7): 1514–21. PMID: 11381055.
31. Zhang J, Wu D, Dai Y, Xu J. Functional relevance for central cornea thickness-associated genetic variants by using integrative analyses. *BioData Min*. 2018; 11: 19. doi: 10.1186/s13040-018-0179-3
32. Bykhovskaya Y, Margines B, Rabinowitz YS. Genetics in keratoconus: where are we? *Eye Vis (Lond)*. 2016; 3: 16. doi: 10.1186/s40662-016-0047-5
33. Krebs JF, Hosari S, Lämmer R, et al. Intraocular pressure is influenced by ambient temperature in glaucoma patients. *Acta Ophthalmologica*. 2019; 97: 263. doi: 10.1111/j.1755-3768.2019.5200
34. Hartmann A, Grabitz SD, Hoffmann EM, et al. Intraocular pressure and its relation to climate parameters—results from the Gutenberg Health Study. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2023; 64 (7): 15. doi: 10.1167/iov.64.7.15
35. Brandt JD, Gordon MO, Beiser JA, et al. Ocular Hypertension Treatment Study Group. Changes in central corneal thickness over time: the ocular hypertension treatment study. *Ophthalmology*. 2008; 115 (9): 1550–6. doi: 10.1016/j.ophtha.2008.02.001
36. Wang D, Qi M, He M, Wu L, Lin S. Ethnic difference of the anterior chamber area and volume and its association with angle width. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2012; 53 (6): 3139–44. doi: 10.1167/iov.12-9776
37. Aghaia E, Choe JE, Lin S, Stamper RL. Central corneal thickness of Caucasians, Chinese, Hispanics, Filipinos, African Americans, and Japanese in a glaucoma clinic. *Ophthalmology*. 2004; 111 (12): 2211–9. doi: 10.1016/j.ophtha.2004.06.013
38. Джуматаева З.А. Этнические различия в параметрах головки зрительного нерва: данные оптической когерентной томографии. *Вестник офтальмологии*. 2007 май — июнь; 123 (3): 29–30. [Dzhumataeva ZA. Ethnic differences in the parameters of the head of the optic nerve: data of optical coherent tomography. *Vestnik oftal'mologii*. 2007 May — Jun; 123 (3): 29–30 (In Russ.)]. PMID: 17672092.
39. Jonas JB, Stroux A, Velten I, et al. Central corneal thickness correlated with glaucoma damage and rate of progression. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2005 Apr; 46 (4): 1269–74. doi: 10.1167/iov.04-0265
40. Балашевич Л.И., Качанов А.Б. Клиническая кернеотопография и аберрометрия. Москва: ФГУ МНТК «Микрохирургия глаза»; 2008 [Balashevich L.I., Kachanov A.B. Clinical corneotopography and aberrometry. Moscow: Federal State Institution MNTK “Microsurgery of the Eye”; 2008 (In Russ.)].
41. Congdon N, Wang F, Tielsch JM. Issues in the epidemiology and population-based screening of primary angle-closure glaucoma. *Surv Ophthalmol*. 1992; 36 (6): 411–23. doi:10.1016/s0039-6257(05)80022-0
42. Wang D, Amoozgar B, Porco T, Wang Z, Lin SC. Ethnic differences in lens parameters measured by ocular biometry in a cataract surgery population. *PLoS One*. 2017; 12 (6): 0179836. doi: 10.1371/journal.pone.0179836
43. Cui X, Yang Y, Li Y, et al. Correlation between anterior chamber volume and corneal biomechanical properties in human eyes. *Front Bioeng Biotechnol*. 2019; (7): 379. doi: 10.3389/fbioe.2019.00379
44. Coste V, Schweitzer C, Paya C, et al. Evaluation of corneal biomechanical properties in glaucoma and control patients by dynamic Scheimpflug corneal imaging technology. *J Fr Ophthalmol*. 2015; 38 (6): 504–13. doi: 10.1016/j.jfo.2015.01.007
45. Elsheikh A, Wang D, Brown M, et al. Assessment of corneal biomechanical properties and their variation with age. *Curr Eye Res*. 2007; 32 (1): 11–9. doi: 10.1080/02713680601077145
46. Wu N, Chen Y, Yu X, et al. Changes in corneal biomechanical properties after long-term topical prostaglandin therapy. *PLoS One*. 2016; 11 (5): 0155527. doi: 10.1371/journal.pone.0155527
47. Meda R, Wang Q, Paoloni D, Harasymowycz P, Brunette I. The impact of chronic use of prostaglandin analogues on the biomechanical properties of the cornea in patients with primary open-angle glaucoma. *Br J Ophthalmol*. 2017; 101 (2): 120–5. doi: 10.1136/bjophthalmol-2016-308432

Вклад авторов в работу: Е.К. Захарова — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка данных, написание и редактирование статьи; Т.Н. Малишевская — концепция и дизайн исследования, статистическая обработка данных, написание и редактирование статьи; И.П. Луцкан — концепция и дизайн исследования; Д.А. Федотов — сбор и обработка данных; С.А. Петров — статистическая обработка данных, редактирование статьи; Т.Р. Поскачина — редактирование статьи.

Author's contribution: E.K. Zakharova — concept and design of the study, data collection and processing, writing and editing of the article; T.N. Malishevskaya — concept and design of the study, statistical data processing, writing and editing of the article; I.P. Lutskan — concept and design of the study; D.A. Fedotov — data collection and processing; S.A. Petrov — statistical data processing, editing of the article; T.R. Poskachina — editing of the article.

Поступила: 24.03.2025. Переработана: 22.04.2025. Принята к печати: 23.04.2025

Originally received: 24.03.2025. Final revision: 22.04.2025. Accepted: 23.04.2025

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ/INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

¹Якутская республиканская офтальмологическая клиническая больница, ул. Свердлова, д. 15, Якутск, 677005, Россия

²Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, ул. Белинского, д. 58, Якутск, 677013, Россия

Екатерина Кимовна Захарова — канд. мед. наук, заведующая отделением высокотехнологичной помощи¹, доцент базовой кафедры офтальмологии², ORCID 0009-0004-9449-321X

Иван Петрович Луцкан — канд. мед. наук, главный врач¹, доцент базовой кафедры офтальмологии², ORCID 0000-0003-3440-1534

Тамара Романовна Поскачина — канд. мед. наук, доцент, заведующая базовой кафедры «Офтальмология»², ORCID 0009-0008-1520-9284

Денис Артурович Федотов — ординатор базовой кафедры «Офтальмология»², ORCID 0009-0004-5327-757X

ФГБУ «НМИЦ глазных болезней им. Гельмгольца» Минздрава России, ул. Садовая-Черногызская, д. 14/19, Москва, 105062, Россия

Татьяна Николаевна Малишевская — д-р мед. наук, заведующая отделением аналитической работы, ORCID 0000-0003-3679-8619

ФГБУН «Федеральный исследовательский центр «Тюменский научный центр» Сибирского отделения РАН», ул. Малыгина, д. 86, Тюмень, 625026, Россия

Сергей Анатольевич Петров — д-р мед. наук, профессор, главный научный сотрудник, ORCID 0000-0002-1566-2299

Для контактов: Екатерина Кимовна Захарова,
katya1961@mail.ru

¹Yakutsk Republican Ophthalmological Clinical Hospital, 15, Sverdlova St., Yakutsk, 677005, Russia

²Northeastern Federal University named after M.K. Ammosov, 58, Belinsky St., Yakutsk, 677013, Russia

Ekaterina K. Zakharova — Cand. of Med. Sci., head of the high-tech care department¹, associate professor, basic chair of ophthalmology², ORCID 0009-0004-9449-321X

Ivan P. Lutskan — Cand. of Med. Sci., head physician¹, associate professor, basic chair of ophthalmology², ORCID 0000-0003-3440-1534

Tamara R. Poskachina — Cand. of Med. Sci., associate professor, head of the basic chair of ophthalmology², ORCID 0009-0008-1520-9284

Denis A. Fedotov — Resident of chair of ophthalmology², ORCID 0009-0004-5327-757X

Helmholtz National Medical Research Center of Eye Diseases, 14/19, Sadovaya-Chernogryazskaya St., Moscow, 105062, Russia

Tatiana N. Malishevskaya — Dr. of Med. Sci., head of the department of analytics, ORCID 0000-0003-3679-8619

Federal Research Center «Tyumen Scientific Center» of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 86, Malygina St., Tyumen, 625026, Russia

Sergey A. Petrov — Dr. of Med. Sci., professor, principal researcher, ORCID 0000-0002-1566-2299

For contacts: Ekaterina K. Zakharova,
katya1961@mail.ru

<https://doi.org/10.21516/2072-0076-2026-19-2-71-77>



Отдаленные анатомо-функциональные результаты хирургического лечения отслойки сетчатки методом временного экстрасклерального баллонирования

А.Ю. Клейменов, В.Н. Казайкин, Т.Н. Евдокевич✉, М.А. Липина, А.В. Лизунов

АО ЕЦ МНТК «Микрохирургия глаза», ул. Академика Бардина, д. 4а, Екатеринбург, 620149, Россия

Цель работы — клинико-функциональный анализ результатов хирургического лечения отслойки сетчатки методом временного экстрасклерального баллонирования. **Материал и методы.** Операция экстрасклерального баллонирования проведена 30 пациентам (30 глаз) с регматогенной отслойкой сетчатки. Острота зрения до операции составила от 0,05 до 1,0 ($0,63 \pm 0,35$). Во время операции в субтеноновом пространстве формировался тоннель с заведением баллона в зону проекции разрыва сетчатки, затем баллон наполнялся физиологическим раствором до создания необходимого по высоте вала вдавления. В 1-е сутки после операции проводилась ограничительная лазерная коагуляция сетчатки по краю разрыва с использованием 3-зеркальной линзы Гольдмана. На 7-е сутки, после формирования хориоретинальных спаек, баллон плавно опорожнялся и удалялся. Контрольный осмотр проводился в 1-е сутки, через 1 нед, 1 мес и 12 мес после операции. Срок наблюдения составил от 1 до 8 лет ($5,12 \pm 2,4$ года). **Результаты.** Во всех случаях операция прошла без осложнений. В раннем послеоперационном периоде полное прилегание сетчатки было достигнуто у всех пациентов. В сроке от 1 нед до 3,5 года в 6 (20%) случаях отмечен рецидив отслойки сетчатки. Острота зрения в отдаленном послеоперационном периоде улучшилась в 17 (56,7%) случаях, в 10 (33,3%) — осталась без изменений, в 3 (10%) — снизилась. **Заключение.** Временное экстрасклеральное баллонирование до настоящего времени является эффективной актуальной методикой, обеспечивающей хорошие анатомические и функциональные результаты при лечении неосложненных форм отслойки сетчатки. Временное баллонирование можно рекомендовать пациентам с неосложненными формами отслойки сетчатки, при которых пролиферативная витреоретинопатия не превышает стадию А, отсутствуют тракции со стороны стекловидного тела на краю разрыва, сами разрывы находятся в пределах доступа формирующегося вала вдавления (на протяжении до 1 ч), ретинальный пигментный эпителий имеет достаточную пигментацию для надежных хориоретинальных спаек.

Ключевые слова: экстрасклеральное баллонирование; регматогенная отслойка сетчатки; отдаленные результаты

Конфликт интересов: отсутствует.

Прозрачность финансовой деятельности: никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

For citation: Клейменов А.Ю., Казайкин В.Н., Евдокевич Т.Н., Липина М.А., Лизунов А.В. Отдаленные анатомо-функциональные результаты хирургического лечения отслойки сетчатки методом временного экстрасклерального баллонирования. Российский офтальмологический журнал. 2026; 19 (2): 71-7. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2026-19-2-71-77>

Long-term anatomic-functional results of surgical treatment of retinal detachment by temporary extrасcleral ballooning method

Andrey U. Kleimenov, Viktor N. Kazaykin, Tatyana N. Evdokevich✉, Maria A. Lipina, Alexandr V. Lizunov

IRTC Eye Microsurgery Ekaterinburg Center, 4a, Academician Bardin St., Ekaterinburg, 620149, Russia
novoselova0708@gmail.com

Purpose of the study was to conduct a clinical and functional analysis of the results of surgical treatment of retinal detachment using temporary extrасcleral ballooning. **Material and methods.** Extrасcleral ballooning was performed in 30 patients (30 eyes) with rhegmatogenous retinal detachment. Preoperative visual acuity ranged from 0.05 to 1.0 (0.63 ± 0.35). During the surgery, a tunnel was formed in the sub-Tenon space with the introduction of a balloon into the projection area of the retinal break, then the balloon was filled with saline until the indentation required by the height of ridge of the buckle was created. On the first postoperative day, delimiting laser coagulation of the retina along the break margin was performed using a 3-mirror Goldmann lens. On the 7th day, after the formation of chorioretinal adhesions, the balloon was smoothly emptied and removed. The follow-up examination was performed on the first day, 1 week, 1 month and 12 months after the surgery. The follow-up period ranged from 1 year to 8 years (5.12 ± 2.4 years). **Results.** The surgery was without complications in all cases. In the early postoperative period, complete retinal reattachment was achieved in all patients. In the period from 1 week to 3.5 years, recurrent retinal detachment was noted in 6 cases (20%). Visual acuity in the late postoperative period improved in 17 cases (56.7%), remained unchanged in 10 (33.3%), and decreased in 3 (10%). **Conclusion.** Temporary extrасcleral ballooning is still an effective and relevant technique that provides good anatomical and functional results in the treatment of uncomplicated retinal detachment. Temporary ballooning can be recommended for patients with uncomplicated forms of retinal detachment, in which proliferative vitreoretinopathy does not exceed stage A, there is no traction from the vitreous body at the edge of the rupture, the ruptures themselves are within the access of the forming depression shaft (for up to 1 hour), and the retinal pigment epithelium has sufficient pigmentation for reliable chorioretinal adhesions.

Keywords: extrасcleral ballooning; rhegmatogenous retinal detachment; long-term results

Conflict of interest: there is no conflict of interest.

Financial disclosure: no author has a financial or property interest in any material or method mentioned.

Для цитирования: Kleymenov A.U., Kazaykin V.N., Evdokevicv T.N., Lipina M.A., Lizunov A.V. Long-term anatomico-functional results of surgical treatment of retinal detachment by temporary extrасcleral ballooning method. Russian ophthalmological journal. 2026; 19 (2): 71-77 (In Russ.). <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2026-19-2-71-77>

Регматогенная отслойка сетчатки (РОС) — заболевание, характеризующееся наличием разрыва сетчатки, через который жидкость из витреальной полости проникает в субретинальное пространство и отслаивает ее от подлежащих оболочек [1]. РОС является тяжелым заболеванием органа зрения, которое при отсутствии своевременного лечения приводит к слепоте и слабозрению [2]. Частота выявления РОС варьирует от 8,9 до 24,4 случаев в год на 100 тыс. человек, двусторонняя РОС наблюдается в 0,3–30,0% всех случаев РОС (в среднем 10,0%) [3].

На сегодняшний день в хирургии отслойки сетчатки (ОС) применяются два основных подхода: интраокулярный (витрэктомия с эндотампонадой, пневморетинопексия) и экстраокулярный (склеральное пломбирование, баллонирование) [4, 5]. Пневморетинопексия является наиболее быстрой, малотравматичной и малоинвазивной методикой, но с существенными ограничениями для применения: может быть эффективной при РОС с небольшим разрывом в верхнем секторе и без признаков пролиферативной витреоретинопатии (ПВР) [6]. Витрэктомия с эндотампонадой применяется при наиболее тяжелых ОС. При неосложненных случаях до сих пор актуально склеральное пломбирование (СП), имеющее анатомический успех в 97% случаев, чем обусловлено его достаточно широкое использование в развитых странах (от 10 до 40% всех операций по поводу РОС) [5, 7, 8]. СП эффективно при ОС у молодых пациентов (до 40 лет), отсутствии задней отслойки стекловидного тела (СТ), разрывах на периферии, ретинолизе, нижней локализации ПВР. Необходимо еще раз подчеркнуть, что эффективность СП проявляется только в неосложненных случаях (при ПВР не более С2 и др.), в осложненных случаях оно применяется только в качестве дополнительного хирургического этапа к витрэктомии (ВЭ) [9–12].

Поскольку пломбирование является экстраокулярной операцией, частота интраокулярных осложнений при его использовании встречается не часто: крайне редко индуцируется помутнение хрусталика (после ВЭ, напротив, катаракта в течение 1–2 лет развивается в 80% случаев), а ПВР после

экстраокулярного пломбирования (ЭСП) прогрессирует не чаще 2% случаев (после ВЭ — в 13,2–24,5%) [8, 13]. Однако при всех достоинствах методика СП не исключает развития ряда осложнений, среди которых к наиболее серьезным относятся передняя и задняя ишемия глазного яблока, протрузия, инфицирование и смещение пломбы, диплопия и косоглазие, изменение рефракции. Кроме того, сдавление глаза может вызывать болевой синдром и удлиняет период послеоперационной реабилитации [8, 14–16].

Наименее инвазивным видом экстраокулярных операций является временное баллонирование — для лечения ОС с одним разрывом или группой разрывов в пределах сектора протяженностью до 1 ч (6 мм по экватору) в передних 2/3 глаза. За счет сжатия между глазом и костной орбитой заполненный водой баллон удерживается в заданном месте без фиксирующих швов. Первые модели баллонов были изобретены Н. Lincoff и соавт. (1965) и W. Ноерпинг и соавт. (1967) на основе баллона-катетера, применяемого в сосудистой хирургии [17–19]. Они изготавливались из латекса, который вызывал выраженное раздражение тканей глаза, поэтому баллоны стали конструировать из силикона или из латекса с силиконовым покрытием, что придало им тканевую инертность. Надувной силиконовый баллон создает временный вал вдавления, который при блокировании ретинального разрыва приводит к рассасыванию субретинальной жидкости (СРЖ) даже при высоких и рецидивирующих ОС [6, 20]. Основным клиническим фактором для результативного исхода баллонирования — ранняя стадия ПВР и указанный выше характер разрывов, когда хирург уверен, что СРЖ будет динамично рассасываться после пломбирования разрыва, баллон будет надежно расположен весь период до формирования адгезии (обычно 7 сут), а сами хориоретинальные спайки после криопексии и лазерной коагуляции сетчатки (ЛКС) вокруг разрыва останутся достаточно прочными и после удаления баллона [18, 19]. На сегодняшний день первичное прилегание сетчатки после баллонирования составляет от 70 до 91%, из которых в 16% случаев в течение 1-го года возникают рецидивы ОС [21, 22]. В сравнении со склеральным пломбированием

баллонирование менее травматично, поскольку баллон присутствует временно, исключая ряд осложнений: протрузию пломбы, диплопию и ее инфицирование [23].

ЦЕЛЬ работы — клинико-функциональный анализ результатов хирургического лечения ОС методом временного экстрасклерального баллонирования (ЭСБ).

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

На базе Екатеринбургского центра МНТК «Микрохирургия глаза» с 2015 по 2023 г. выполнено проспективное исследование, включавшее 30 пациентов (30 глаз) с РОС, прооперированных методом временного ЭСБ. Исследование соответствовало требованиям Хельсинской декларации (в редакции 2003 г.), состояло из 2 частей: в 1-й части был проведен клинико-функциональный анализ результатов лечения во всей группе (30 глаз), во 2-й части — сравнительный клинико-функциональный анализ результатов лечения в группе с успешным анатомическим исходом и при рецидивах ОС.

В анализ вошли 9 (30%) мужчин и 21 (70%) женщина в возрасте от 15 до 74 лет ($53,3 \pm 13,69$ года). В 12 (40%) случаях был прооперирован правый глаз, в 18 (60%) — левый. Продолжительность РОС до операции составила от 4 до 21 дня ($13,17 \pm 5,62$ дня); отслойка с распространением на один квадрант — 20 (66,7%) глаз, 2 квадранта — 9 (30%) глаз, 3 квадранта — 1 (3,3%) глаз, с вовлечением макулярной области — 19 (63,3%) глаз. Из них РОС в верхневисочном секторе наблюдалась в 7 (23,4%) глазах, в верхненосовом — в 16 (53,3%), нижневисочном — в 3 (10,0%), нижненосовом — в 4 (13,3%). У всех пациентов разрывы локализовались в секторе протяженностью не более 1 ч. Острота зрения до операции составила от 0,05 до 1,0 ($0,63 \pm 0,35$), внутриглазное давление (ВГД) — от 8 до 19 мм рт. ст. ($14,16 \pm 3,13$ мм рт. ст.), длина переднезадней оси (ПЗО) глазного яблока — от 22,45 до 28,5 мм ($25,25 \pm 1,73$ мм). Артифакция наблюдалась в одном (3,3%) случае, факция — в 29 (96,7%). ПВР в стадии А отмечалась в 21 (70,0%) случае, стадии В — в 9 (30%) (по классификации R. Machemet и соавт., [24]). Предоперационный статус пациентов представлен в таблице 1. Срок наблюдения составил от 1 до 8 лет ($5,12 \pm 2,4$ года).

Из анамнеза: в одном (3,3%) случае — контузионная травма легкой степени тяжести, в 3 (10,0%) случаях проведена радиальная кератотомия, в одном (3,3%) — профилактическая периферическая ЛКС (ППЛКС). В 7 глазах (23,3%) РОС сопровождалась частичным гемофтальмом. В 4 (13,3%) случаях на парном глазу была выявлена периферическая витреохориоретинальная дегенерация (ПВХРД), во всех случаях проводилась ППЛКС.

Техника операции. Операция проводилась под местной анестезией (раствором оксибупрокаина 0,4% («Инокаин»)/проксиметакаина 0,5% («Алкаин») — эпибульбарно трехкратно с интервалом 3 мин). На первом этапе накладывались тракционные швы-держалки на мышцы, между которыми располагался разрыв. Далее с помощью склеродепрессора или наконечника криозонда и непрямого бинокулярного офтальмоскопа определялось местоположение разрыва сетчатки, проекция разрыва маркировалась хирургическим фломастером на поверхности конъюнктивы. В этом же меридиане в 1 и 7 мм от лимба на конъюнктиве отмечались еще две точки: первая — для уверенной фиксации оси разрыва, во второй выполнялся разрез конъюнктивы и теноновой капсулы длиной 2 мм. Край разрезанной теноновой оболочки с помощью фиксационного склерального пинцета захватывался и выводился наружу, а по линии вышеупомянутого меридиана для подведения баллона к зоне разрыва при помощи шпателя формировался канал протяженностью 3–4 мм

Таблица 1. Предоперационный статус пациентов
Table 1. Preoperative patients' status

Показатели Indicators	Группа Group n = 30
Возраст, лет Age, years	53,3 ± 13,7
Пол (мужчины/женщины) Gender (male/female)	9 (30%)/ 21 (70%)
Длительность отслойки сетчатки, дни Duration of retinal detachment, days	13,2 ± 5,6
Пролиферативная витреоретинопатия в стадии А Proliferative vitreoretinopathy stage A	21 (70%)
Пролиферативная витреоретинопатия в стадии В Proliferative vitreoretinopathy stage B	9 (30%)
Протяженность отслойки сетчатки Length of retinal detachment	
Менее ½ площади сетчатки Less than ½ the area of the retina	28 (93,3%)
Более ½ площади сетчатки More than ½ of the retinal area	2 (6,7%)
Включая макулу Macula-on	19 (63,3%)
Вне макулы Macula-off	11 (36,7%)
Факия Phakic	29 (96,7%)
Артифакция Pseudophakic	1 (3,3%)
Аксиальная длина глаза, мм Axial length, mm	25,3 ± 1,7
Острота зрения Visual acuity	0,6 ± 0,35
Внутриглазное давление, мм рт. ст. Intraocular pressure, mm Hg	14,2 ± 3,1
Травма в анамнезе History of trauma	1 (3,3%)

кзади от метки. Следующим этапом в сформированный канал вводился баллонный катетер (рис. 1). При механических препятствиях по ходу канала в некоторых случаях в катетер вставлялся плотный пластмассовый проводник.

После позиционирования в проекции разрыва баллон наполнялся солевым раствором (до 1,5 мл) под визуальным контролем появления вала вдавления и калибра центральной артерии сетчатки. Введение в баллон более 2 мл солевого раствора не допускалось, поскольку могло приводить к непроходимости центральной артерии сетчатки. Дренирование субретинального пространства не выполнялось. При правильном расположении баллона сформированный вал вдавления в большинстве случаев обеспечивал прилегание сетчатки и блокирование краев разрыва в 1-е сутки после операции (рис. 2, 3).

В первые сутки после операции при прилегании сетчатки проводилась отграничительная ЛКС по краю разрыва с использованием 3-зеркальной линзы Гольдмана. На 7-е сутки (после формирования хориоретинальных спаек) баллон плавно опорожнялся в 2 этапа с промежутком в 2 ч и удалялся (рис. 4) [25] <https://disk.yandex.ru/i/xNrENINLj7JA4A>

Контрольный осмотр проводился на 1-е сутки, через 1 нед, 1 мес и 12 мес после операции.

Статистический анализ выполнялся при помощи пакета прикладных программ Microsoft Office Excel 2019 для операционной системы Windows. Значения непрерывных

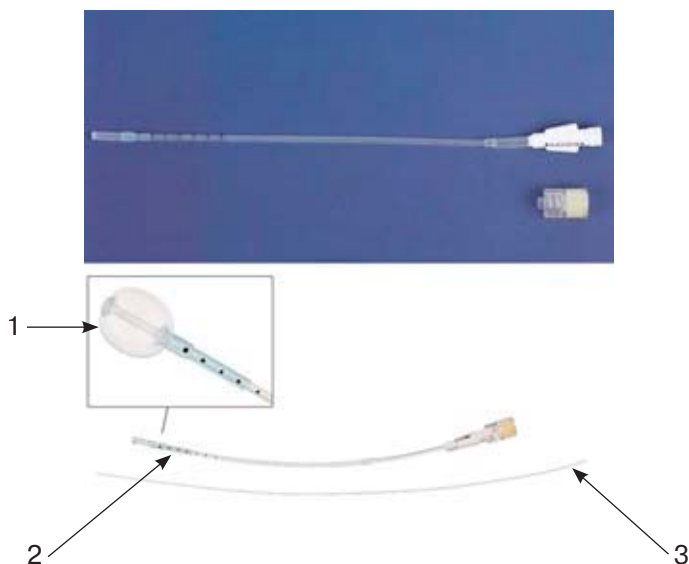


Рис. 1. Катетер баллонный силиконовый офтальмологический для склеропластических операций: 1 — раздувной баллон; 2 — силиконовая трубка с метками: 1-я в 15 мм от дистального конца баллона, последующие — в 5 мм друг от друга; 3 — пластмассовый проводник

Fig. 1. Ophthalmic silicone balloon catheter for scleroplastic operations: 1 — inflatable balloon; 2 — silicone tube with marks: 1st at 15 mm from the distal end of the balloon, the next ones at 5 mm from each other; 3 — plastic guidewire

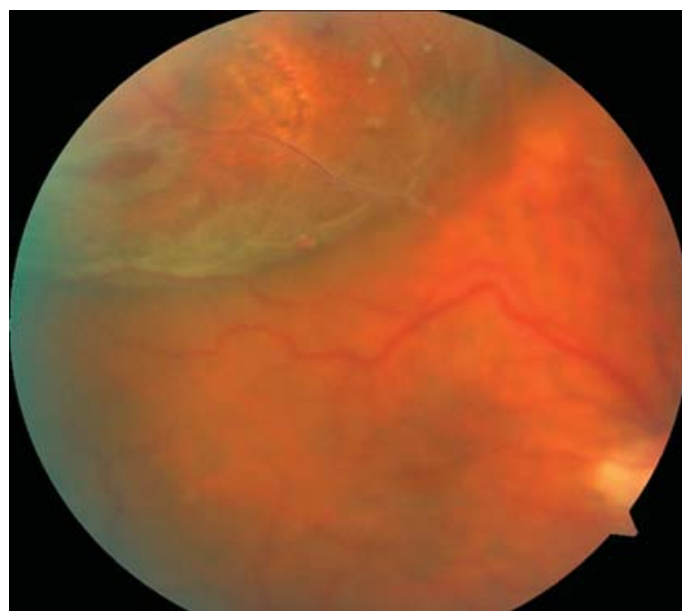


Рис. 2. Снимок глазного дна с помощью фундус-камеры в 1-е сутки после операции (сформированный вал вдавления, баллон в проекции разрыва, сетчатка прилежит на всем протяжении)

Fig. 2. A fundus camera image taken on the first day after surgery (a formed depression ridge, a balloon in the projection of the rupture, the retina is attached along its entire length)



Рис. 3. Эхограмма глазного яблока с установленным баллоном, сформированный вал вдавления

Fig. 3. Echogram of the eyeball with an installed balloon, formed depression shaft

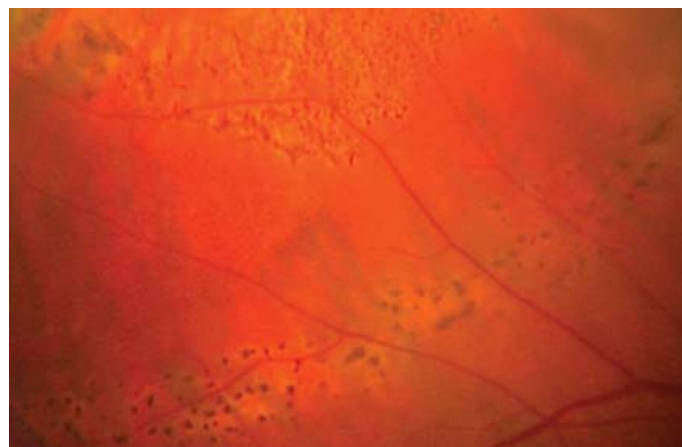


Рис. 4. Фундус-фото после ограничительной лазеркоагуляции сетчатки и удаления баллона

Fig. 4. Fundus photo after delimiting laser coagulation of the retina and removal of the balloon

величин представлены в виде $M \pm SD$, где M — выборочное среднее арифметическое, SD — стандартное отклонение.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Во всех случаях операция прошла без осложнений. В раннем послеоперационном периоде полное прилегание сетчатки было достигнуто у всех пациентов, были выявлены 3 (10%) случая офтальмогипертензии от 25 до 33 мм рт. ст. ($28,67 \pm 3,29$ мм рт. ст.), компенсированное гипотензивными каплями (рис. 5).

Поздние послеоперационные осложнения: рецидив отслойки сетчатки наблюдался в 6 (20%) случаях, сроки развития которого составили от 1 нед до 3,5 года, в 3 из них была выполнена ВЭ с газовой тампонадой, другим трем пациентам была выполнена ВЭ с силиконовой тампонадой.

Острота зрения в отдаленном послеоперационном периоде улучшилась в 17 (56,7%) случаях, в 10 (33,3%) — осталась без изменений, в 3 (10%) — снизилась (рис. 6).

Анализ рецидивов отслойки сетчатки. Предоперационный статус пациентов с успешным анатомическим исходом лечения и с рецидивами ОС представлен в таблице 2. Статистически значимых различий в статусе не выявлено ($p > 0,05$).

В группе рецидивов ОС в 2 случаях наблюдалась ПВР в стадии В, у одного пациента операция проводилась на глазу с артефакцией, в одном случае протяженность ОС охватывала более $\frac{1}{2}$ площади сетчатки, в одном случае ПЗО составила 26,9 мм. У 5 (83,3%) пациентов произошла разблокировка старых разрывов, в одном (16,7%) случае были обнаружены дополнительные разрывы. У всех этих пациентов были вы-

полнены операции по поводу рецидива: у 3 из них — ВЭ с газовой тампонадой, 3 пациентам — ВЭ с силиконовой тампонадой с дополнительной эндолазеркоагуляцией разрывов (5700 сСт) в сроки от 1 до 14 дней ($7,0 \pm 6,5$ дня). Сетчатка прилегла в 100% случаев, масло было удалено через 1–3 мес после операции ($1,8 \pm 1,0$ мес).

ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты нашего исследования подтверждают, что, несмотря на быстрое развитие витреоретинальной хирургии, вызванное в первую очередь совершенствованием технического оснащения, экстраокулярные методики, включая временное баллонирование, по-прежнему сохраняют свою актуальность в лечении РОС. По мнению многих хирургов, в совершенстве владеющих интраокулярной техникой, представляется разумным выполнять именно витреальную операцию даже в самых простых случаях, и объясняется такой подход полным интраоперационным контролем и практически 100%-ным анатомическим успехом. Кроме того, при такой нозологической форме витреальная операция выгодно отличается быстротой воспроизводимости, особенно если сравнивать с ЭСБ, которое требует длительной и очень хорошей диагностической подготовки.

Однако, по данным литературы, витреальная хирургия даже при несложных формах ОС сопряжена с развитием ряда осложнений, среди которых к наиболее серьезным относятся прогрессирование ПВР (8–20%) и появление новых ретинальных разрывов (5–15%), кроме того, частым осложнением интраокулярной хирургии является развитие катаракты [6].

Эффективность временного баллонирования представлена в ограниченном количестве исследований, поскольку данная процедура не пользуется в настоящее время популярностью, прилегание сетчатки в раннем периоде наблюдения варьирует от 71,7 до 91,0%, а в течение первого года у 16,0% успешно прооперированных больных возникает рецидив заболевания [17, 22]. Данные нашего исследования хорошо коррелируют с литературными: прилегание сетчатки в 1-е послеоперационные сутки достигнуто в 100,0% случаев, рецидив ОС наблюдался в 20,0%.

Для статистически значимого анализа причин полученных результатов мы не обладали достаточным объемом выборки пациентов, поэтому можем только предполагать, что причинами рецидивов заболевания, скорее всего, являются предоперационная ПВР выше стадии А, артефакция, протяженность ОС более $\frac{1}{2}$ площади всей сетчатки.

Важнейшим условием, определяющим эффективность ЭСБ и его преимущества перед интраокулярными операциями и операциями СП, является хорошее владение

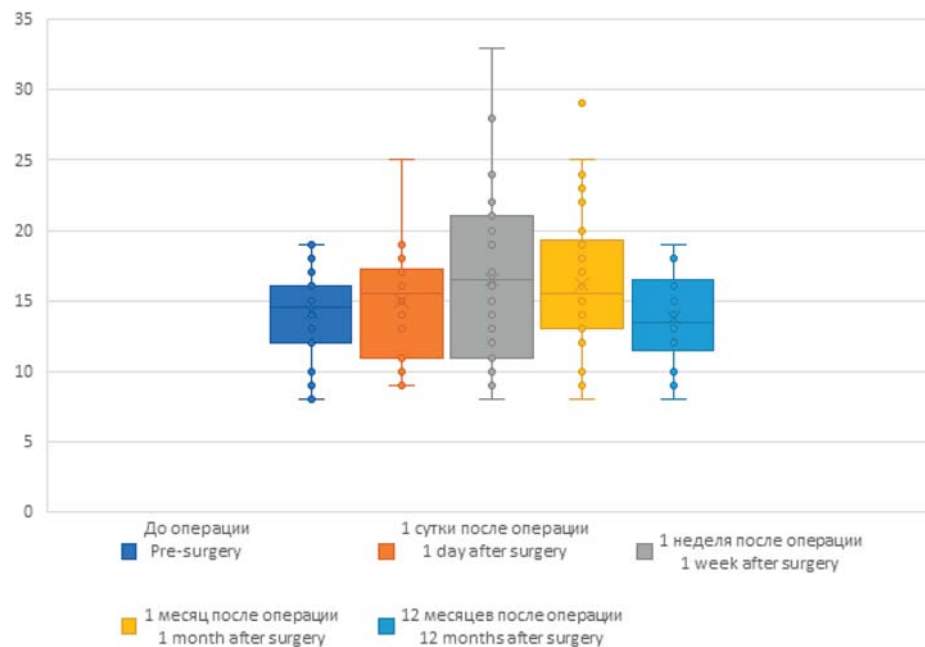


Рис. 5. Динамика внутриглазного давления (мм рт. ст.) за период наблюдения
Fig. 5. Changes of intraocular pressure (mm Hg) over the follow-up period

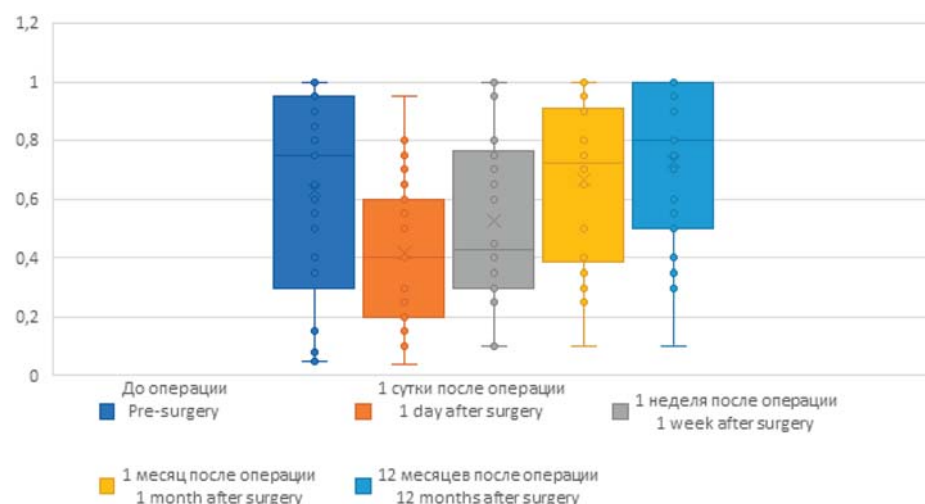


Рис. 6. Динамика остроты зрения за период наблюдения
Fig. 6. Changes in visual acuity over the follow-up period

диагностическими навыками, умение доктора не только локализовывать все ретинальные разрывы, но и правильно оценивать степень витреоретинальной пролиферации, состояние ретинального пигментного эпителия и слоя хориокапилляров, т. е. на этапе диагностики определять возможность блокирования разрывов при помощи баллона и правильно оценивать предполагаемую состоятельность будущих хориоретинальных спаек после планируемой криопексии и/или ЛКС, а также способность насосной функции подлежащих оболочек дренировать СРЖ. Владение такими навыками не только позволило бы избежать дискредитации данной методики, но и в полной мере свидетельствовало бы о высокой квалификации витреоретинального доктора, ее применяющего.

Кроме того, в настоящее время не менее важным является относительно невысокая себестоимость данного вида

операции и короткий срок послеоперационной реабилитации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Временное ЭСБ до сих пор является эффективной актуальной методикой, обеспечивающей хорошие анатомические и функциональные результаты при лечении неосложненных форм ОС, исключает осложнения, характерные для склеральной пломбы и интраокулярной хирургии, обладает существенно меньшей себестоимостью. Временное баллонирование можно рекомендовать пациентам с неосложненными формами ОС, при которых ПВР не превышает стадию А, отсутствует тракционное воздействие на края разрыва со стороны СТ, сами разрывы находятся в пределах доступа формирующегося вала вдавления баллона (на протяжении до 1 ч), ретинальный пигментный эпителий состоятелен для формирования надежных хориоретинальных спаек.

Литература/References

1. D'Amico DJ. Clinical practice. Primary retinal detachment. *N Engl J Med.* 2008 Nov 27; 359 (22): 2346–54. doi: 10.1056/NEJMcpr0804591
2. Аванесова Т.А. Регматогенная отслойка сетчатки: современное состояние проблемы. *Офтальмология.* 2015; 12 (1): 24–32. [Avanesova T.A. Rhegmatogenous retinal detachment: current opinion. *Ophthalmology in Russia.* 2015; 12 (1): 24–32 (In Russ.)]. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2015-1-24-32>
3. Регматогенная отслойка сетчатки. Клинические рекомендации, 2017. [Rhegmatogenous retinal detachment. Clinical Guidelines, 2017 (In Russ.)].
4. Машенко Н.В., Худяков А.Ю., Сорокин Е.Л. Сравнительный анализ отдаленных результатов хирургического лечения первичной регматогенной отслойки сетчатки с использованием экстра- и интраокулярных подходов. *Офтальмохирургия.* 2017; 2: 17–22. [Mashchenko N.V., Khudyakov A.Y., Sorokin E.L. Comparative analysis of the long-term results of surgical treatment of primary rhegmatogenous retinal detachment using extra- and intraocular approaches. *Fyodorov journal of ophthalmic surgery.* 2017; 2: 17–22 (In Russ.)]. <https://doi.org/10.25276/0235-4160-2017-2-17-22>
5. Машенко Н.В., Худяков А.Ю., Лебедев Я.Б. и др. Сравнительный анализ хирургического лечения первичной регматогенной отслойки сетчатки методами эписклеральной и витреальной хирургии. *Современные технологии в офтальмологии.* 2014; 1: 77–8. [Mashchenko N.V., Khudyakov A.Y., Lebedev Y.B., et al. Comparative analysis of surgical treatment of primary rhegmatogenous retinal detachment by episcleral and vitreal surgery methods. *Modern technologies in ophthalmology.* 2014; 1: 77–8 (In Russ.)].
6. Kreissig I. Минимальная хирургия отслойки сетчатки. Практическое руководство (пер. с англ.). Москва. 2015: 4–58. [Kreissig I. Minimal retinal detachment surgery. A practical guide (translated from English). Moscow. 2015: 4–58 (In Russ.)].
7. Cankurtaran V, Citirik M, Simsek M, Tekin K, Teke MY. Anatomical and functional outcomes of scleral buckling versus primary vitrectomy in pseudophakic retinal detachment. *Bosn J Basic Med Sci.* 2017 Feb 21; 17 (1): 74–80. doi: 10.17305/bjbm.2017.1560
8. Covert DJ, Wirosko WJ, Han DP, et al. Risk factors for scleral buckle removal: a matched, case-control study. *Trans Am Ophthalmol Soc.* 2008; 106: 171–7; discussion 177–8. PMID: 19277232.
9. Машенко Н.В., Худяков А.Ю., Жигулин А.В., Лебедев Я.Б., Руденко В.А. Эффективность применения 25–29 G хирургии в лечении регматогенной отслойки сетчатки с пролиферативной витреоретинопатией

Таблица 2. Предоперационный статус пациентов в группе с прилеганием сетчатки и с рецидивом ОС

Table 2. Preoperative patients' status in the group with retinal reattachment and with recurrent retinal detachment

Показатели Indicators	Группа с прилеганием сетчатки Retinal adhesion group n = 24	Группа с рецидивом отслойки сетчатки Group with recurrent retinal detachment n = 6
Возраст, лет Age, years	52,0 ± 14,37	58,5 ± 9,89
Пол (мужчины/женщины) Gender (male/female)	6 (25 %)/ 18 (75 %)	3 (50 %)/ 3 (50 %)
Длительность отслойки сетчатки, дни Duration of retinal detachment, days	12,69 ± 5,86	15,0 ± 4,6
Пролиферативная витреоретинопатия в стадии А Proliferative vitreoretinopathy stage A	17 (70,8 %)	4 (66,7 %)
Пролиферативная витреоретинопатия в стадии В Proliferative vitreoretinopathy stage B	7 (29,2 %)	2 (33,3 %)
Протяженность отслойки сетчатки Length of retinal detachment		
Менее ½ площади сетчатки Less than ½ the area of the retina	23 (95,8 %)	5 (83,3 %)
Более ½ площади сетчатки More than ½ of the retinal area	1 (4,2 %)	1 (16,7 %)
Включая макулу Macula-on	15 (62,5 %)	4 (66,7 %)
Вне макулы Macula-off	9 (37,5 %)	2 (33,3 %)
Факия Phakic	24 (100 %)	5 (83,3 %)
Артифакия Pseudophakic	—	1 (16,7 %)
Аксиальная длина глаза, мм Axial length, mm	25,38 ± 1,80	24,75 ± 1,40
Острота зрения Visual acuity	0,60 ± 0,36	0,72 ± 0,29
Внутриглазное давление, мм рт. ст. Intraocular pressure, mm Hg	14,50 ± 3,26	13,0 ± 2,4
Травма в анамнезе History of trauma	1 (4,2 %)	—

10. Minihan M, Tanner V, Williamson TH. Primary rhegmatogenous retinal detachment: 20 years of change. *Br J Ophthalmol.* 2001 May; 85 (5): 546–8. doi: 10.1136/bjo.85.5.546
11. Mitry D, Charteris DG, Yorston D, et al. Rhegmatogenous retinal detachment in Scotland: research design and methodology. *BMC Ophthalmol.* 2009 Mar 24; 9: 2. doi: 10.1186/1471-2415-9-2
12. de la Rúa ER, Pastor JC, Fernández I, et al. Non-complicated retinal detachment management: variations in 4 years. Retina 1 project; report 1. *Br J Ophthalmol.* 2008 Apr; 92 (4): 523–5. doi: 10.1136/bjo.2007.127688
13. Heimann H, Bartz-Schmidt KU, Bornfeld N, et al; Scleral Buckling versus Primary Vitrectomy in Rhegmatogenous Retinal Detachment Study Group. Scleral buckling versus primary vitrectomy in rhegmatogenous retinal detachment: a prospective randomized multicenter clinical study. *Ophthalmology.* 2007 Dec; 114 (12): 2142–54. doi: 10.1016/j.ophtha.2007.09.013
14. Gharbiya M, Visioli G, Iannetti L, et al. Comparison between scleral buckling and vitrectomy in the onset of cystoid macular edema and epiretinal membrane after rhegmatogenous retinal detachment repair. *Retina.* 2022 Jul 1; 42 (7): 1268–76. doi: 10.1097/IAE.0000000000003475
15. Lee DH, Han JW, Kim SS, et al. Long-term effect of scleral encircling on axial elongation. *Am J Ophthalmol.* 2018 May; 189: 139–45. doi: 10.1016/j.ajo.2018.03.001

16. Klein S. A 2020 Update on 20/20 X 2: Diplopia after ocular surgery. *J Binocul Vis Ocul Motil.* 2021 Oct-Dec; 71 (4): 125–6. PMID: 34752184.
17. Hoepfing W. Die ballonplombe. *Mod Probl. Ophthalmol.* 1967; 5: 289–92.
18. Lincoff HA, McLean JM, Nano H. Scleral abscess. 1. A complication of retinal detachment. Buckling procedures. *Archives of Ophthalmology.* 1965 Nov; 74 (5): 641–8. doi: 10.1001/archoph.1965.00970040643010
19. Oge I, Birinci H, Havuz E, Kaman A. Lincoff temporary balloon buckle in retinal detachment surgery. *Eur J Ophthalmol.* 2001 Oct-Dec; 11 (4): 372–6. doi: 10.1177/112067210101100410
20. Багдасарова Т.А., Хазен Л.З., Горшков А.В., Гриневич В.Н., Вишов В.И. Баллон-катетер для лечения отслойки сетчатки. Патент RU № 42171 от 27.11.2004. [Bagdasarova T.A., Hazen L.Z., Gorshkov A.V., Grinevich V.N., Vishov V.I. Balloon-catheter for treatment of retinal detachment. Patent RU No. 42171, 27.11.2004 (In Russ.).]
21. Алпатов С.А., Шуко А.Г., Малышев В.В. Возможности трансконъюнктивальной витрэктомии 27G. В кн.: Современные технологии лечения витреоретинальной патологии. Москва, 2011: 25–8. [Alpatov S.A., Shchuko A.G., Malyshev V.V. Opportunities of transconjunctival vitrectomy 27G. In: Modern technologies of treatment of vitreoretinal pathology. Moscow; 2011: 25–8 (In Russ.).]
22. Галимова А.Б. Эволюция подходов к хирургическому лечению ретинотоксической отслойки сетчатки. *Офтальмологические ведомости.* 2011; 4 (3): 70–7. [Galimova A.B. The evolution of surgical approaches to rhegmatogenous retinal detachment. *Ophthalmology reports.* 2011; 4 (3): 70–7 (In Russ.).]
23. Багдасарова Т.А. Комплексное лечение отслойки сетчатки с использованием первых отечественных силиконовых баллон-катетеров. *Клиническая офтальмология.* 2007; 8 (1): 10–2. [Bagdasarova T.A. Complex treatment of retinal detachment with using of first native silicon balloon-catheters. *Clinical ophthalmology.* 2007; 8 (1): 10–2 (In Russ.).] https://www.rmj.ru/articles/oftalmologiya/Kompleksnoe_lechenie_otsoyky_setchatki_s_ispolzovaniem_pervyh_otchestvennyh_silikonovyh_ballonkateterov/
24. Machemer R, Aaberg TM, Freeman HM, et al. An updated classification of retinal detachment with proliferative vitreoretinopathy. *Am J Ophthalmol.* 1991 Aug 15; 112 (2): 159–65. doi: 10.1016/s0002-9394(14)76695-4
25. Клейменов А.Ю., Новоселова Т.Н. Способ хирургического лечения отслойки сетчатки путем экстраклерального баллонирования. Патент RU № 2665176 от 28.08.2018. [Kleimenov A.Yu., Novoselova T.N. Method of surgical treatment of retinal detachment by extraclear ballooning. Patent RU No. 2665176, 28.08.2018 (In Russ.).]

Вклад авторов в работу: А.Ю. Клейменов — разработка концепции исследования, редактирование статьи; В.Н. Казайкин — разработка концепции исследования, научное редактирование и окончательное утверждение рукописи; Т.Н. Евдокевич, М.А. Липина — сбор данных и их интерпретация, написание статьи, оформление библиографии; А.В. Лизунов — техническое редактирование.

Author's contribution: A.U. Kleimenov — concept development, scientific editing of the article; V.N. Kazaykin — concept development, scientific editing and final approval of the manuscript; T.N. Evdokevich, M.A. Lipina — data collection and interpretation, writing of the article, formatting the bibliography; A.V. Lizunov — technical editing and writing of the article.

Поступила: 03.03.2025. Переработана: 29.04.2025. Принята к печати: 16.05.2025
Originally received: 03.03.2025. Final revision: 29.04.2025. Accepted: 16.05.2025

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ/INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

АО ЕЦ МНТК «Микрохирургия глаза», ул. Академика Бардина, д. 4а, Екатеринбург, 620149, Россия

Андрей Юрьевич Клейменов — канд. мед. наук, врач-офтальмохирург витреоретинального отделения

Виктор Николаевич Казайкин — д-р мед. наук, врач-офтальмохирург витреоретинального отделения, ведущий научный сотрудник

Татьяна Николаевна Евдокевич — врач-офтальмолог

Мария Анатольевна Липина — врач-офтальмолог

Александр Владиленович Лизунов — канд. мед. наук, врач-офтальмохирург хирургического отделения

Для контактов: Татьяна Николаевна Евдокевич,
novoselova0708@gmail.com

IRTC Eye Microsurgery Ekaterinburg Center, 4a, Academician Bardin St., Ekaterinburg, 620149, Russia

Andrey U. Kleimenov — Cand. of Med. Sci., ophthalmosurgeon, vitreoretinal surgery department

Viktor N. Kazaykin — Dr. of Med. Sci., ophthalmosurgeon, vitreoretinal surgery department

Tatyana N. Evdokevich — ophthalmologist

Maria A. Lipina — ophthalmologist

Alexandr V. Lizunov — Cand. of Med. Sci., ophthalmosurgeon, surgery department

Для контактов: Tatyana N. Evdokevich,
novoselova0708@gmail.com

<https://doi.org/10.21516/2072-0076-2026-19-2-78-83>

Электроретинограмма на длительный стимул у детей с ретинопатией недоношенных

Л.В. Коголева, М.А. Аракелян✉, С.Ю. Рогова, Н.Ш. Кокоева, А.Д. Докторова

ФГБУ «НМИЦ глазных болезней им. Гельмгольца» Минздрава России, ул. Садовая-Черногрозская, д. 14/19, 105062, Москва, Россия

Цель работы — определение функциональной активности сетчатки у детей в зависимости от степени рубцовой ретинопатии недоношенных (РН) и от гестационного возраста (ГВ) при рождении по результатам регистрации электроретинограммы (ЭРГ) на длительный стимул. **Материал и методы.** Обследован 31 пациент (57 глаз) с РН I–III степени в возрасте $13,4 \pm 2,7$ года, из них в срок ≤ 27 нед ГВ родились 13 детей. Всем детям проводили регистрацию ЭРГ на длительный стимул. Оценивали амплитуду и латентность (пиковое время) а- и b-волн Оп-ответа и d-волны Off-ответа. **Результаты.** Сравнение показателей ЭРГ на длительный стимул при РН разной степени показало снижение амплитуды а-, b- и d-волн Оп- и Off-ответов ЭРГ по сравнению как с возрастной нормой, так и по мере нарастания степени РН. Сравнение показателей ЭРГ на длительный стимул у детей, рожденных на разном сроке гестации, выявило статистически значимую разницу амплитуды а-волны Оп-ответа и d-волны Off-ответа между группой контроля и у детей с ГВ ≤ 27 нед и с ГВ > 27 нед. Сравнение временных параметров анализируемых волн ЭРГ в норме и глазах детей с ГВ ≤ 27 и ГВ > 27 нед выявило статистически значимые различия по латентности а-волны Оп-ответа ($p < 0,01$), тогда как латентность b-волны Оп-ответа достоверно различалась только в норме и при ГВ > 27 нед. **Заключение.** Достоверное снижение относительно возрастной нормы амплитуды а-волны Оп-ответа и d-волны Off-ответа во всех глазах с РН подтверждает общность их генерации от колбочковых фоторецепторов с вкладом Off-биполярных клеток и указывает на их раннюю уязвимость уже при РН I степени. Регистрация ЭРГ на длительный стимул у детей с РН представляется чувствительным и информативным методом объективной оценки функциональной активности сетчатки, а ее применение в комплексе с другими видами ЭРГ позволит более точно определить степень и уровень поражения зрительного анализатора при РН.

Ключевые слова: электроретинограмма; длительный стимул; ретинопатия недоношенных; гестационный возраст**Конфликт интересов:** отсутствует.**Прозрачность финансовой деятельности:** никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.**Для цитирования:** Коголева Л.В., Аракелян М.А., Рогова С.Ю., Кокоева Н.Ш., Докторова А.Д. Электроретинограмма на длительный стимул у детей с ретинопатией недоношенных. Российский офтальмологический журнал. 2026; 19 (2): 78–83. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2026-19-2-78-83>

The long-duration flash electroretinogram in children with retinopathy of prematurity

Lyudmila V. Kogoleva, Mariam A. Arakelyan✉, Svetlana Yu. Rogova, Nina Sh. Kokoeva, Anna D. Doctorova

Helmholtz National Medical Research Center of Eye Diseases, 14/19, Sadovaya-Chernogryazskaya St., Moscow, 105062, Russia
ophthalmology@arakelyan.biz

Purpose of the study was to determine the functional activity of the retina in children depending on both the degree of cicatricial retinopathy of prematurity (ROP) and the gestational age (GA) at birth based on the results of the long-duration flash electroretinogram (ERG) recording. **Material and methods.** A total of 31 patients (57 eyes) with ROP grades I–III aged 13.4 ± 2.7 years were examined, of which 13 children were born at ≤ 27 weeks GA. All children underwent recordings to a long-duration flash ERG. The amplitude and latency (peak time) of the a- and b-waves of the On-response and the d-wave of the Off-response were assessed. **Results.** When comparing ERG indices to a long-duration stimuli at different grades of ROP, a decrease in the amplitude of the a-, b- and d-waves of the On and Off ERG responses

was noted compared to both the age norm and with an increase of ROP stage. When comparing the ERG parameters to a long-duration stimuli in children born at different gestational ages, a statistically significant difference was determined in the amplitude of the a-wave of the On-response and the d-wave of the Off-response between the control group and in children with $GA \leq 27$ weeks and with $GA > 27$ weeks. Comparison of the temporal parameters of the analyzed ERG waves in the norm and in the eyes of children with $GA \leq 27$ and $GA > 27$ weeks revealed statistically significant differences in the latency of the a-wave of the On-response ($p < 0.01$), while the latency of the b-wave of the On-response significantly differed only in the norm and $GA > 27$ weeks. **Conclusion.** A significant decrease in the amplitude of the a-wave of the On-response and the d-wave of the Off-response relative to the age norm in all eyes with ROP confirms the similarity of their generation from cone photoreceptors with the contribution of Off-bipolar cells and indicates their primary vulnerability early at stage I of ROP. Registration of ERG to a long-duration stimuli in children with ROP seems to be a sensitive and informative method for objective assessment of functional activity of the retina and may be used in combination with other types of ERG to allow more accurate determination of the degree and level of damage to the visual system in ROP.

Keywords: electroretinogram; long-duration flash; retinopathy of prematurity; gestational age

Conflict of interests: there is no conflict of interests.

Financial disclosure: no author has a financial or property interest in any material or method mentioned.

For citation: Kogoleva L.V., Arakelyan M.A., Rogova S.Yu., Kokoeva N.Sh., Doctorova A.D. The long-duration flash electroretinogram in children with retinopathy of prematurity. Russian ophthalmological journal. 2026; 19 (2): 78-83 (In Russ.). <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2026-19-2-78-83>

Ретинопатия недоношенных (РН) — вазопротрофическое витреоретинальное заболевание глаз глубоко недоношенных детей, в основе которого лежит незрелость структур глазного яблока, в частности сетчатки, к моменту преждевременного рождения ребенка.

Патогенез нарушений зрения при этом заболевании носит комбинированный, многофакторный характер, что обусловлено степенью остаточных изменений на глазном дне после перенесенной активной РН, клинические проявления и характер течения которой чаще всего зависят от степени недоношенности ребенка при рождении и своевременности и качества проведенного лечения. На формирование и развитие зрительных функций оказывает влияние состояние ЦНС и проводящих путей зрительного анализатора, функциональная несостоятельность сетчатки и нарушения нормальной физиологического развития зрительной системы вследствие преждевременного рождения ребенка, а также аномалии рефракции, глазодвигательные нарушения, сопутствующая патология глаз [1–5].

Известно, что формирование слоев сетчатки с дифференциацией колбочковых фоторецепторов начинается с 9–12-й недели гестационного возраста (ГВ). На 16-й неделе идет процесс развития синаптических связей между нейронами и увеличение числа ганглиозных клеток. И только с 22-й недели ГВ происходит дифференциация палочковых фоторецепторов, а с 23–26-й недели ГВ формируются биполярные и горизонтальные клетки, увеличивается плотность колбочек в фовеа и плотность палочек вокруг фовеа. Считается, что при РН палочковая система сетчатки является более уязвимой, чем колбочковая. Однако даже при минимальных остаточных изменениях на глазном дне может происходить вовлечение в патологический процесс колбочковой системы, что и будет в дальнейшем определять степень снижения остроты зрения [6, 7].

В комплексном офтальмологическом обследовании с целью выявления причин, уровня и степени поражения зрительной системы, определения функционального прогноза и тактики реабилитации пациентов в настоящее время используются современные инструментальные методы диагностики. Одним из таких методов является электро-ретинография (ЭРГ) — электрофизиологическое исследование (ЭФИ) сетчатки, диагностическое значение которой в детской офтальмологии не подлежит сомнению. Электро-ретинограмма является функциональным биомаркером,

что объясняется широким спектром типов ЭРГ, позволяющих оценить глубину и распространенность поражения сетчатки и эволюцию заболевания [8–12].

ЦЕЛЬ работы — определить функциональную активность сетчатки у детей как в зависимости от степени рубцовой РН, так и от ГВ при рождении по результатам регистрации ЭРГ на длительный стимул.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Обследован 31 пациент (57 глаз) с благоприятными исходами РН I–III степени в возрасте от 8 до 18 лет (в среднем $13,4 \pm 2,7$ года). Из данных анамнеза известно, что все пациенты родились от преждевременных родов в 25–32 нед ГВ, из них глубоко недоношенными, в срок ≤ 27 нед ГВ, родились 13 детей. В 27 глазах был отмечен самопроизвольный регресс РН, в 30 глазах — индуцированный регресс РН, который был достигнут после лазерной коагуляции аваскулярных зон сетчатки. Из исследования исключены пациенты с рубцовой РН IV и V степени, сопутствующей патологией ЦНС и проводящих зрительных путей, нистагмом, другими сопутствующими заболеваниями глаз.

В первую группу сравнительного исследования были выделены пациенты по степени рубцовой РН, характеристика остроты зрения и рефракции которых представлена в таблице 1.

Так, максимальная скорректированная острота зрения (МКОЗ) в трех исследуемых группах широко варьировала, средняя в группе детей с III степенью РН была ниже, чем с I и II степенью, без статистически достоверной разницы. Почти у всех пациентов во всех группах выявлена

Таблица 1. Максимальная скорректированная острота зрения (МКОЗ) и рефракция больных с разной степенью РН

Table 1. Best corrected visual acuity (BCVA) and refraction of the patients with different stages of ROP

Степень РН ROP stage	Число глаз Number of eyes	МКОЗ BCVA	Рефракция, дптр Refraction, D
I	9	0,5–1,0 (0,62 $\pm$ 0,06)	–0,5 – –11,0 (–4,56 $\pm$ 1,74)
II	33	0,2–1,0 (0,69 $\pm$ 0,05)	–1,5 – –12,0 (–6,84 $\pm$ 0,7)
III	15	0,1–0,7 (0,41 $\pm$ 0,05)	–1,5 – –9,0 (–6,97 $\pm$ 0,51)

миопия, причем в большинстве случаев (41 глаз, 71,9%) — средней и высокой степени.

Для второго сравнительного исследования мы выделили две группы: 1-я группа — 23 глаза 13 детей, родившихся с ГВ ≤ 27 нед; 2-я группа — 34 глаза 18 детей с ГВ > 27 нед. Характеристика групп представлена в таблице 2.

Из таблицы 2 видно, что по остроте зрения и рефракции группы были сравнимы. Кроме того, число глаз с разной степенью РН в группах также было сравнимо (рис. 1).

Кроме стандартных методов офтальмологического обследования, мы проводили регистрацию ЭРГ на длительный стимул с использованием программного комплекса «Электроретинограф» (МБН, Россия). Стимул стандартной интенсивности длительностью 200 мс в условиях дополнительного фонового освещения, подавляющего палочковые фоторецепторы, позволяет выделить компоненты ЭРГ, относящиеся к On- и Off-системе колбочкового пути.

On-ответ возникает на включение стимула и состоит из негативной а-волны и позитивной b-волны. Off-ответ индуцируется выключением стимула и представляет позитивный компонент d-волны. Использование ЭРГ на длительный стимул целесообразно в качестве дополнительного метода диагностики ретинальных дистрофий и нарушений сетчатки, вызванных дисфункцией на пострецепторном уровне [13].

В исследованиях показано, что а-волна On-ответа происходит от колбочковых фоторецепторов со значительным вкладом Off- (гиперполяризующих) биполярных клеток; b-волна On-ответа отражает функцию On- (деполяризующих) биполярных клеток, хотя на ее амплитуду и форму могут влиять Off-биполярные и горизонтальные клетки; d-волна представляет собой сложный ответ из начальной быстрой фазы, возникающей от активности Off-биполярных клеток,

Таблица 2. Максимальная скорректированная острота зрения (МКОЗ) в группах пациентов с разным гестационным возрастом (ГВ)

Table 2. Best corrected visual acuity (BCVA) in 2 groups of patients with different gestational age (GA)

Группы Groups	Число глаз Number of eyes	МКОЗ BCVA	Рефракция, дптр Refraction, D
1 (ГВ ≤ 27 нед) 1 (GA ≤ 27 weeks)	23	0,3–0,8 (0,67 $\pm$ 0,06)	–1,5 – –9,0 (–6,46 $\pm$ 0,7)
2 (ГВ > 27 нед) 2 (GA > 27 weeks)	34	0,1–1,0 (0,68 $\pm$ 0,06)	–0,25 – –11,0 (–6,25 $\pm$ 0,73)

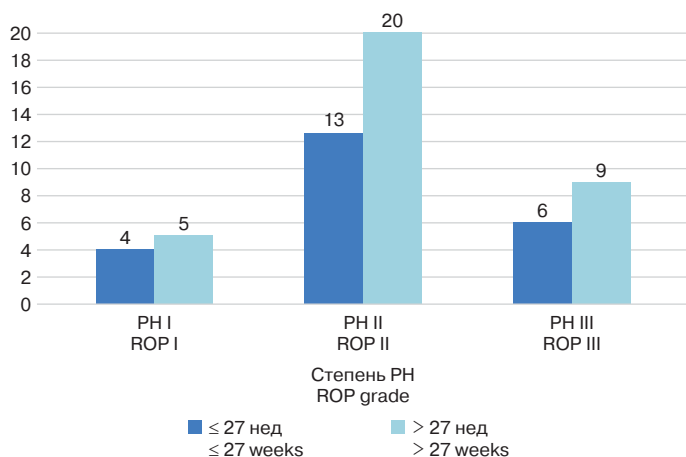


Рис. 1. Распределение количества обследованных глаз в зависимости от степени РН и срока ГВ

Fig. 1. Distribution of the number of examined eyes depending on the stage of ROP and the GA

и поздней медленной фазы с вкладом колбочковых фоторецепторов и действующих в противоположном направлении полярности On-биполярных клеток [14].

On-биполярные клетки выделяют метаболитные рецепторы глутамата, mGluRs, которые являются медленными, ингибирующими рецепторами, деполяризующими клетку. Off-биполярные клетки выделяют ионотропные рецепторы глутамата, iGluRs, которые, в свою очередь, являются быстрыми, возбуждающими рецепторами, гиперполяризующими клетку. Эти On- и Off-биполярные клетки являются началом On- и Off-путей. Таким образом, в темноте фоторецепторы гиперполяризованы, а при освещении они деполяризуются. При выключении света они снова возвращаются к гиперполяризации, увеличивая высвобождение глутамата [15–17].

On- и Off-пути предоставляют информацию о контрасте яркости изображения, полученного от фоторецепторов, которая может быть обработана еще дальше в других, специализированных типах клеток (нейроны третьего порядка, амакриновые и On-/Off-ганглиозные клетки). Off-путь действует, когда темный объект изображен на более светлом фоне (например, этот текст), а On-путь используется для обнаружения обратного. Эти пути работают независимо, и, если один неисправен, другой может оставаться интактным. Генетические заболевания, затрагивающие On-путь, вызывают частичную или полную ночную слепоту; дневное зрение страдает в меньшей степени [18].

В данном исследовании оценивали амплитуду и латентность (пиковое время) а- и b-волн On-ответа и d-волны Off-ответа (рис. 2).

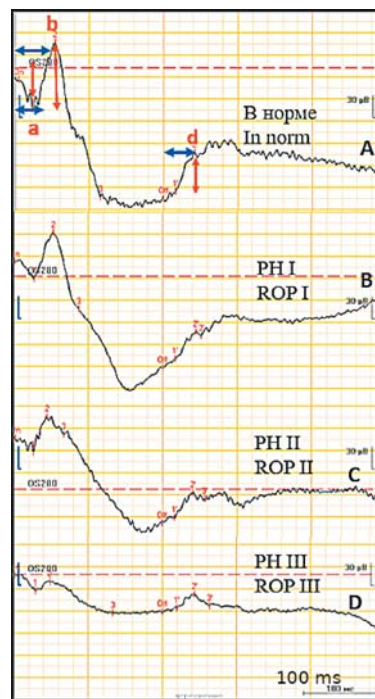


Рис. 2. ЭРГ на длительный стимул в норме и при PH I, II и III степени. А — график основных компонентов On-/Off-ЭРГ и их измерения в норме. Длительность стимула составляет 200 мс; красные (вертикальные) стрелки указывают на измерения амплитуды, синие (горизонтальные) стрелки указывают на измерения латентности. В — PH I степени. С — PH II степени. D — PH III степени

Fig. 2. Long-duration flash electroretinogram in norm, in I, II, III grades of ROP. A — diagram of the three main components of the photopic On-Off ERG and their measurements. Stimulus duration is 200 ms; red (vertical) arrows indicate amplitude measurement, blue (horizontal) arrows indicate peak time measurement. B — ROP I. C — ROP II. D — ROP III

Статистический анализ проводили с помощью статистических программ Microsoft Excel и стандартного пакета программ для медицинской статистики StatTech, версия 4.7. Для сравнения групп применяли параметрический t-критерий Стьюдента; уровень достоверности различий считали при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

При сравнении показателей ЭРГ на длительный стимул при разной степени РН получены следующие результаты (табл. 3).

Как видно из таблицы 3, для On- и Off-ответа ЭРГ на длительный стимул отмечено снижение амплитуды а-, b- и d-волн по сравнению как с возрастной нормой, так и по мере нарастания степени РН. Статистически достоверная разница по амплитуде а-волны On-ответа отмечена между нормой и РН I, II, III степени ($p < 0,01$), а также между РН II и III степени ($p_2 < 0,05$). Амплитуда b-волны On-ответа достоверно различалась между нормой и РН II и III степени ($p < 0,05$), а также между РН I и III степени ($p_1 < 0,05$); между нормой и РН I степени статистически значимых различий не выявлено. Сравнение амплитуды d-волны Off-ответа показало достоверную разницу между нормой и РН I степени ($p < 0,05$), а также нормой и РН II и III степени ($p < 0,01$); статистически значимые различия обнаружены между группами РН I и III степени ($p_1 < 0,05$). Заслуживают внимания временные параметры анализиру-

емых волн On- и Off-ответов. Так, выявлена статистически значимая разница по латентности только а-волны On-ответа в глазах контрольной группы и РН I, II, III степени ($p < 0,01$), при этом ее величина в трех группах РН закономерно укорачивалась от I к III степени.

Результаты амплитуды и латентности волн On- и Off-ответов ЭРГ на длительный стимул в норме, у глубоко недоношенных детей, рожденных в срок ГВ ≤ 27 нед, и у более «зрелых» детей с ГВ > 27 нед при рождении представлены в таблице 4.

Амплитуда а- и b-волн On-ответа и d-волны Off-ответа ЭРГ на длительный стимул у детей, родившихся на ранних сроках гестации (≤ 27 нед), ниже, чем аналогичные показатели у более «зрелых» детей (> 27 нед). При этом статистически значимых различий между этими группами не установлено. Однако статистически значимая разница определялась по амплитуде а-волны On-ответа и d-волны Off-ответа между группой контроля и у детей как с ГВ ≤ 27 нед, так и с ГВ > 27 нед. Амплитуда b-волны On-ответа достоверно различалась только в группе контроля и у детей с ГВ ≤ 27 нед. Примечательно, что сравнение временных параметров анализируемых волн ЭРГ на длительный стимул в норме и глазах детей с ГВ ≤ 27 нед и ГВ > 27 нед выявило статистически значимые различия по латентности а-волны On-ответа ($p < 0,01$), тогда как латентность b-волны On-ответа достоверно различалась только в норме и ГВ > 27 нед.

Таблица 3. Показатели ЭРГ на длительный стимул в норме и при разной степени РН
Table 3. The long-duration flash ERG values in control group and in different stages of ROP

Степень РН ROP stage	On-ответ On-response				Off-ответ Off-response	
	амплитуда, мкВ amplitude, mV		латентность, мс latency, ms		амплитуда, мкВ amplitude, mV	латентность, мс latency, ms
	а-волна a-wave	b-волна b-wave	а-волна a-wave	b-волна b-wave	d-волна d-wave	
Норма Normal values	30,5 $\pm$ 2,3	47,1 $\pm$ 6,1	17,5 $\pm$ 0,4	42,9 $\pm$ 0,96	43,5 $\pm$ 3,5	39,6 $\pm$ 0,6
I	22,3 $\pm$ 4,7**	39,9 $\pm$ 4,1	24,7 $\pm$ 1,2**	50,3 $\pm$ 3,7	29,4 $\pm$ 3,2*	38,7 $\pm$ 2,4
II	19,1 $\pm$ 1,6**	32,7 $\pm$ 2,8*	23,3 $\pm$ 0,7**	45,7 $\pm$ 1,2	25,4 $\pm$ 1,2**	40,1 $\pm$ 0,8
III	13,9 $\pm$ 1,4** ($p_2 < 0,05$)	26,6 $\pm$ 4,2* ($p_1 < 0,05$)	21,7 $\pm$ 1,1**	45,7 $\pm$ 1,3	20,4 $\pm$ 2,4** ($p_1 < 0,05$)	40,2 $\pm$ 1,3

Примечание. * — достоверные различия ($p < 0,05$) показателей при норме и РН I, II, III степени; ** — достоверные различия ($p < 0,01$) показателей при норме и РН I, II, III степени; p_1 — достоверные различия ($p_1 < 0,05$) показателей при РН I и III степени; p_2 — достоверные различия ($p_2 < 0,05$) показателей при РН II и III степени.

Note. * — reliability ($p < 0,05$) of values for the control group and ROP stages I, II, III; ** — reliability ($p < 0,01$) of values for the control group and ROP stages I, II, III; p_1 — reliability ($p_1 < 0,05$) of values in ROP stages I and III; p_2 — reliable differences ($p_2 < 0,05$) of values in ROP stages II and III.

Таблица 4. Показатели ЭРГ на длительный стимул в норме и у пациентов с ГВ ≤ 27 нед и ГВ > 27 нед
Table 4. The long duration flash ERG values in control group and in patients of GA ≤ 27 weeks and GA > 27 weeks

Группы Groups	On-ответ On-response				Off-ответ Off-response	
	амплитуда, мкВ amplitude, mV		латентность, мс latency, ms		амплитуда, мкВ amplitude, mV	латентность, мс latency, ms
	а-волна a-wave	b-волна b-wave	а-волна a-wave	b-волна b-wave	d-волна d-wave	
Норма Normal values	30,5 $\pm$ 2,3	47,1 $\pm$ 6,1	17,5 $\pm$ 0,4	42,9 $\pm$ 0,96	43,5 $\pm$ 3,5	39,6 $\pm$ 0,6
1 (ГВ ≤ 27 нед) 1 (GA ≤ 27 weeks)	16,2 $\pm$ 1,4*	30,7 $\pm$ 4,0*	22,6 $\pm$ 1,1*	45,6 $\pm$ 1,9	22,5 $\pm$ 2,3*	39,4 $\pm$ 1,6
2 (ГВ > 27 нед) 2 (GA > 27 weeks)	19,2 $\pm$ 1,6*	33,7 $\pm$ 3,9	23,2 $\pm$ 0,7*	46,9 $\pm$ 1,2*	24,1 $\pm$ 1,3*	40,6 $\pm$ 0,7

Примечание. * — достоверные различия ($p < 0,01$) показателей нормы и ГВ ≤ 27 нед, ГВ > 27 нед.

Note. * — reliability ($p < 0,01$) of values in control group and GA ≤ 27 weeks and GA > 27 weeks.

ОБСУЖДЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Стандарты ISCEV представлены минимальным количеством тестов, однако применение дополнительных протоколов в клинической диагностике поощряется и признается правильным. Фотопическая On-/Off-ЭРГ описывается как специализированный метод, который признан и применяется экспертами в области ЭФИ, так как позволяет выявить сочетанное или избирательное вовлечение On- и Off-путей, что не всегда возможно при регистрации стандартной общей ЭРГ. Для функционального разделения On- и Off-путей требуется использование длительного стимула 150–200 мс в условиях подавления палочек.

В нашей работе мы рассмотрели результаты регистрации ЭРГ на длительный стимул, который на данный момент является малораспространенным специализированным методом. P. Sieving [18] в 1993 г. подробно описал ЭРГ на длительный стимул у пациентов с дистрофией сетчатки, продемонстрировав возможность рутинной регистрации фотопической ЭРГ на длительный стимул у пациентов в клинических условиях. В литературе имеются единичные исследования результатов ЭРГ на длительный стимул при разной офтальмопатологии: стационарной ночной слепоте, X-сцепленном ретиношизисе, первичной открытоугольной глаукоме, врожденной глаукоме, при врожденных нарушениях гликолизирования, меланомоассоциированной ретинопатии, мышечной дистрофии Дюшена [17, 19, 20]. Результаты, представленные в данных работах, свидетельствуют о том, что ЭРГ на длительный стимул, помимо стандартных методов, имеет большое значение в оценке функционального состояния световых и темновых каналов колбочковых путей, так как ее изменения указывают на различное включение нейронов зрительной системы, в том числе в процессе развития патологического процесса. On и Off зрительные сигналы в сетчатке передаются сначала раздельно через независимые параллельные нейронные потоки обработки в мозг, где уже происходит их слияние. В свою очередь предполагается, что механизмы передачи сигналов, опосредованные On- и Off-типами колбочек, подвержены дифференцированному воздействию.

Исследование ЭРГ на длительный стимул у недоношенных детей с ретинопатией представляет значительный интерес в связи с многофакторным характером возможных нарушений зрительных функций. В имеющихся работах показано, что даже при остаточных изменениях на периферии сетчатки, что характерно для благоприятных исходов РН, функциональные нарушения наблюдаются не только в периферических отделах сетчатки, но затрагивают и центральную зону. Палочковая система сетчатки при РН более уязвима, чем колбочковая, что обусловлено особенностями как эмбриогенеза, так и патогенезом развития и течения РН, однако даже при начальной РН может вовлекаться в процесс колбочковая система [21, 22]. В доступной литературе только в одной публикации зарубежных авторов мы нашли сведения о результатах мультифокальной ЭРГ на длительный стимул у пациентов с РН и миопией [23]. В работе изложены результаты исследований, проведенные в 14 глазах у 8 детей. Показано, что снижение показателей амплитуды волн ЭРГ в On-ответе зависит от степени миопии, тогда как депрессия Off-ответа определяется как эксцентриситетом сетчатки, так и степенью миопии.

Мы провели исследование на большем клиническом материале (31 пациент, 57 глаз), что позволило не только оценить результаты у детей с РН, но и провести сравнение показателей между выделенными нами группами. С целью выявления возможного влияния на функциональную актив-

ность сетчатки РН пациенты были разделены по степени рубцовой РН, а для определения зависимости показателей ЭРГ от степени «незрелости» сетчатки — по ГВ на момент рождения. Полученные нами результаты свидетельствуют о том, что амплитудные показатели On- и Off-ответов ЭРГ на длительный стимул закономерно снижаются по мере нарастания степени тяжести РН. Оценка достоверности различий в норме и обследуемых группах позволила выявить характерные изменения, происходящие в сетчатке больных РН. Так, достоверное снижение относительно возрастной нормы амплитуды а-волны On-ответа и d-волны Off-ответа во всех глазах с РН подтверждает общность их генерации от колбочковых фоторецепторов с вкладом Off-биполярных клеток и указывает на их раннюю уязвимость уже при I степени РН. Статистически значимое снижение этих волн при РН III степени относительно РН I и II степени является свидетельством прогрессирования функциональных нарушений в зависимости от тяжести клинических проявлений заболевания (см. рис. 2).

Важно учитывать, что изменения d-волны Off-ответа отражают интегративную активность глубоких слоев сетчатки при ответе на выключение света, при котором происходит высвобождение фоторецепторами большого количества нейромедиатора глутамата.

Представляет интерес значительное удлинение латентности а-волны On-ответа при РН I степени и ее закономерное относительное укорочение при II и III степени, но тем не менее сохраняющее достоверное различие с нормой. Латентность b-волны On-ответа также была удлинена без статистически значимой разницы с нормой, причем в глазах с РН I степени ее значения оказались выше, чем при РН II и III степени. Такое замедление передачи импульса в сетчатке при возбуждении светом может быть обусловлено особенностями патогенеза РН, где важную роль играют метаболические нарушения за счет дисфункции глутаматергической системы, которые проявляются уже при РН I степени. Предполагается также функциональный дефицит в синаптической передаче между фоторецепторами и биполярными клетками. Снижение амплитуды b-волны On-ответа по сравнению с а-волной, а также с d-волной Off-ответа, оказалось незначительным в глазах с РН I степени, что свидетельствует об относительной сохранности On-биполярных клеток при менее выраженных клинических проявлениях болезни. С учетом того, что на амплитуду и форму b-волны, наряду с On-биполярными клетками, могут влиять Off-биполярные и горизонтальные клетки, ее достоверное снижение по сравнению с нормой в глазах с РН II и III степени становится более очевидным.

Отсутствие достоверности различий по амплитуде d-волны Off-ответа у детей с ГВ ≤ 27 нед по сравнению с детьми с ГВ > 27 нед можно объяснить тем, что минимальный срок рождения глубоко недоношенных в нашем исследовании составил 25 нед, а к этому времени, как известно, глобальное формирование всех слоев сетчатки уже завершено. Вместе с тем продолжающийся процесс организации биполярных и горизонтальных клеток, а также процесс увеличения плотности колбочек, который протекает менее динамично после 25–26-й недели ГВ, оказывает влияние, хоть и незначительное, на биоэлектрическую активность сетчатки, что было показано в исследованных нами двух группах.

Таким образом, регистрация ЭРГ на длительный стимул у детей с РН представляется чувствительным и информативным методом объективной оценки функциональной активности сетчатки, а ее применение в комплексе с другими видами ЭРГ позволит более точно определить степень и уровень поражения зрительного анализатора при РН.

Литература/References

1. Нероев В.В., Катаргина Л.А., Коголева Л.В. Профилактика слепоты и слабовидения у детей с ретинопатией недоношенных. *Вопросы современной педиатрии*. 2015; 14 (2): 265–70. [Neroev V.V., Katargina L.A., Kogoleva L.V. The prevention of blindness and visual impairment in children with retinopathy of prematurity. *Voprosy sovremennoy pediatrii*. 2015; 14 (2): 265–70 (In Russ.)]. doi: 10.15690/vsp.v14i2.1296
2. Сайдашева Э.И., Горелик Ю.В., Буяновская С.В., Ковшов Ф.В. Ретинопатия недоношенных: особенности течения и результаты лечения у детей со сроком гестации менее 27 недель. *Российская педиатрическая офтальмология*. 2015; 2 (10): 28–32. [Saydasheva E.I., Gorelik Yu.V., Buyanovskaya S.V., Kovshov F.V. Retinopathy of prematurity: the course and results of treatment in children with gestational age less than 27 weeks. *Rossiyskaya pediatricheskaya oftal'mologiya*. 2015; 2 (10): 28–32 (In Russ.)].
3. Коголева Л.В. Факторы нарушения зрения и принципы диспансерного наблюдения детей с ретинопатией недоношенных. В кн.: Нероев В.В., Катаргина Л.А., ред. Ретинопатия недоношенных. Москва: ИКАР; 2020: 199–212. [Kogoleva L.V. Factors of visual impairment and principles of dispensary observation of children with retinopathy of prematurity. In: Neroev V.V., Katargina L.A., eds. Retinopathy of prematurity. Moscow: IKAR; 2020: 199–212 (In Russ.)].
4. Moskowitz A, Hansen RM, Fulton AB. Retinal, visual, and refractive development in retinopathy of prematurity. *Eye Brain*. 2016 May 20; 8: 103–11. doi: 10.2147/EB.S95021
5. Akerblom H., Andreasson S., Holmstrom G. Macular function in preterm children at school age. *Doc Ophthalmol*. 2016; 133: 151–7. doi: 10.1007/s10633-016-9564-8
6. Reh ThA, La Torre A. Retinal Development. In: Hartnett ME, Drack AV, Capone AJr, eds. Pediatric Retina. 3d ed. Philadelphia: Wolters Kluwer; 2021: 246–72.
7. Fulton AB, Hansen RM, Moskowitz A. Development of rod function in term born and former preterm subjects. *Optom Vis Sci*. 2009 Jun; 86 (6): E653–8. doi: 10.1097/OPX.0b013e3181a6a237
8. Шамшинова А.М. Электроретинография в офтальмологии. Москва: Медика, 2009. [Shamshinova A.M. Electrorretinography in ophthalmology. Moscow: Medica, 2009 (In Russ.)].
9. Коголева Л.В., Аракелян М.А., Шамшинова А.М., Катаргина Л.А. Роль электроретинографии в оценке и прогнозировании зрения при ретинопатии недоношенных. *Российский офтальмологический журнал*. 2013; 3: 40–4. [Kogoleva L.V., Arakelyan M.A., Shamshinova A.M., Katargina L.A. The role of electrorretinography in the assessment and prognosis of vision quality in retinopathy of prematurity. *Russian ophthalmological journal*. 2013; 3: 40–4 (In Russ.)].
10. Fulton AB, Hansen RM, Petersen RA, Vanderveen DK. The rod photoreceptors in retinopathy of prematurity: an electroretinographic study. *Arch Ophthalmol*. 2001; 119 (4): 499–505.
11. Fulton AB, Hansen RM, Moscowitz A. The cone electroretinogram in retinopathy of prematurity. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2008 Feb; 49 (2): 814–9. doi: 10.1167/iovs.07-1226
12. Kolb H. Functional organization of the retina. In: Heckenlively JR, Arden GB, eds. Principles and practice of clinical electrophysiology of vision. 2nd ed. Cambridge: The MIT press; 2006: 47–64.
13. Raghuram A, Hansen RM, Moskowitz A, Fulton AB. Photoreceptor and postreceptor responses in congenital stationary night blindness. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2013; 54: 4648–58.
14. Sui R, Tang F, Zhang M. Practical visual electrophysiological examination. Springer People's Medical Publishing House, PR of China. 2022.
15. Sieving PA, Murayama K, Naarendorp F. Push-pull model of the primate photopic electroretinogram: a role for hyperpolarizing neurons in shaping the b-wave. *Vis Neurosci*. 1994; 11: 519–32. <https://doi.org/10.1017/S0952523800002431>
16. Bush RA, Sieving PA. A proximal retinal component in the primate photopic ERG a-wave. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 1994 Feb; 35 (2): 635–45. PMID: 8113014.
17. Sustar M, Holder GE, Kremers J, et al. ISCEV extended protocol for the photopic On–Off ERG. *Doc Ophthalmol*. 2018; 136: 199–206.
18. Sieving PA. Photopic On- and Off-pathway abnormalities in retinal dystrophies. *Trans Am Ophthalmol Soc*. 1993; 91:701–73. PMID: 8140708.
19. Thompson DA, Lyons RJ, Liasis A et al. Retinal on-pathway deficit in congenital disorder of glycosylation due to phosphomannomutase deficiency. *Arch Ophthalmol*. 2012 Jun; 130 (6): 712–9. doi: 10.1001/archophthalmol.2012.130
20. Фенкова О.Г., Фурсова А.Ж., Гусаревич О. Г. Клинико-морфологические и функциональные критерии оценки степени тяжести врожденной глаукомы. *РМЖ Клиническая офтальмология*. 2011; 2 (13): 56–8. [Fenkova O.G., Fursova A.Zh., Gusarevich O.G. Clinical, morphological and functional criteria of a severity of the congenital glaucoma. *Russian medical journal. Clinical ophthalmology*. 2011; 2 (13): 56–8 (In Russ.)].
21. Cavallaro G, Filippi L, Bagnoli P, et al. The pathophysiology of retinopathy of prematurity: an update of previous and recent knowledge. *Acta Ophthalmologica*. 2014 Feb; 92 (1): 2–20. doi: 10.1111/aos.12049
22. Harris ME, Moscowitz A, Fulton AB, Hansen RM. Long-term effects of retinopathy of prematurity (ROP) on rod and rod-driven function. *Doc Ophthalmol*. 2011 Feb; 122 (1): 19–27. doi: 10.1007/s10633-010-9251-0
23. Luu CD, Koh AHC, Ling Y. The ON/OFF-response in retinopathy of prematurity subjects with myopia. *Doc Ophthalmol*. 2005; 110, 155–61. <https://doi.org/10.1007/s10633-005-3742-4>

Вклад авторов в работу: Л.В. Коголева, М.А. Аракелян — разработка концепции и дизайна исследования, написание и финальная подготовка статьи к публикации; Н.Ш. Кокоева — обследование пациентов, сбор и анализ данных; С.Ю. Рогова, А.Д. Докторова — сбор, обработка и интерпретация данных.

Author's contribution: L.V. Kogoleva, M.A. Arakelyan — development of the concept and design of the study, writing and final preparation of the article for publication; N.Sh. Kokoeva — examination of patients, data collection and analysis; S.Yu. Rogova, A.D. Doctorova — data collection, processing and interpretation.

Поступила: 17.09.2025. Переработана: 09.10.2025. Принята к печати: 10.10.2025
Originally received: 17.09.2025. Final revision: 09.10.2025. Accepted: 10.10.2025

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ/INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

ФГБУ «НМИЦ глазных болезней им. Гельмгольца» Минздрава России, ул. Садовая-Черногрозская, д.14/19, 105062, Москва, Россия

Людмила Викторовна Коголева — д-р мед. наук, заведующая детским консультативно-поликлиническим отделением

Мариам Арамовна Аракелян — канд. мед. наук, врач-офтальмолог отделения электрофизиологической и психофизической диагностики зрительной системы

Светлана Юрьевна Рогова — старшая медицинская сестра отделения электрофизиологической и психофизической диагностики зрительной системы

Нина Шотаевна Кокоева — врач-офтальмолог детского консультативно-поликлинического отделения

Анна Дмитриевна Докторова — врач-офтальмолог взрослого консультативно-поликлинического отделения

Для контактов: Мариам Арамовна Аракелян, ophthalmology@arakelyan.biz

Helmholtz National Medical Research Center of Eye Diseases, 14/19, Sadovaya-Chernogryazskaya St., Moscow, 105062, Russia

Lyudmila V. Kogoleva — Dr. of Med. Sci., head of the pediatrics outpatient consultation department

Mariam A. Arakelyan — Cand. of Med. Sci., ophthalmologist of the department of electrophysiological and psychophysical diagnostics of the visual system

Svetlana Yu. Rogova — senior nurse of the department of electrophysiological and psychophysical diagnostics of the visual system

Nina Sh. Kokoeva — ophthalmologist of the pediatrics outpatient consultation department

Anna D. Doctorova — ophthalmologist of the adult outpatient consultation department

For contacts: Mariam A. Arakelyan, ophthalmology@arakelyan.biz



<https://doi.org/10.21516/2072-0076-2026-19-2-84-92>

Сравнительный анализ структуры хирургически сформированных путей оттока у пациентов с первичной открытоугольной глаукомой и артификацией после синустрабекулэктомии с применением различных типов дренажей

Ю.Г. Копченова^{1,2✉}, М.А. Фролов¹, О.И. Оренбуркина^{1,3}, М.П. Толстых⁴, А.М. Фролов¹, Ф.Т. Дулани^{1,2}

¹ ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы», ул. Миклухо-Маклая, д. 6, Москва, 117198, Россия

² ГБУЗ Москвы «Московский клинический научно-исследовательский центр больница № 52» Департамента здравоохранения города Москвы, ул. Пехотная, д. 3, Москва, 132182, Россия

³ Всероссийский центр глазной и пластической хирургии ФГБОУ ВО БГМУ Минздрава России, ул. Зорге, д. 61, Уфа, 450075, Россия

⁴ Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И. Евдокимова, ул. Делегатская, д. 20, стр. 1, Москва, 127479, Россия

Цель работы — провести сравнительный анализ структуры хирургически сформированных путей оттока у пациентов с первичной открытоугольной глаукомой (ПОУГ) и артификацией после синустрабекулэктомии (СТЭ) с применением различных дренажей. **Материал и методы.** В рандомизированное проспективное исследование включено 136 пациентов (140 глаз) с артификацией и далеко зашедшей и развитой ПОУГ, перенесших СТЭ с базальной иридэктомией (СТЭ + БИ) с имплантацией или без имплантации дренажей разных типов, отличавшихся по материалу и свойствам. Первая группа — 35 глаз, проведена СТЭ + БИ с имплантированным резорбируемым дренажом из композиции полимолочной кислоты (полилактида) и полиэтиленгликоля Глаутекс (ООО «ХайБи Тэк»), 2-я группа — 35 глаз — СТЭ + БИ с имплантацией гидрофильного медленно резорбируемого коллагенового дренажа (микродренаж прямоугольный (МП) ООО «Мак-Меди»), 3-я группа — 35 глаз — СТЭ + БИ с имплантацией коллагенового нерезорбируемого дренажа Ксенопласт (ООО «Трансконтакт») (Ксенопласт); 4-я группа (контроль) — 35 глаз — СТЭ + БИ без имплантации дренажа. Оценивали хирургически сформированные пути оттока с помощью ультразвуковой биомикроскопии (УБМ) и оптической когерентной томографии (ОКТ) переднего отрезка глаза и количество осложнений. **Результаты.** Через 2 года по данным УБМ и ОКТ наблюдалось уплощение фильтрационной подушки (ФП) до $0,40 \pm 0,14$ мм (1-я группа), до $0,42 \pm 0,12$ мм (2-я группа), до $0,38 \pm 0,21$ мм (3-я группа), тогда как в группе контроля высота ФП увеличилась до $0,58 \pm 0,19$ мм за счет появления кистозных изменений. Толщина склерального лоскута (СЛ) увеличивалась до $0,44 \pm 0,19$ и $0,46 \pm 0,17$ мм при использовании глаутекса и МП, тогда как в контрольной группе и при использовании ксенопласта снижалась с потерей дренажной функции за счет склеро-склеральных сращений ($0,34 \pm 0,05$ и $0,29 \pm 0,045$ мм соответственно). Высота интрасклерального пространства (ИСП) снижалась при использовании глаутекса, ксенопласта и в группе контроля (до $0,26 \pm 0,04$, $0,25 \pm 0,15$ и $0,35 \pm 0,08$ мм). Максимальная высота ИСП отмечена при применении дренажа МП ($0,68 \pm 0,28$ мм). Через 24 мес у пациентов 1-й группы внутриглазное давление (ВГД) приблизилось к целевому значению и составило $18,29 \pm 3,67$ мм рт. ст.; 2-й группы — до $18,6 \pm 2,15$ мм рт. ст.; 3-й группы — до $20,60 \pm 3,95$ мм рт. ст.; в контроле — $24,7 \pm 5,0$ мм рт. ст. Выявлено, что высота ФП и ИСП не всегда коррелирует с ВГД и в ряде случаев к концу наблюдения прогностическая значимость качественных УБМ-параметров превосходит количественные. **Заключение.** По данным УБМ и ОКТ резорбируемые и частично резорбируемые дренажи — глаутекс и МП — обеспечивают более устойчивое поддержание объема ИСП и ФП в отдаленном периоде, способствуя длительному сохранению функциональной проходимости фильтрационного пути, чем нерезорбируемый ксенопласт и традиционная СТЭ + БИ без использования дренажа. Применение данных дренажей способствует более длительному и стабильному поддержанию офтальмотонуса у пациентов с артификацией.

Ключевые слова: глаукома; артификация; синустрабекулэктомия; дренаж; ультразвуковая биомикроскопия; оптическая когерентная томография; фильтрационная подушка

Конфликт интересов: отсутствует.

Прозрачность финансовой деятельности: никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

Для цитирования: Копченова Ю.Г., Фролов М.А., Оренбуркина О.И., Толстых М.П., Фролов А.М., Дулани Ф.Т. Сравнительный

Comparative analysis of the structure of surgically formed drainage pathways in patients with primary open angle glaucoma and pseudophakia after trabeculectomy using various types of drains

Yulia G. Kopchenova^{1,2}✉, Mikhail A. Frolov¹, Olga I. Orenburkina^{1,3}, Mikhail P. Tolstykh⁴, Alexander M. Frolov¹, Favaz T. Dulani^{1,2}

¹ Patrice Lumumba Peoples' Friendship University of Russia, 6, Miklukho-Maclay St., Moscow, 117198, Russia

² Moscow Clinical Science and Research Center 52, 3, Pekhotnaya St., Moscow, 132182, Russia

³ Russian Center for Eye and Plastic Surgery of the Bashkir State Medical University, 61, Zorge St., Ufa, 450075, Russia

⁴ A.I. Yevdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry, 20, block 1, Delegatskaya St., Moscow, 127479, Russia
kopchenova.yulia@yandex.ru

Purpose of the study: To carry out a comparative analysis of the structure of surgically formed outflow pathways in patients with primary open angle glaucoma (POAG) and pseudophakia after sinustrabeculectomy (STE) using various drains. **Materials and methods.** A randomized prospective study included 136 patients (140 eyes) with aphakia and advanced and far-advanced POAG who underwent STE with basal iridectomy (STE + BI) with or without implantation of different types of drains, differing in material and properties. Group 1 consisted of 35 eyes of STE + BI with implanted resorbable drainage from a composition of polylactic acid (polylactide) and polyethylene glycol Glautex (HighBi Tech LLC) (Glautex), Group 2 consisted of 35 eyes of STE + BI with implantation of hydrophilic slowly resorbable collagen drainage MP (Mak-Medi LLC Rectangular micro drainage) (MP), group 3 — 35 eyes of STE+BI with implantation of collagen non-absorbable drainage Xenoplast (Transcontact LLC). The control group included 35 eyes that underwent STE + BI without drainage implantation. The surgical drainage pathways using ultrasound biomicroscopy (UBM) and optical coherence tomography (OCT) of the eye anterior segment, as well as the number of complications were evaluated. **Results.** After 2 years, according to UBM and OCT data, the filtration bleb (FB) flattened to 0.40 ± 0.14 mm (group 1), to 0.42 ± 0.12 mm (group 2) and to 0.38 ± 0.21 mm (group 3), while in the control group, the height of the FB increased to 0.58 ± 0.19 mm due to the appearance of cystic changes. The thickness of the scleral flap (SF) increased to 0.44 ± 0.19 mm and 0.46 ± 0.17 mm when using Glautex and MP, whereas in the control group and using Xenoplast it decreased with loss of drainage function due to sclero-scleral adhesions (0.34 ± 0.05 mm and 0.29 ± 0.045 mm, respectively). The height of the intrascleral space (ISS) decreased with the use of Glautex, Xenoplast and in the control group (up to 0.26 ± 0.04 mm, 0.25 ± 0.15 mm, 0.35 ± 0.08 mm). The maximum height of the ISS was noted in the group using MP drainage (0.68 ± 0.28 mm). After 24 months, the IOP in group 1 approached the target value and amounted to 18.29 ± 3.67 mm Hg; group 2 — 18.6 ± 2.15 mm Hg; group 3 — 20.60 ± 3.95 mm Hg; control — 24.7 ± 5.0 mm Hg. It was revealed that the height of FB and ISS does not always correlate with IOP, and by the end of the follow-up, the prognostic significance of qualitative UBM parameters exceeds quantitative ones in several cases. **Conclusions.** According to UBM and OCT data, resorbable and partially resorbable drains — Glautex and MP — provide more stable maintenance of the volume of ISS and FB in the remote period, contributing to the long-term preservation of the functional patency of the filtration pathway, compared to non-resorbable Xenoplast and traditional STE + BI without the use of a drain. The use of these drains provides a longer and more stable maintenance of IOP in patients with pseudophakia.

Keywords: glaucoma; pseudophakia; trabeculectomy; drainage; ultrasound biomicroscopy; optical coherence tomography; filtration pad

Conflict of interest: there is no conflict of interest.

Financial disclosure: no author has a financial or property interest in any material or method mentioned.

For citation: Kopchenova Yu.G., Frolov M.A., Orenburkina O.I., Tolstykh M.P., Frolov A.M., Dulani F.T. Comparative analysis of the structure of surgically formed drainage pathways in patients with primary open angle glaucoma and pseudophakia after trabeculectomy using various types of drains. Russian ophthalmological journal. 2026; 19 (2): 84-92 (In Russ.). <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2026-19-2-84-92>

На сегодняшний день глаукома является одним из социально значимых заболеваний глаз, приводящих к инвалидизации пациента [1]. На территории Российской

Федерации наибольшее распространение имеет первичная открытоугольная глаукома (ПОУГ) [2 7]. Глаукома поражает пациентов зрелого и пожилого возраста [7], нередко имею-

щих в анамнезе хирургическое лечение катаракты, а следовательно, и изменения в гидродинамике оперированного глаза.

Неоспорима эффективность хирургического лечения ПОУГ с применением ауто-, алло- и эксплантодренажей [8, 9], однако и эти методики несовершенны в связи с наличием фибропластической активности тканей, ведущей к рубцеванию хирургически созданных путей оттока, что у некоторых пациентов ведет к повышению внутриглазного давления (ВГД) в разные сроки после хирургического лечения. До 30–39% антиглаукомных операций проходят без эффекта [10, 11]. Существуют послеоперационные факторы, связанные с ведением пациента, с профилактикой различных осложнений и зарастанием путей оттока внутриглазной жидкости (ВГЖ) [12–15].

Для контроля успеха оперативного лечения, а именно функционирования хирургически созданных путей оттока ВГЖ в арсенале офтальмологов есть такие методы, как ультразвуковая биомикроскопия (УБМ) и оптическая когерентная томография (ОКТ), позволяющие на различных сроках послеоперационного наблюдения оценивать состояние фильтрационных путей [16, 17]. На ранних этапах послеоперационного мониторинга предпочтительно проведение ОКТ, так как метод не предусматривает контакта с глазной поверхностью, что исключает травматизацию хирургической раны, снижает риск инфекционных осложнений и является более комфортным для пациента [17]. На более поздних этапах могут быть применены оба этих метода.

Достижение толерантных значений ВГД является целью лечения глаукомы [18]. Предлагается 2 метода оценки эффективности операции, исходя из достижения условного целевого уровня P_0 для каждой стадии заболевания: по уровню P_0 и по снижению от исходного ВГД в процентах [19]. Согласно классификации, принятой Всемирной глаукомной ассоциацией (World Glaucoma Association), послеоперационное достижение целевого давления зависит от стадии глаукомы: I — начальная < 18 мм рт. ст. (> 20%); II — развитая < 15 мм рт. ст. (> 30%); III — далеко зашедшая < 12 мм рт. ст. (> 40%). Гипотонией считается уровень ВГД в 6 мм рт. ст. Успех хирургического лечения делится на несколько категорий: 1) неудача — недостижение давления цели; 2) полная неудача — потеря светоощущения вследствие глаукомной нейропатии или потребность в повторной операции; 3) полный успех — достижение ВГД цели без необходимости применения гипотензивных капель; 4) признанный успех — достижение ВГД цели с дополнительной гипотензивной терапией [20].

ЦЕЛЬ работы — провести сравнительный анализ структуры хирургически сформированных путей оттока у пациентов с артефакцией после синустрабекулектomie (СТЭ) с применением различных дренажей.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В рандомизированное проспективное исследование включено 136 пациентов (140 глаз) с артефакцией и развитой и далеко зашедшей ПОУГ (II и III стадия по классификации А.П. Нестерова и А.Я. Бунина соответственно) [21]. Исследование проведено в соответствии с принципами Хельсинкской декларации, одобрено локальным этическим комитетом, все участники дали информированное согласие на участие в исследовании.

Пациенты были разделены на четыре группы в зависимости от типа используемого дренажа при одномоментной СТЭ с базальной иридэктомией (СТЭ + БИ) [22, 23].

1. Группа 1 ($n = 35$): СТЭ + БИ с имплантацией резорбируемого дренажа на основе полимолочной кислоты

(полилактида) и полиэтиленгликоля «Глаутекс ТДА» (ООО «ХайБи Тек», Россия).

2. Группа 2 ($n = 35$): СТЭ + БИ с имплантацией частично резорбируемого гидрофильного коллагенового микродренажа прямоугольного (МП) (ООО «Мак-Меди», Россия).

3. Группа 3 ($n = 35$): СТЭ + БИ с имплантацией нерезорбируемого пористого полимерного дренажа Ксенопласт (ООО «Трансконтакт», Россия).

4. Группа 4 (контрольная, $n = 35$): СТЭ + БИ без имплантации дренажа.

Критерии включения в исследование: артефакция (состояние после факозмульсификации), диагностированная ПОУГ II и III стадии по классификации А.П. Нестерова и А.Я. Бунина [21] с уровнем истинного ВГД > 21 мм рт. ст. несмотря на применение максимально переносимой гипотензивной терапии, включающей три препарата в виде глазных капель одновременно. Стадия ПОУГ определялась на основании комплексной оценки морфофункционального состояния зрительного нерва с использованием данных кинетической периметрии. Критерии исключения: наличие у пациентов нативного хрусталика, закрытоугольная или вторичная глаукома, ПОУГ I и IV стадии по классификации А.П. Нестерова и А.Я. Бунина [21], отсутствие подписанного информированного согласия на участие в исследовании.

Проникающее дренирующее антиглаукомное оперативное вмешательство выполнялось по стандартизированной методике СТЭ + БИ [22, 23] с использованием различных имплантируемых дренажей для улучшения оттока жидкости.

Оценка морфологических изменений в зоне фильтрации проводилась с использованием двух неинвазивных методов визуализации.

ОКТ переднего отрезка глаза проводилась на приборе NIDEK RS-3000 Advance (Япония) в режиме Radial Anterior Segment 6 и 16 мм и на приборе Topcon DRI OCT Triton (Япония). Использовался режим ОКТ-сканирования Radial Anterior seg. 6 mm Overlap 4 и Radial Anterior seg. 16 mm Overlap 4 с разрешением сканирования 1024×12 .

ОКТ выполнялась в различные сроки после операции (через 1 день, 1 нед, 1, 3, 6 мес), в том числе и в раннем послеоперационном периоде, когда проведение УБМ невозможно. Целью проведения ОКТ являлась оценка структур операционной зоны, а также частоты развития следующих ранних послеоперационных осложнений: 1) конъюнктивально-склерального рубцевания; 2) дислокации дренажа; 3) образования капсулы вокруг дренажа.

УБМ переднего отрезка глаза выполнялась на приборе UD-8000 (Томау, Япония) с использованием специализированного датчика с частотой 60 МГц. Обследование проводилось через 12 и 24 мес, когда можно оценить стабильный функциональный результат после формирования фильтрационной подушки (ФП), исключить влияние ранних послеоперационных осложнений и проанализировать отдаленные результаты дренажной хирургии глаукомы [20].

Оценивались следующие параметры: высота ФП; толщина склерального лоскута (СЛ); высота интрасклерального пространства (ИСП); акустическая плотность структур в зоне фильтрации (в процентах от плотности склеры, принятой за 100%).

В дополнение к УБМ и ОКТ всем пациентам проводился комплексный офтальмологический осмотр по стандартному протоколу. Этот осмотр включал в себя визометрию, рефрактометрию, компьютерную периметрию, офтальмотонометрию, тонографию, офтальмоскопию, биомикроскопию и гониоскопию.

Сроки контрольных осмотров и измерения ВГД — через 1 день, 1 нед, 1, 3, 6 и 12, 18 и 24 мес после операции — соответствовали рекомендациям Всемирной глаукомной ассоциации (World Glaucoma Association) [20].

Статистическую и математическую обработку данных, для сбора и хранения которых использовали пакет программ Microsoft Office 365 (пакет Excel), проводили на основе статистических пакетов языка программирования Python3.10 в среде IDE Visual Studio Code 1.76.1 (Universal). Для сравнения количественных показателей 3 и более групп при наличии нормального распределения применялся однофакторный

дисперсионный анализ, апостериорные сравнения проводились с помощью критерия Геймса — Хауэлла (при неравных дисперсиях). В случае распределения, отличного от нормального, сравнение выполнялось с помощью Н-критерия Краскела — Уоллиса, апостериорные сравнения — с помощью критерия Данна. Различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Оценка морфологических изменений в зоне фильтрации с использованием УБМ и ОКТ переднего отрезка на

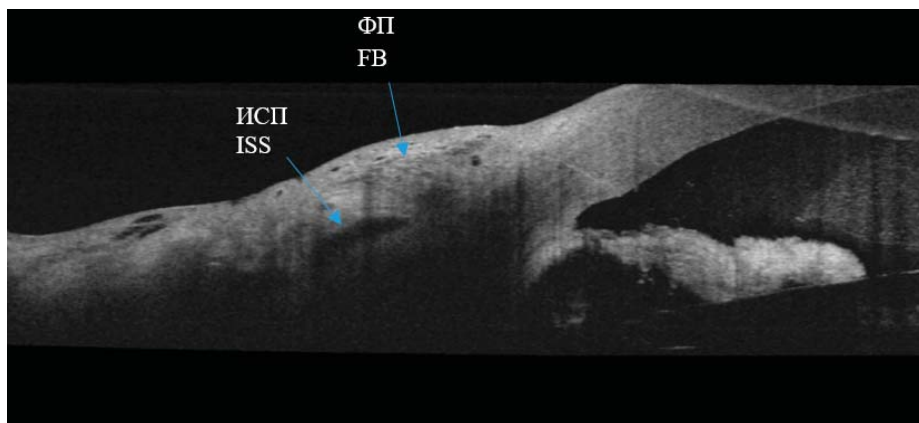


Рис. 1. ОКТ переднего отрезка глаза в зоне хирургического вмешательства с применением дренажа МП через 1 день. Хорошо визуализируется фильтрационная подушка (ФП) и интрасклеральное пространство (ИСП)

Fig. 1. OCT of the anterior segment of the eye in the surgical area with hydrophilic slowly resorbable collagen drainage MP placement, 1 day post operatively. The filtration bleb (FB) and intrascleral space (ISS) are clearly visualized

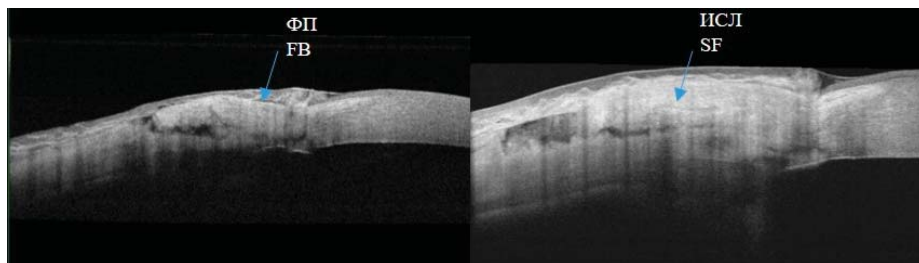


Рис. 2. ОКТ переднего отрезка глаза в зоне хирургического вмешательства без применения дренажей через 1 день после операции. Хорошо визуализируется плоская фильтрационная подушка (ФП) и интрасклеральный лоскут (ИСЛ) (стрелки)

Fig. 2. OCT of the eye anterior segment in the surgical area without drain placement, 1 day post operatively. A flat filtration bleb (FB) and scleral flap (SF) are clearly visualized (marked with arrows)

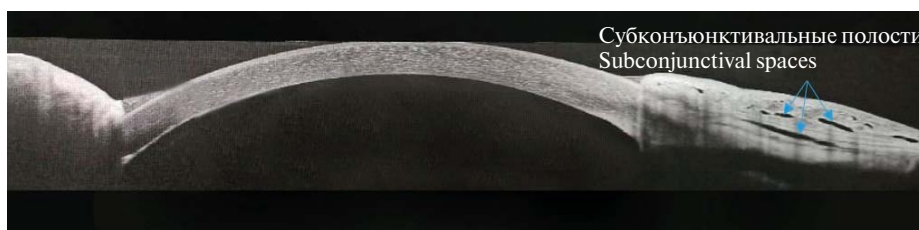


Рис. 3. ОКТ переднего отрезка глаза на 7-й день после антиглаукомной операции с применением дренажа Глаутекс. Отмечается состоятельная фильтрационная подушка за счет наличия субконъюнктивальных полостей, содержащих внутриглазную жидкость (стрелки)

Fig. 3. OCT of the anterior segment of the eye on day 7 after antiglaucoma surgery with GlauTex drain placement. A competent filtration bleb is observed, due to the presence of subconjunctival spaces containing intraocular fluid (marked with arrows)

разных сроках наблюдения позволила выявить существенные различия в формировании и стабильности фильтрационных путей у пациентов с артериальной гипертензией + БИ с применением различных типов дренажей.

На снимках ОКТ в раннем послеоперационном периоде у пациентов всех групп визуализировалась ФП и ИСП с содержимым низкой акустической плотности. Структуры имели вид плоской щели. Однако поверхностный СЛ был приподнят над ложем и создавал пространство для свободного оттока ВГЖ. На сканограммах пациентов с дренажом МП и группы контроля можно наблюдать отек конъюнктивы в зоне хирургического вмешательства, плоскую ФП и заметное ИСП (рис. 1, 2). В этот период отмечается значимое снижение ВГД: в 1-й группе — на 41,2% (до $17,3 \pm 3,2$ мм рт. ст.), во 2-й группе — на 39,9% (до $17,8 \pm 6,1$ мм рт. ст.), в 3-й группе — на 47% (до $15,8 \pm 2,9$ мм рт. ст.), в контроле — на 53,2% (до $14,8 \pm 5,5$ мм рт. ст.) (табл. 1).

Через 7 дней в каждой из изучаемых групп ФП при визуализации уже не выглядела как единое щелевидное пространство с равномерно низкой рефлексивностью содержимого. Вместо этого определялись зоны со средней и низкой оптической плотностью, что соответствовало типичной картине кистозных полостей (рис. 3).

Через месяц после оперативного вмешательства, по данным ОКТ, хирургически сформированные пути оттока оказались проходимыми и эффективно функционировали. Это подтверждается нормальными показателями ВГД и результатами тонографии, полученными на данном этапе во всех исследуемых группах. ФП четко визуализируется, выявляется ее многослойное строение с включением микрокист различной рефлексивности (низкой и средней). Однако в контрольной группе, а также при использовании дренажа МП отмечается уплощение ФП примерно в 2,5 раза (до $0,37 \pm 0,04$ мм) и формирование кистозных изменений в путях оттока, что свидетельствует о снижении

Таблица 1. Динамика ВГД у пациентов с артификацией на 1-е сутки и через 1, 6, 12, 18 и 24 мес после операции с использованием дренажей различных типов

Table 1. Dynamics of IOP in patients with pseudophakia on day 1 and in 1, 6, 12, 18, and 24 months after surgery using different types of drains

IOP measurement time points	Исследуемые группы Study groups				p-value
	группа 1 group 1 M ± SD	группа 2 group 2 M ± SD	группа 3 group 3 M ± SD	контроль control M ± SD	
До операции Before surgery	29,4 ± 7,8	29,6 ± 3,1	29,8 ± 7,5	31,6 ± 4,8	0,32
1 день 1 day	17,3 ± 3,2	17,8 ± 6,1	15,8 ± 2,9	14,8 ± 5,5	0,028 1-я группа / 3-я группа 0,013 1-я группа / контроль 0,021 2-я группа / контроль 0,028 group 1 / group 3 0,013 group 1 / control 0,021 group 2 / control
1 мес 1 month	18,86 ± 3,06	18,38 ± 2,15	19,00 ± 2,57	18,67 ± 3,44	0,833
6 мес 6 months	19,4 ± 2,1	19,0 ± 3,0	19,7 ± 2,5	18,33 ± 0,47	< 0,001 1-я группа / контроль < 0,001 2-я группа / контроль < 0,001001 3-я группа / контроль < 0,001 group 1 / control < 0,001 group 2 / control < 0,001001 group 3 / control
12 мес 12 months	18,6 ± 2,5	23,9 ± 5,6	18,8 ± 3,4	25,2 ± 5,2	< 0,001 1-я группа / 2-я группа < 0,001 1-я группа / контроль < 0,001 2-я группа / 3-я группа < 0,001 (3-я группа / контроль) < 0,001 group 1 / group 2 < 0,001 group 1 / control < 0,001 group 2 / group 3 < 0,001 (group 3 / control)
18 мес 18 months	19,0 ± 2,60	23,9 ± 4,0	23,9 ± 4,8	25,0 ± 5,5	< 0,001 1-я группа / 2-я группа < 0,001 1-я группа / 3-я группа < 0,001 1-я группа / контроль < 0,001 group 1 / group 2 < 0,001 group 1 / group 3 < 0,001 group 1 / control
24 мес 24 months	18,29 ± 3,67	18,60 ± 2,15	20,60 ± 3,95	24,7 ± 5,0	< 0,001 1-я группа / 2-я группа < 0,001 1-я группа / контроль < 0,001 2-я группа / 3-я группа < 0,001 3-я группа / контроль < 0,001 group 1 / group 2 < 0,001 group 1 / control < 0,001 group 2 / group 3 < 0,001 group 3 / control

их дренажной способности ($p < 0,05$). Интрасклеральная полость характеризуется отсутствием видимых включений, при этом ее объемы остаются сохранными (рис. 4). Положение радужки во всех случаях было физиологичным. Дренажи располагались корректно, без признаков смещения. Акустическая плотность ФП во всех группах, включая контрольную, была снижена (гипоэхогенность) и находилась в пределах 20–40%. Интрасклеральное пространство демонстрировало акустически негативный характер и не содержало включений. Акустическая плотность СЛ в группах с имплантированными дренажами составила 70–90%, тогда как в контрольной группе этот показатель варьировался от 55 до 90%. В анализируемый период отмечалась стабилизация ВГД во всех группах, включая контрольную. Так, у пациентов, перенесших антиглаукоматозное вмешательство с имплантацией дренажа, значения ВГД в 1-й группе составили $18,86 \pm 3,06$ мм рт. ст., во 2-й — $18,38 \pm 2,15$ мм рт. ст., в 3-й — $19,00 \pm 2,57$ мм рт. ст. В группе контроля этот показатель был равен $18,67 \pm 3,44$ мм рт. ст. (см. табл. 1).

Через 3 мес отмечается некоторое уплощение ФП во всех группах наблюдения с сохранением ИСП, начинают

появляться первые признаки конъюнктивально-склерального рубцевания, преимущественно в группе с применением дренажа Ксенопласт и в группе контроля, что отмечается повышением ВГД у части пациентов (рис. 5, 6). В периоде до полугода акустическая плотность ФП в группах с применением дренажей сохраняет прежние значения, ее содержимое гипоэхогенное. Но в группе контроля зафиксирован рост акустической плотности ФП, связанный с появлением гетерогенных включений (20–45%). Акустическая плотность ИСП во всех группах — 20–50%, акустическая плотность СЛ в группах с применением дренажей Глаутекс и МП — в пределах 70–90%, в группе с применением дренажа Ксенопласт — 60–90%, в контрольной группе — 55–90%.

Через 6 мес у пациентов всех групп отмечалась стабилизация ВГД. Однако на снимках ОКТ у ряда пациентов во всех группах визуализируется плоская ФП, отмечаются признаки конъюнктивально-склеральных и склеро-склеральных сращений (рис. 7, 8). Частота выявления данного осложнения составила 2,8% (1 глаз) в группе 1 (Глаутекс TDA), 5% (2 глаза) в группе 2 (МП), 5,7% (3 глаза) в группе 3 (ксенопласт) и

11,4% (4 глаза) в контрольной группе, где СТЭ выполнялась с БИ без имплантации дренажа.

Сравнение результатов УБМ на сроке 12 и 24 мес (на более ранних сроках применяли ОКТ) в группах с применением дренажей Глаутекс и Ксенопласт показало умеренное уплощение ФП, что свидетельствует о постепенной стабилизации фильтрационного процесса и формировании умеренно выраженного рубцевания в зоне фильтрации. Так, высота ФП изменилась от $0,58 \pm 0,23$ до $0,40 \pm 0,14$ мм в 1-й группе ($p < 0,001$), от $0,40 \pm 0,07$ до $0,38 \pm 0,21$ мм в 3-й группе ($p < 0,56$). В группе контроля и группе с применением дренажа МП наблюдалось противоположное изменение: высота ФП увеличилась от $0,45 \pm 0,02$ до $0,58 \pm 0,19$ мм ($p < 0,017$) и от $0,37 \pm 0,04$ до $0,42 \pm 0,12$ мм ($p < 0,001$) соответственно, что ассоциировалось с формированием кистозных изменений ФП, характеризующихся снижением

дренажной функции и склонностью к прогрессирующему повышению ВГД в отдаленном периоде (табл. 2). Так, у пациентов, перенесших антиглаукоматозное вмешательство с имплантацией дренажа, значения ВГД в эти сроки составили $18,29 \pm 3,67$ мм рт. ст. (1-я группа), $18,6 \pm 2,15$ мм рт. ст. (2-я группа), $20,60 \pm 3,95$ мм рт. ст. (3-я группа). В контрольной группе этот показатель был выше: $24,7 \pm 5,0$ мм рт. ст. (см. табл. 1).

Через 24 мес полный успех достигнут у 19 (56,7%) пациентов 1-й группы, у 15 (45,0%) пациентов 2-й группы, у 11 (32,5%) пациентов 3-й группы и у 8 (25,0%) пациентов группы контроля; признанный успех достигнут у 16 (43,3%) пациентов 1-й группы, у 20 (55,0%) пациентов 2-й группы, у 23 (61,8%) пациентов 3-й группы и у 32 (72,2%) пациентов группы контроля. Полная неудача, когда потребовалась повторная операция, отмечена у 2 (5,7%) пациентов 3-й группы и в одном (2,8%) случае в группе контроля.

Анализ состояния СЛ показал различную динамику в зависимости от типа дренажа. В группах с применением дренажей Глаутекс и МП к концу второго года наблюдения отмечено увеличение толщины СЛ с $0,29 \pm 0,01$ до $0,44 \pm 0,19$ мм и с $0,30 \pm 0,05$ до $0,46 \pm 0,17$ мм соответственно, что может быть связано с сохранением объема дренажного канала и препятствованием чрезмерному рубцеванию склеро-склеральных соединений. Напротив, в группе с имплантацией дренажа Ксенопласт и контрольной группе толщина СЛ снизилась с $0,40 \pm 0,19$ до $0,29 \pm 0,045$ мм и с $0,46 \pm 0,16$ до $0,34 \pm 0,05$ мм соответственно, что отражает более выраженную тенденцию к склерозированию и потере фильтрующей способности ($p < 0,001$ для всех сравнений) (см. табл. 2).

Особое значение в оценке долгосрочной эффективности антиглаукомных операций имеет динамика ИСП, отражающая проходимость хирургически созданного пути оттока ВГЖ.

К концу 2-го года после операции высота ИСП имела тенденцию к снижению в 1-й и 3-й группах и в группе контроля: в 1-й группе — с $0,31 \pm 0,06$ до $0,26 \pm 0,04$ мм ($p < 0,001$); в 3-й группе — с $0,33 \pm 0,08$ до $0,25 \pm 0,15$ мм ($p = 0,005$); в группе контроля — с $0,50 \pm 0,07$ до $0,35 \pm 0,08$ мм, что указывает на прогрессирующее сужение или облитерацию дренажного пути ($p < 0,001$). Максимальная высота ИСП отмечена во 2-й группе ($0,68 \pm 0,28$ мм), где импланти-

ровался частично резорбируемый дренаж. Этот эффект связан с низкой скоростью его биорезорбции, способствующей длительному поддержанию высоты ИСП. Экстремальные индивидуальные значения в данной группе достигали 1,01 мм (при длине склерального ложа 1,62 мм) и 0,7 мм (при длине склерального ложа 1,7 мм). Вместе с тем в ряде случаев визуализировались ИСП без признаков активной фильтрации, что указывало на их структурную, но не функциональную состоятельность и отражалось на повышении ВГД (см. табл. 2).

К концу наблюдения прогностическая значимость количественных УБМ-параметров (высоты ИСП и ФП) снижалась в большинстве групп. Решающее значение приобретали качественные характеристики: наличие кистозных изменений, появление гиперэхогенных включений. Эти из-

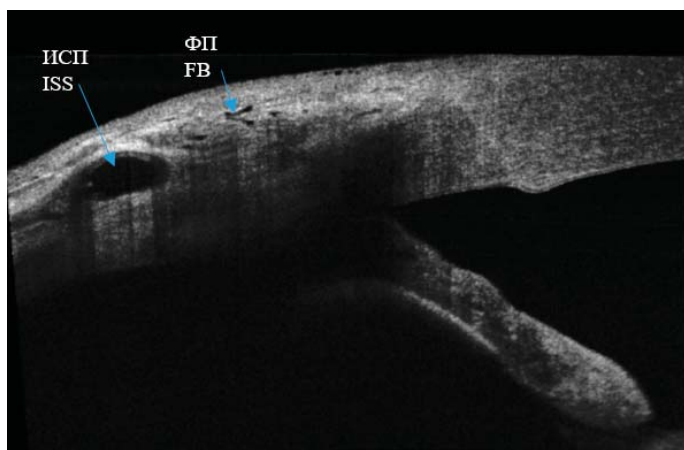


Рис. 4. ОКТ переднего отрезка глаза через 1 мес после антиглаукомной операции с применением дренажа МП. Отмечается фильтрационная подушка (ФП) с наличием микрокист низкой и средней рефлексивности, выраженное интрасклеральное пространство (ИСП) без эхогенных включений

Fig. 4. OCT of the eye anterior segment 1 month after antiglaucoma surgery with MP drain placement. A filtration bleb (FB) is observed, featuring microcysts of low to moderate reflectivity; a pronounced intrascleral space (ISS) is seen, with no echogenic inclusions

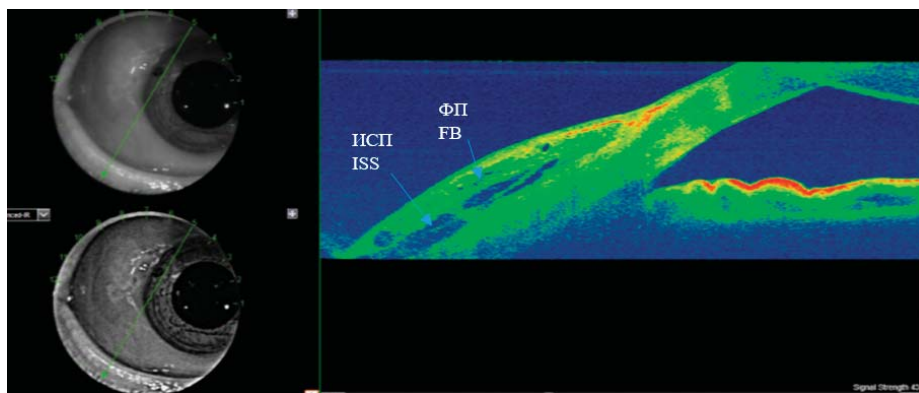


Рис. 5. ОКТ переднего отрезка глаза через 3 мес после антиглаукомной операции с применением дренажа Ксенопласт. Отмечается плоская фильтрационная подушка (ФП) с наличием микрокист низкой и средней рефлексивности, выраженное интрасклеральное пространство (ИСП) с экзогенными включениями и признаками склеро-склерального рубцевания

Fig. 5. OCT of the anterior segment of the eye 3 months after antiglaucoma surgery with Xenoplast drain placement. A flat filtration bleb (FB) is observed, featuring microcysts of low to moderate reflectivity; a pronounced intrascleral space (ISS) is seen, with echogenic inclusions and signs of sclero scleral scarring

Рис. 6. ОКТ переднего отрезка глаза через 3 мес после антиглаукомной операции без применения дренажа. Отмечается плоская фильтрационная подушка с наличием микрокист низкой и средней рефлексивности, интрасклеральное пространство не визуализируется, имеются признаки склеро-склерального рубцевания

Fig. 6. OCT of the eye anterior segment 3 months after antiglaucoma surgery without drainage. A flat filtration bleb is observed, featuring microcysts of low to moderate reflectivity; a intrascleral space is not visualized, there are signs of sclero-scleral scarring

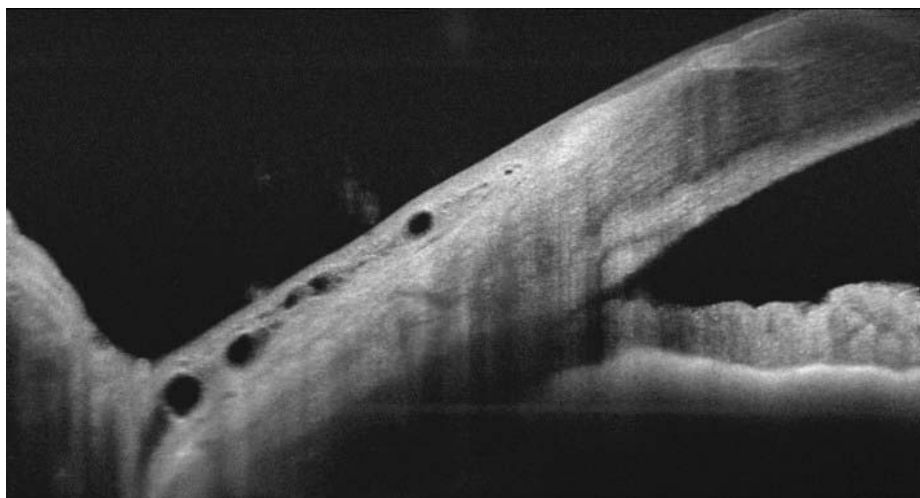


Рис. 7. ОКТ переднего отрезка глаза через 6 мес после СТЭ + БИ. Визуализируется склеральный лоскут (СЛ) и признаки конъюнктивно-склеральных и склеро-склеральных сращений

Fig. 7. OCT of the anterior segment of the eye 6 months after STE + BI. The scleral flap (SF) and signs of conjunctival scleral and sclero-scleral adhesions are visualized

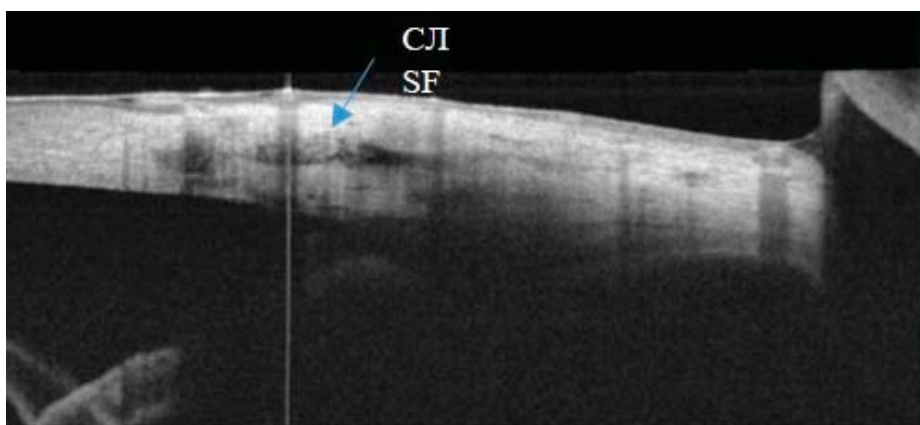
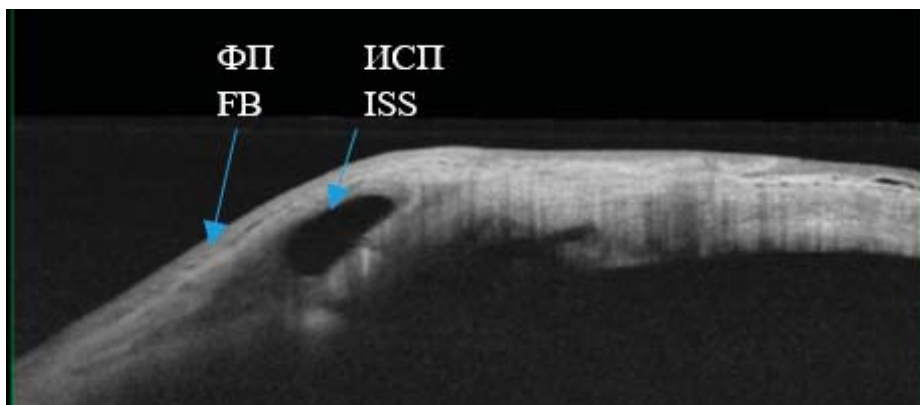


Рис. 8. ОКТ переднего отрезка глаза пациента через 6 мес после антиглаукомной операции с применением дренажа МП. Отмечается плоская, кистозно измененная фильтрационная подушка (ФП) с признаками конъюнктивно-склерального рубцевания. Интрасклеральное пространство (ИСП) сохраняет объем

Fig. 8. OCT of eye anterior segment 6 months after antiglaucoma surgery with the use of an MP drain. A flat, cystic altered filtering bleb (FB) with signs of conjunctival scleral scarring is observed. The intrascleral space (ISS) maintains its volume



менения, наряду с поствоспалительным склерозированием путей оттока, нивелировали связь между анатомическими размерами и функциональным результатом.

По данным разных авторов, высота ФП всегда подлежит оценке и является важной характеристикой сформированной фильтрационной зоны [16]. Однако учет только лишь этого параметра не позволяет оценить функционирование путей оттока. При высоких подушках ВГД в ряде случаев может повышаться из-за их кистозных изменений или инкапсуляции, а плоская подушка не всегда является признаком потери дренажной функции, и при нормотонии указывает лишь на то, что сформировался иной путь оттока ВГЖ. В нашем исследовании также выявлено, что высота ФП не всегда

коррелирует с ВГД. Однако использование УБМ (на более поздних этапах) и ОКТ позволяет безопасно определить степень экзогенности фильтрационной зоны и наличие конъюнктивно-склеральных и склеро-склеральных сращений, что является неоценимым вкладом в диагностику пациентов после антиглаукомных операций для прогнозирования их эффективности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По данным УБМ и ОКТ, резорбируемые и частично резорбируемые дренажи — Глаутекс и МП — обеспечивают более устойчивое поддержание объема ИСП и ФП в отдаленном периоде, способствуя более длительному сохране-

нию функциональной проходимости фильтрационного пути, чем нерезорбируемый ксенопласт и традиционная СТЭ + БИ без использования дренажа. Применение данных дренажей способствует более длительному и стабильному поддержанию нормального офтальмотонуса у пациентов с артефакцией.

Литература/References

1. Федеральная служба государственной статистики. Демография. [Электронный ресурс.] URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/12781> (дата обращения: 03.05.2021). [Federal State Statistics Service. Demography [Electronic resource]. <https://rosstat.gov.ru/folder/12781> (date of access: 03.05.2021) (In Russ.)]
2. Сахнов С.Н. Организация раннего выявления глаукомы и прогнозирования с учетом компьютерного скрининга медико-социальных факторов риска. *Здравоохранение Российской Федерации*. 2018; 62 (4): 197–200. [Sakhnov S.N. The organization of early detection of glaucoma and its prognostication considering digital screening of medical social risk factors. *Health Care of the Russian Federation*. 2018; 62 (4): 197–200 (In Russ.)]. <http://dx.doi.org/10.18821/0044-197X-2018-62-4-197-200>
3. Репринцев А.В., Рыжаева В.Н. Сравнительный анализ распространенности глаукомы в ряде регионов России. *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2019; 6: 189–92. [Reprintsev A.V., Ryzaeva V.N. Comparative analysis of the prevalence of glaucoma in several regions of Russia. *Actual problems of the humanities and natural sciences*. 2019; 6: 189–92 (In Russ.)].
4. Всемирный доклад о проблемах зрения. Женева: Всемирная организация здравоохранения; 2020 [Электронный ресурс]. [World report on vision. Geneva: World Health Organization; 2020 (Electronic resource) (In Russ.)]. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/328717/9789240017207-rus.pdf>
5. Bikbov MM, Kazakbaeva GM, Zainullin RM, et al. Intraocular pressure and its associations in a Russian population: the Ural eye and medical study. *Am J Ophthalmol*. 2019; 204: 130–9. doi: 10.1016/j.ajo.2019.02.030
6. Bikbov MM, Gilmanshin TR, Zainullin RM, et al. Prevalence and associated factors of glaucoma in the Russian Ural eye and medical study. *Sci Rep*. 2020; 10 (1): 20307. doi: 10.1038/s41598-020-77344-z
7. Клинические рекомендации. Глаукома первичная открытоугольная. 2020. [Clinical guidelines. Primary open-angle glaucoma. 2020 (In Russ.)].
8. Гаврилова Т.В., Любимов К.С., Мухамадеева С.Н., Черешнева М.В. Наш опыт использования современных дренажей в хирургии глаукомы. *Российский офтальмологический журнал*. 2020; 13 (1): 71–6. [Gavrilova T.V., Lyubimov K.S., Mukhamadeeva S.N., Cheresheva M.V. Using of modern types of drainage in glaucoma surgery: our experience. *Russian ophthalmological journal*. 2020; 13 (1): 71–6 (In Russ.)]. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2020-13-1-71-76>
9. Фролов М.А., Рябей А.В., Фролов А.М. Результаты хирургического лечения глаукомы методом синустрабекулектomie с дренированием передней камеры и супрахориоидального пространства аутосклерой. *Вестник офтальмологии*. 2020; 136 (3): 46–50. [Frolov M.A., Ryabey A.V., Frolov A.M. Results of surgical treatment of glaucoma using sinustrabeculectomy modified for drainage of anterior chamber and suprachoroidal space by autoscлера. *Vestnik oftal'mologii*. 2020; 136 (3): 46–50 (In Russ.)]. <https://doi.org/10.17116/oftalma202013603146>
10. Мамиконян В.Р., Петров С.Ю., Сафонова Д.М. Ингибиторы VEGF в глаукомной хирургии. *Офтальмологические ведомости*. 2016; 9 (1): 47–55. [Mamikonyan V.R., Petrov S.Yu., Safonova D.M. VEGF inhibitors in glaucoma surgery. *Ophthalmology reports*. 2016; 9 (1): 47–55 (In Russ.)]. doi: 10.17816/ov9147-55
11. Ботабекова Т.К., Еричев В.П., Алдашева Н.А., Булгакова А.А., Хачатрян Г.К. Композитный дренаж в хирургии глаукомы. *Национальный журнал Глаукома*. 2021; 20 (1): 17–25. [Botabekova T.K., Elichev V.P., Aldasheva N.A., Bulgakova A.A., Hachatryan G.K. Composite drainage in glaucoma surgery. *National*

Таблица 2. Результаты ультразвуковой биомикроскопии (УБМ) переднего отрезка глаза пациентов с артефакцией через 12 (Т₁) и 24 мес (Т₂) после антиглаукомной операции (М ± SD)

Table 2. Results of ultrasound biomicroscopy (UBM) of the eye anterior segment in pseudophakic patients 12 (T₁) and 24 (T₂) months after antiglaucoma surgery (M ± SD)

Параметры УБМ Parameters of UBM	Исследуемые группы Study groups				p-value
	1 (Глаутекс) 1 (GlauteX)	2 (МП) 2 (MP)	3 (Ксенопласт) 3 (Xenoplast)	4 (СТЭ + БИ) 4 (STE + BI)	
Высота ФП, мм FB height, mm					
T ₁	0,58 ± 0,23	0,37 ± 0,04	0,40 ± 0,07	0,45 ± 0,02	< 0,001
T ₂	0,40 ± 0,14	0,42 ± 0,12	0,38 ± 0,21	0,58 ± 0,19	< 0,001
Толщина СЛ, мм SF thickness, mm					
T ₁	0,29 ± 0,01	0,30 ± 0,05	0,40 ± 0,19	0,46 ± 0,16	< 0,001
T ₂	0,44 ± 0,19	0,46 ± 0,17	0,29 ± 0,045	0,34 ± 0,05	< 0,001
Высота ИСП, мм ICS height, mm					
T ₁	0,31 ± 0,06	0,35 ± 0,07	0,33 ± 0,08	0,50 ± 0,07	< 0,001
T ₂	0,26 ± 0,04	0,68 ± 0,28	0,25 ± 0,15	0,35 ± 0,08	< 0,001
p-value	¹ < 0,001 ² < 0,001 ³ < 0,001	¹ 0,017 ² < 0,001 ³ < 0,001	¹ 0,56 ² 0,001 ³ 0,005	¹ < 0,001 ² < 0,001 ³ < 0,001	

Примечание. ¹ — сравнение параметров фильтрационной подушки (ФП) внутри исследуемой группы; ² — сравнение склерального лоскута (СЛ) внутри исследуемой группы; ³ — сравнение интрасклерального пространства (ИСП) внутри исследуемой группы; БИ — базальная иридэктомия; СТЭ — синустрабекулектomia.

Note. ¹ — comparison of the filtering bleb (FB) parameters within the study group; ² — comparison of the surgical flap (SF) within the study group; ³ — comparison of the intrascleral space (ICS) within the study group; BI — basal iridectomy; STE — sinus trabeculectomy.

Journal Glaucoma. 2021; 20 (1): 17–25 (In Russ.)]. <https://doi.org/10.25700/NJG.2021.01.02>

12. Захарова И.А., Махмутов В.Ю., Авдеев Р.В., Варакина И.С., Черных Е.Н. Способы профилактики рубцевания при хирургическом лечении глаукомы. *Вестник экспериментальной и клинической хирургии* 2016; 1: 81–7. [Zakharova I.A., Makhmutoy V.Yu., Avdeev R. V., Varakina I.S., Chernykh E.N. A method for preventing scarring from surgical treatment of glaucoma. *Bulletin of experimental and clinical surgery* 2016; 1: 81–7 (In Russ.)]. doi: 10.18499/2070-478X-2016-9-1-81-87
13. Schlunck G, Meyer-ter-Vehn T, Klink T, Grehn F. Conjunctival fibrosis following filtering glaucoma surgery. *Exp Eye Res*. 2016 Jan; 142: 76–82. doi: 10.1016/j.exer.2015.03.021
14. Сорокин Е.Л., Поступаев А.В., Поступаева Н.В. Частота и основные причины рецидивов подъема уровня внутриглазного давления после проведения микроинвазивной хирургии глаукомы. *Современные технологии в офтальмологии*. 2017; 2: 54–7. [Sorokin E.L., Postupaev A.V., Postupaeva N.V. Frequency and main causes of recurrent increases in intraocular pressure after microinvasive glaucoma surgery. *Modern technologies in ophthalmology*. 2017; 2: 54–7 (In Russ.)].
15. Khaw PT, Bouremel Y, Brocchini S, Henein C. The control of conjunctival fibrosis as a paradigm for the prevention of ocular fibrosis-related blindness. Fibrosis has many friends. *Eye (Lond)*. 2020 Dec; 34 (12): 2163–74. doi: 10.1038/s41433-020-1031-9
16. Петров С.Ю. Классификации фильтрационных подушек. *Национальный журнал глаукома* 2014; 2: 85–98. [Petrov S.Yu. Filtering bleb classifications. *National Journal glaucoma*. 2014; 13 (2): 85–98 (In Russ.)].
17. Тахчиди Е.Х., Козлова Н.А. Оптическая когерентная томография переднего отрезка глаза и ее применение для оценки зоны антиглаукоматозной операции. *Практическая медицина*. 2012; 4 (59): 147–9. [Takhchidi E. H., Kozlova N. A. Optical coherence tomography of the anterior segment of the eye and its application to assess the area of antiglaucomatous surgery. *Practical medicine*. 2012; 4 (59): 147–9 (In Russ.)].
18. Водовозов А. М. Толерантное и интолерантное внутриглазное давление при глаукоме. Волгоград: Волгоградский медицинский институт, 1991. [Vodovozov A. M. Tolerant and Intolerant Intraocular Pressure in Glaucoma. Volgograd: Volgograd Medical Institute, 1991 (In Russ.)].
19. Петров С.Ю. Целевой уровень внутриглазного давления в оценке гипотензивной эффективности антиглаукомных операций. *Офтальмология*. 2014; 11 (4): 4–9. [Petrov S.Yu. Target IOP as a measure of glaucoma surgery efficacy. *Ophthalmology in Russia*. 2014; 11 (4): 4–9 (In Russ.)]. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2014-4-4-9>

20. The Fluorouracil Filtering Surgery Study Group. Five-year follow-up of the Fluorouracil Filtering Surgery Study. *Am J Ophthalmol.* 1996 Apr; 121 (4): 349–66. doi: 10.1016/s0002-9394(14)70431-3
21. Нестеров А.П., Бунин А.Я. О новой классификации первичной глаукомы. *Вестник офтальмологии.* 1977; 5: 38–43. [Nesterov A.P., Bunin A.Ya. New classification of primary glaucoma. *Vestnik oftal'mologii.* 1977; 5: 38–43 (In Russ.)]
22. Егоров Е.А., Еричев В.П., ред. Национальное руководство по глаукоме для практикующих врачей. Москва: ГЭОТАР-Медиа; 2019. [Egorov E.A., Elichev V.P., eds. National Guide to Glaucoma for Practicing Physicians. Moscow: GEOTAR-Media; 2019. (In Russ)].
23. European Glaucoma Society Terminology and Guidelines for Glaucoma. 5th ed. Savona: PubliComm; 2020. https://eugs.org/educational_materials/6

Вклад авторов в работу: Ю.Г. Копченова — разработка концепции и дизайна исследования, сбор данных и их интерпретация, написание статьи; М.А. Фролов, А.М. Фролов — разработка концепции и дизайна исследования; О.И. Оренбуркина — сбор данных и их интерпретация, редактирование и финальная подготовка статьи к публикации; М.П. Толстых, Ф.Т. Дулани — сбор и анализ данных.

Author's contribution: Yu.G. Kopchenova — development of the concept and design of the study, data collection and interpretation, writing of the article; M.A. Frolov, A.M. Frolov — development of the concept and design of the study; O.I. Orenburkina — data collection and interpretation, editing and final preparation of the article for publication; M.P. Tolstykh, F.T. Dulani — data collection and analysis.

Поступила: 16.03.2026. Переработана: 20.04.2026. Принята к печати: 23.04.2026
Originally received: 16.03.2026. Final revision: 20.04.2026. Accepted: 23.04.2026

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ/INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

¹ ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы», ул. Миклухо-Маклая, д. 6, Москва, 117198, Россия

² ГБУЗ Москвы «Московский клинический научно-исследовательский центр больницы № 52» Департамента здравоохранения города Москвы, ул. Пехотная, д. 3, Москва, 132182, Россия

³ Всероссийский центр глазной и пластической хирургии ФГБОУ ВО БГМУ Минздрава России, ул. Зорге, д. 61, Уфа, 450075, Россия

Юлия Геннадьевна Копченова — ассистент кафедры глазных болезней¹, заведующая офтальмологическим отделением², ORCID 0000-0003-3940-0178

Михаил Александрович Фролов — д-р мед. наук, профессор, заведующий кафедрой глазных болезней¹, ORCID 0000-0002-9833-6236

Ольга Ивановна Оренбуркина — д-р мед. наук, доцент кафедры глазных болезней¹, директор³, ORCID 0000-0001-6815-8208

Александр Михайлович Фролов — канд. мед. наук, доцент кафедры глазных болезней¹, ORCID 0000-0003-0988-1361

Фаваз Тарек Дулани — аспирант кафедры глазных болезней¹, врач-офтальмолог офтальмологического отделения², ORCID 0000-0001-9171-6095

Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И. Евдокимова, ул. Десятская, д. 20, стр. 1, Москва, 127479, Россия

Михаил Петрович Толстых — д-р мед. наук, профессор, заведующий кафедрой анатомии человека лечебного факультета, ORCID 0000-0002-9227-1136

Для контактов: Юлия Геннадьевна Копченова,
kopchenova.yulia@yandex.ru

¹ Patrice Lumumba Peoples' Friendship University of Russia, 6, Miklukho-Maclay St., Moscow, 117198, Russia

² Moscow Clinical Science and Research Center 52, 3, Pekhotnaya St., Moscow, 132182, Russia

³ Russian Center for Eye and Plastic Surgery of the Bashkir State Medical University, 61, Zorge St., Ufa, 450075, Russia

Yulia G. Kopchenova — assistant professor of the chair of eye diseases¹, head of the department of ophthalmology², ORCID 0000-0003-3940-0178
Mikhail A. Frolov — Dr. of Med. Sci., professor, head of chair of eye diseases¹, ORCID 0000-0002-9833-6236

Olga I. Orenburkina — Dr. of Med. Sci., professor, associate professor of chair of eye diseases¹, director³, ORCID 0000-0001-6815-8208

Alexander M. Frolov — Cand. of Med. Sci., associate professor of chair of eye diseases¹, ORCID 0000-0003-0988-1361

Favaz Tarek Dulani — PhD of chair of eye diseases¹, ophthalmologist², ORCID 0000-0001-9171-6095

A.I. Yevdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry, 20, block 1, Delegatskaya St., Moscow, 127479, Russia

Mikhail P. Tolstykh — Dr. of Med. Sci., professor, head of chair of human anatomy, faculty of medicine, ORCID 0000-0002-9227-1136

For contacts: Yulia G. Kopchenova,
kopchenova.yulia@yandex.ru

<https://doi.org/10.21516/2072-0076-2026-19-2-93-99>



Перспективные возможности оценки влияния склеропластики при высокой миопии на гемодинамику глаза

Г.А. Маркосян, Е.П. Тарутта, С.В. Милаш, В.Н. Папян[✉], О.В. Проскурина

ФГБУ «НМИЦ глазных болезней им. Гельмгольца» Минздрава России, ул. Садовая-Черногрозская, д. 14/19, Москва, 105062, Россия

Цель работы — оценить изменения толщины хориоидеи (ТХ) и показателей офтальмогемодинамики у пациентов с высокой прогрессирующей близорукостью до и после бандажирующей склеропластики (БСП) с помощью оптической когерентной томографии (ОКТ) и лазерной спекл-флоуграфии (LSFG). **Материал и методы.** Обследовано 42 человека (42 глаза) в возрасте $13,0 \pm 1,8$ года с прогрессирующей близорукостью высокой степени, которая по сферэквиваленту (СЭ) в среднем составила $10,4 \pm 3,3$ дптр, и длиной переднезадней оси (ПЗО), равной в среднем $27,6 \pm 1,6$ мм. БСП проводилась по видоизмененной методике Снайдера — Томпсона в собственной модификации. ТХ измеряли на мультимодальной платформе SLO/OCT Mirante (Nidek, Япония). Оценку кровотока в макулярной области проводили на приборе LSFG-RetFlow (Nidek, Япония) с определением средней скорости размытости изображения (Mean Blur Rate — MBR). **Результаты.** Через 1 мес после операции в центре макулярной зоны выявлено статистически значимое увеличение ТХ по сравнению с исходным уровнем на $34,6$ мкм ($p \leq 0,05$), через 6 мес — на $18,8$ мкм и через 12 мес — на $11,8$ мкм. По данным LSFG, после БСП отмечалась тенденция к нарастающему увеличению хориоидального кровотока, которое к концу срока наблюдения составило $20,4\%$. Корреляция между динамикой показателей интенсивности кровенаполнения хориоидеи и скорости кровотока определялась только через 1 мес после БСП, что подтверждалось параллельным увеличением ТХ на $17,6\%$ и повышением MBR на $10,9\%$, однако в дальнейшем (через 6 и 12 мес) первый показатель снижался, в то время как второй сохранял тенденцию к повышению. **Заключение.** Использование методов ОКТ и LSFG позволило установить связь между изменениями показателей кровенаполнения хориоидеи (ТХ) и скоростью кровотока (MBR). Полученные результаты уточняют механизмы стимулирующего влияния БСП на микроциркуляцию в сосудистой оболочке глаза у пациентов с миопией высокой степени.

Ключевые слова: близорукость; бандажирующая склеропластика; гемодинамика; толщина хориоидеи; показатель средней скорости размытости изображения

Конфликт интересов: отсутствует.

Прозрачность финансовой деятельности: никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

For citation: Маркосян Г.А., Тарутта Е.П., Милаш С.В., Папян В.Н., Проскурина О.В. Перспективные возможности оценки влияния склеропластики при высокой миопии на гемодинамику глаза. Российский офтальмологический журнал. 2026; 19 (2): 93-9. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2026-19-2-93-99>

Prospective possibilities for assessing the impact of scleroplasty in high myopia on ocular hemodynamics

Gayane A. Markosyan, Elena P. Tarutta, Sergey V. Milash, Violetta N. Papyan[✉], Olga V. Proskurina

Helmholtz National Medical Research Center of Eye Diseases, 14/19, Sadovaya-Chernogryazskaya St., Moscow, 105062, Russia
violettapapyan@gmail.com

Purpose of the study was to evaluate changes in choroidal thickness (CT) and hemodynamics parameters in patients with high progressive myopia before and after banding scleroplasty (BSP) using optical coherence tomography (OCT) and laser speckle flowgraphy (LSFG). **Material and methods.** The study included 42 patients (42 eyes) aged 13.0 ± 1.8 years with high progressive myopia, which according to the spherical equivalent (SE) averaged 10.4 ± 3.3 D, and the axial length (AL) equal to an average of 27.6 ± 1.6 mm. BSP was performed using a modified Snyder—Thompson technique in our own modification. CT was measured on a multimodal SLO/OCT Mirante multimodal platform (Nidek, Japan). Blood flow in the macular area was assessed using the LSFG-RetFlow instrument (Nidek, Japan) with the determination of the mean blur rate (MBR). **Results.** One month after surgery, a statistically significant increase in TC was detected in the center of the macular zone compared to the baseline level by $34.6 \mu\text{m}$ ($p \leq 0.05$), after 6 months by $18.8 \mu\text{m}$, and after 12 months by $11.8 \mu\text{m}$. According to LSFG data, a trend towards an increasing in choroidal blood flow was noted after BSP, which by the end of the observation period amounted to 20.4%. A correlation between the dynamics of choroidal blood filling intensity and blood flow velocity was determined only 1 month after BSP, which was confirmed by a parallel increase in TC by 17.6% and an increase in MBR by 10.9%. However, subsequently (after 6 and 12 months), the former indicator decreased, while the latter maintained an upward trend. **Conclusion.** The use of OCT and LSFG methods allowed us to establish a relationship between changes in choroidal blood filling (TC) and blood flow velocity (MBR). The obtained results clarify the mechanisms of the stimulating effect of BSP on choroidal microcirculation in patients with high myopia.

Keywords: myopia; banding scleroplasty; hemodynamics; choroidal thickness; mean blur rate

Conflict of interest: there is no conflict of interest.

Financial disclosure: no author has a financial or property interest in any material or method mentioned.

For citation: Markosyan G.A., Tarutta E.P., Milash S.V., Papyan V.N., Proskurina O.V. Prospective possibilities for assessing the impact of scleroplasty in high myopia on ocular hemodynamics. Russian ophthalmological journal. 2026; 19 (2): 93-9 (In Russ.). <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2026-19-2-93-99>

Близорукость — распространенное во всем мире заболевание, которым в настоящее время страдает более 28,3% населения. По прогнозам, к 2050 г. этот показатель вырастет до 49,8%, а распространенность миопии высокой степени увеличится с 4,0 до 9,8% [1, 2]. Близорукость высокой степени и осложнения, связанные с ее прогрессированием, оказывают серьезное влияние на зрительные функции и являются одной из основных причин ухудшения зрения и слепоты, а также основным фактором риска развития патологической миопии. Последняя характеризуется миопической макулопатией, включающей различные опасные для зрения состояния, такие как хориоретинальная атрофия, лаковые трещины, задняя стафилома, тракционный синдром и хориоидальная неоваскуляризация [3–5]. Укрепление заднего полюса глаза в настоящее время рассматривается как эффективный метод хирургического лечения, направленный на замедление прогрессирования близорукости, снижение частоты осложнений за счет улучшения кровоснабжения сетчатки и сосудистой оболочки, снижение напряжения в оболочках глаза, увеличение прочности склеры, т. е. оказывающий биостимулирующее и биомеханическое воздействие на ткани глаза [6–10].

Важно правильно выбрать возраст для проведения бандажирующей склеропластики (БСП), не дожидаясь дегенеративных изменений, так как склероукрепляющее лечение не может обратить вспять существующие структурные повреждения центральных и периферических отделов глазного дна, но позволяет замедлить дальнейшее осевое удлинение за счет укрепления склеральной оболочки, особенно в области заднего полюса глаза. Такая биомеханическая стабилизация снижает риск отслоения сетчатки и атрофии сосудистой оболочки [11–13]. Кроме того, БСП, уменьшая напряжение в оболочках глазного яблока, приводит к улучшению кровотока в сосудах хориоидеи и повышению эффективности метаболизма в сетчатке, что сопровождается нормализацией функциональных показателей и снижением риска осложнений [14–18].

В этом отношении представляет интерес оценка толщины хориоидеи (ТХ) и гемодинамики центральной зоны

сетчатки у пациентов после БСП. С этой целью может быть использована оптическая когерентная томография (ОКТ), позволяющая визуализировать хориоидею и измерить ее толщину, а также лазерная спекл-флоугграфия (LSFG), позволяющая оценить кровоток в сетчатке и сосудистой оболочке [19–21].

ЦЕЛЬ работы — оценить изменения ТХ и показателей офтальмогемодинамики у пациентов с высокой прогрессирующей миопией до и после БСП с помощью ОКТ и LSFG.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Обследовано 42 человека (42 глаза) в возрасте $13,0 \pm 1,8$ года с прогрессирующей близорукостью высокой степени, которая в среднем по сферэквиваленту составила $10,4 \pm 3,3$ дптр, и длиной переднезадней оси (ПЗО), в среднем равной $27,6 \pm 1,6$ мм. Всем пациентам проводилась БСП по видеоизмененной методике Снайтера — Томпсона. После кругового разреза конъюнктивы и теноновой капсулы по лимбальному краю, в отличие от стандартной методики Снайтера — Томпсона, трансплантат сначала проводили под нижнюю косую мышцу сверху вниз и его нижний конец подводили под нижнюю прямую мышцу, затем верхний конец трансплантата проводили под наружной и верхней прямыми мышцами, не фиксируя к склере пациента. Затем хирург двумя пинцетами удерживал оба конца трансплантата, подтягивая их в носовую сторону так, чтобы трансплантат расположился на заднем полюсе. Излишки длины трансплантата отсекали, и его концы с небольшим натяжением фиксировали к склере пациента нерассасывающимся шовным материалом. Пациентов обследовали до операции и в сроки 1, 6 и 12 мес после нее. Помимо стандартного офтальмологического обследования, у всех пациентов оценивали ТХ и показатели кровотока в макулярной области.

ТХ измеряли на мультимодальной платформе SLO/OCT Mirante (Nidek, Япония) с применением программного обеспечения Navis-EX 1.12.0. Изображения хориоидеи в макулярной области получали за счет использования протоколов сканирования Macula radial в режиме Choroidal 6 радиальных сканов длиной 12 мм, центрированных в фовеа.

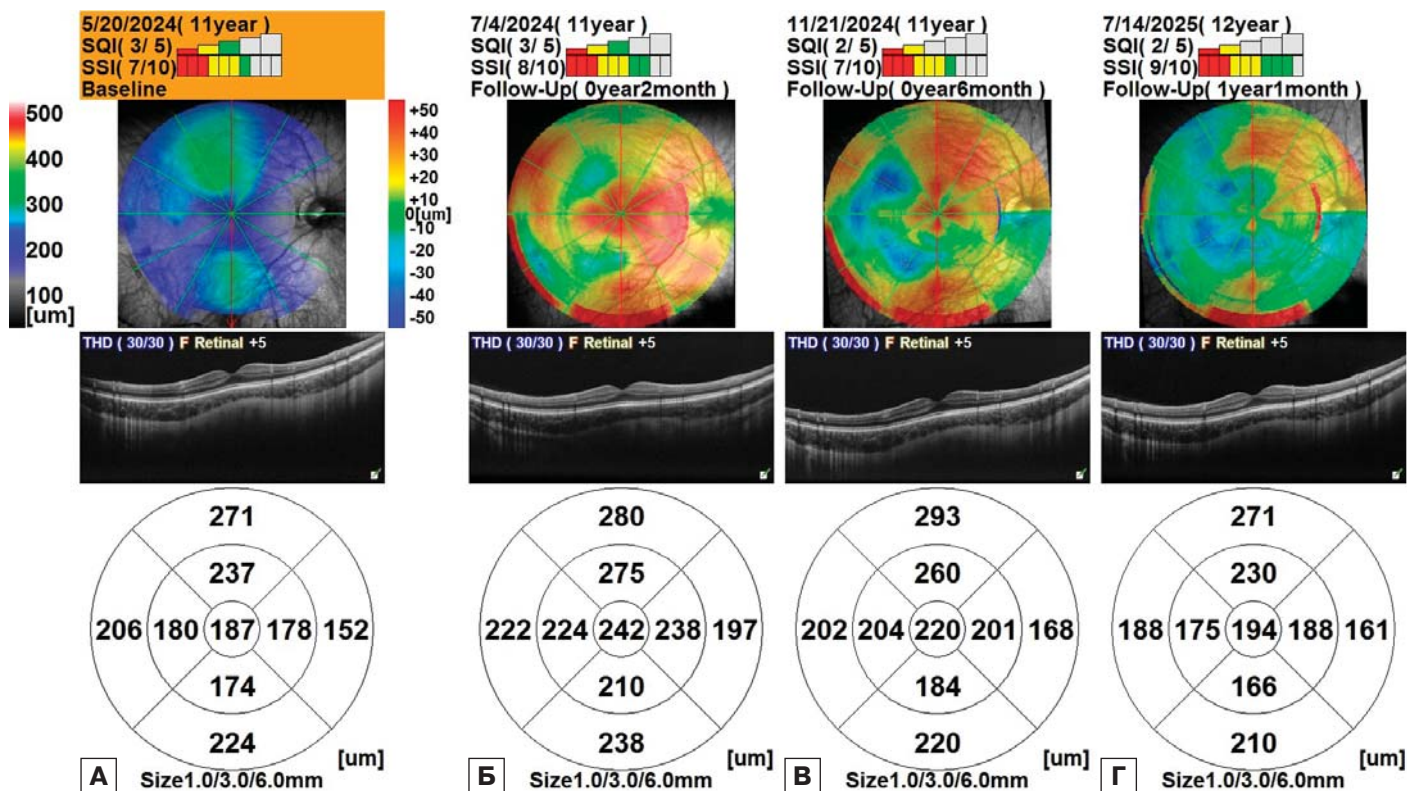


Рис. 1. Примеры исследований с использованием ОКТ в режиме Follow app до операции (А) и через 1 мес (Б), 6 мес (В) и 12 мес (Г) после БСП
Fig. 1. Representative OCT images obtained in the Follow-up mode: (A) before surgery, and 1 month (Б), 6 months (В), and 12 months (Г) after scleral reinforcement surgery

Каждое радиальное ОКТ-изображение представляло собой среднее значение из 30 сканов с настройками Fine. Для каждого полученного радиального изображения опытный оператор вручную определял границы хорио-склерального интерфейса, внутренняя граница сосудистой оболочки и пигментного эпителия сетчатки (ПЭС) (граница между ПЭС и мембраной Бруха) определялась автоматически программным обеспечением прибора. ТХ определялась как расстояние от границы ПЭС / мембрана Бруха до хорио-склерального интерфейса с получением карты диаметром 6 мм в соответствии с the Early Treatment Diabetic Retinopathy Study (ETDRS). Анализируемая область разделялась на три concentric окружности с диаметром 1, 3 и 6 мм: центральная зона фовеа, внутренняя зона макулы и внешняя зона макулы соответственно. Далее зоны делились на 9 участков: inner-superior (SI), outer-superior (SO), inner-nasal (NI), outer-nasal (NO), inner-inferior (II), outer-inferior (IO), inner-temporal (TI), outer-temporal (TO) и central foveal zone (F) — с указанием среднего значения ТХ по 6 радиальным сканам в каждом. Повторные измерения проведены с использованием режима Follow app, за эталон было принято первое исследование (рис. 1) [22].

Оценку кровотока проводили с помощью LSFG-RetFlow (Nidek, Япония) в макулярной области. Средняя интенсивность сигнала визуализировалась в виде составной карты, отображающей распределение кровотока в течение

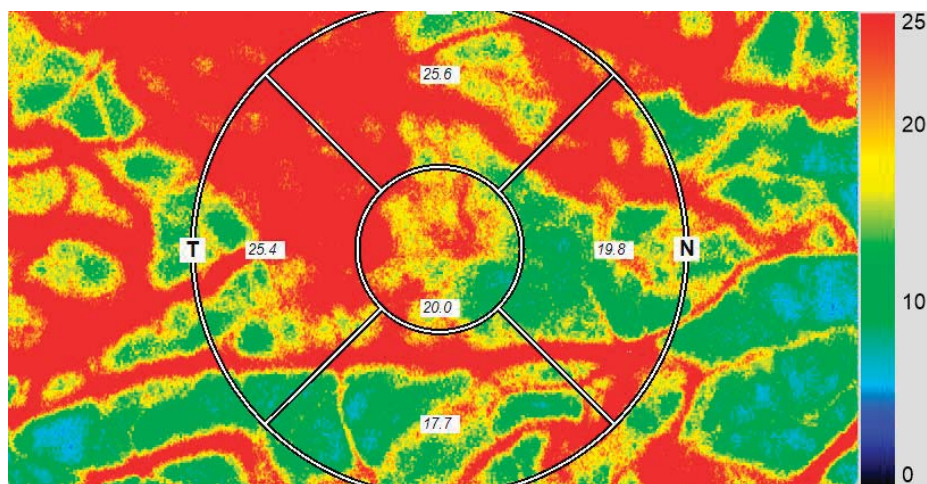


Рис. 2. Изображение кровотока в области макулы на приборе LSFG-RetFlow (Nidek)
Fig. 2. Macular blood flow imaging obtained with the LSFG-RetFlow system (Nidek)

одного сердечного цикла. На полученных изображениях выделяли область интереса в виде стандартной сетки ETDRS диаметром 3 мм с центром в фовеа. Параметры кровотока анализировали в пределах выделенной зоны (рис. 2). Основным показателем, определяемым с помощью LSFG, носит название «средняя скорость размытости изображения» (Mean Blur Rate — MBR). MBR является мерой относительной скорости кровотока и выражается в условных единицах. Специализированное программное обеспечение LSFG Analyzer вычисляет MBR на основе интенсивности спекл-рисунка для каждой конкретной точки в конкретный момент [23–28].

Статистическую обработку осуществляли при помощи программы Excel Microsoft, в качестве основных показателей использовали среднее значение и стандартное отклонение. Для оценки связи между ТХ и скоростью кровотока (MBR) использовали коэффициент корреляции Пирсона (r).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Проведен сравнительный анализ результатов применения двух методик (ОКТ и LSFG) для определения параметров гемодинамики глазного яблока, а именно показателей кровенаполнения сосудистой оболочки и интенсивности ее кровотока до и после БСП. С этой целью сравнивали показатели ТХ согласно карте, составленной из измерений

Таблица. Толщина сосудистой оболочки (мкм) до и в различные сроки после склеропластики по модифицированной методике Снайтера — Томпсона ($M \pm \sigma$), $n = 42$
Table. Choroidal thickness (μm) before and at different time points after scleral reinforcement surgery (SRS) using modified Snyder — Thompson technique ($M \pm \sigma$), $n = 42$

БСП SRS	F	SI	SO	NI	NO	II	IO	TI	TO
До БСП Before SRS	196,5 ± 66,8	205,6 ± 67,3*	208,6 ± 70,4	168,7 ± 67,2*	133,7 ± 67,3*	195,4 ± 68,8	191,6 ± 66,9	216 ± 63,8	223 ± 60,3
Через 1 мес In 1 month	231,1 ± 76,9*	237,8 ± 76,1*	232,1 ± 72,2	203,9 ± 77,9*	164,4 ± 67,8*	220,1 ± 74,8	207,2 ± 71,5	241,3 ± 66,8	245,7 ± 72,1
Через 6 мес In 6 months	215,3 ± 82,1	224,6 ± 80	222,8 ± 75,1	183,5 ± 73,6	146,2 ± 65,6	203,6 ± 73,4	197 ± 73,5	228,6 ± 77,5	236,3 ± 70,2
Через 12 мес In 12 months	208,3 ± 74,2	221 ± 77,7	220,9 ± 73,9	185,1 ± 77,8	145,9 ± 67,7	200,2 ± 73,4	195,1 ± 73,3	224,4 ± 71,7	230,1 ± 64,3

Примечание. SI — верхнепередняя, SO — верхнезадняя, NI — внутренняя назальная, NO — внутренняя темпоральная, IO — внутренняя темпоральная, TO — центральная фoveальная зона, n — количество глаз, * — различия статистически значимы ($p < 0,05$) по сравнению с исходным уровнем.
Note. SI — inner-superior, SO — outer-superior, NI — inner-nasal, NO — outer-nasal, IO — inner-inferior, TO — inner-temporal, TO — outer-temporal, F — central foveal zone, n — number of eyes, * — the differences are statistically significant ($p < 0.05$) as compared to the baseline.

хориоидеи в 9 точках центральной зоны сетчатки, полученных на ОКТ, и средний показатель MBR, определяемый с помощью LSFG (таблица).

При оценке ТХ до БСП по стандартной карте ETDRS диаметром 6 мм получены следующие результаты: исходная субфовеальная ТХ составила 196,5 ± 66,8 мкм, максимальная ТХ определялась в сегментах TI, TO (216 ± 63,8 и 223 ± 60,3 мкм соответственно), а минимальные значения выявлены в носовых сегментах NI и NO (168,7 ± 67,2 и 133,7 ± 67,3 мкм соответственно) (см. таблицу). Подобное распределение ТХ по секторам совпадает с данными литературы, в которых проводили исследования детям и взрослым с эмметропией [29–31], но отличается меньшими значениями, что связано с нарастающим изменением калибра крупных и средних сосудов хориоидеи при увеличении рефракции и ПЗО у пациентов с близорукостью, что было отмечено ранее по данным ОКТ [32–34].

Анализ ТХ в центре макулярной зоны выявил статистически значимое увеличение по сравнению с исходными значениями через 1 мес после операции на 34,6 мкм ($p \leq 0,05$), на 18,8 мкм — через 6 мес и на 11,8 мкм — через 12 мес наблюдения. Таким образом, наибольшее увеличение ТХ — на 17,6% от исходного — выявлено через 1 мес после БСП с тенденцией к снижению этого показателя к концу срока наблюдения. Увеличение ТХ может служить маркером усиления кровенаполнения сосудистой оболочки после БСП. Возможно, выраженное повышение ТХ в раннем послеоперационном периоде связано как с ответом на хирургическую травму, так и с деградацией самого пластического материала, что оказывает влияние на трофические процессы в оболочках глаза [14, 35–37]. Полученные результаты согласуются с данными других авторов, которые описывали наибольшее увеличение ТХ после БСП при контрольных осмотрах через 1, 3 и 6 мес после операции, с последующим возвратом к предоперационному уровню по мере увеличения срока наблюдения [38–40].

Через 1 мес после БСП отмечалось статистически достоверное увеличение ТХ не только в субфовеальной зоне сетчатки, но также в сегментах SI, NI, NO ($p \leq 0,05$). При исследовании через 6 и 12 мес не определялось статистически достоверных различий с исходным уровнем ТХ. Максимальное увеличение ТХ После БСП отмечалось в зонах NI и NO, в которых изначально была наименьшая ТХ, — на 35,2 и 30,7 мкм соответственно ($p \leq 0,05$). Очевидно, сосудистая оболочка стремится восстановить потерянный объем кровенаполнения, о чем свидетельствует снижение среднего значения ТХ до операции по сравнению с нормой (196,5 ± 66,8 и 265,34 ± 65,40 мкм соответственно) и значительное увеличение этого показателя до 231,1 ± 76,9 мкм на раннем сроке наблюдения через 1 мес после БСП. Следует отметить, что при данной методике склеропластики трансплантат располагается с височной стороны от зрительного нерва и увеличение ТХ в носовых сегментах следует связывать именно с трофическими эффектами начавшейся его биodeградации, а не с повреждающим действием самой операции.

По данным LSFG, кровоток в области макулы имел тенденцию к постепенному равномерному усилению к концу срока наблюдения, о чем свидетельствуют значения показателя MBR: через 1 мес после БСП он увеличился на 10,9%, через 6 мес — на 18,9% и через 12 мес — на 20,4% по сравнению с исходным уровнем ($p > 0,05$) (рис. 3). Согласно данным литературы, спекл-картина при LSFG преимущественно отражает гемодинамику хориоидеи [41]. Полученные результаты дают важное представление о влиянии операции на микроциркуляцию в сосудистой оболочке

глаза у пациентов с миопией высокой степени, при которой значения плотности поверхностных и глубоких микрососудов значительно ниже, чем в норме. Очевидно, увеличение аксиальной длины глаза ведет к растяжению сосудистой оболочки, которое нивелируется БСП за счет уплощения заднего полюса глазного яблока, что приводит к снижению напряжения в сосудах хориоидеи и усилению кровотока.

Согласно полученным данным, связь между изменениями показателей кровенаполнения хориоидеи (ТХ) и скоростью кровотока (МБР) выявляется только через 1 мес после БСП и проявляется их усилением, затем интенсивность увеличения МБР продолжает нарастать, а ТХ плавно снижается (рис. 4). Возможно, усиление кровотока в большей степени связано с уменьшением напряжения в оболочках глаза за счет уплощения заднего полюса глазного яблока при выполнении склеропластики по методике Снайдера — Томпсона, при этом операция не влияет на плотность сосудов в хориоидее, а только увеличивает их наполнение, повышая значения ТХ.

Нами проведен анализ корреляции (r) ТХ со скоростью кровотока (МБР). Коэффициент корреляции оказался достаточно высоким как до БСП ($r = 0,6$), так и в различные сроки после нее ($r = 0,5$) (рис. 5). Подобная взаимосвязь данных показателей была ранее описана Y. Lu и соавт. у пациентов с эметропией [42].

ВЫВОДЫ

1. Определение ТХ в центре макулярной зоны выявило статистически значимое увеличение по сравнению с исходными значениями на 34,6 мкм только через 1 мес после операции ($p \leq 0,05$), на 18,8 мкм — через 6 мес и на 11,8 мкм — через 12 мес после нее.

2. Изучение гемодинамики центральной зоны сетчатки у пациентов с высокой миопией выявило неравномерность ТХ в различных сегментах карты EDTRS: максимальные значения определялись в сегментах ТI, ТО ($216 \pm 63,8$ и $223 \pm 60,3$ мкм соответственно), а минимальные — в носовых сегментах N1 и NО ($168,7 \pm 67,2$ и $133,7 \pm 67,3$ мкм соответственно).

3. По данным LSFG, после БСП определялась тенденция к нарастающему увеличению хориоидального кровотока — на 20,4% от исходного к концу срока наблюдения.

4. Согласно полученным данным, корреляционная связь между увеличением показателей кровенаполнения хориоидеи (ТХ) и скоростью кровотока (МБР) выявляется только через 1 мес после БСП.

5. Проведенный нами анализ корреляции между ТХ и МБР показал достаточно высокий коэффициент корреля-

МБР, у. е.
МБР, a. u.

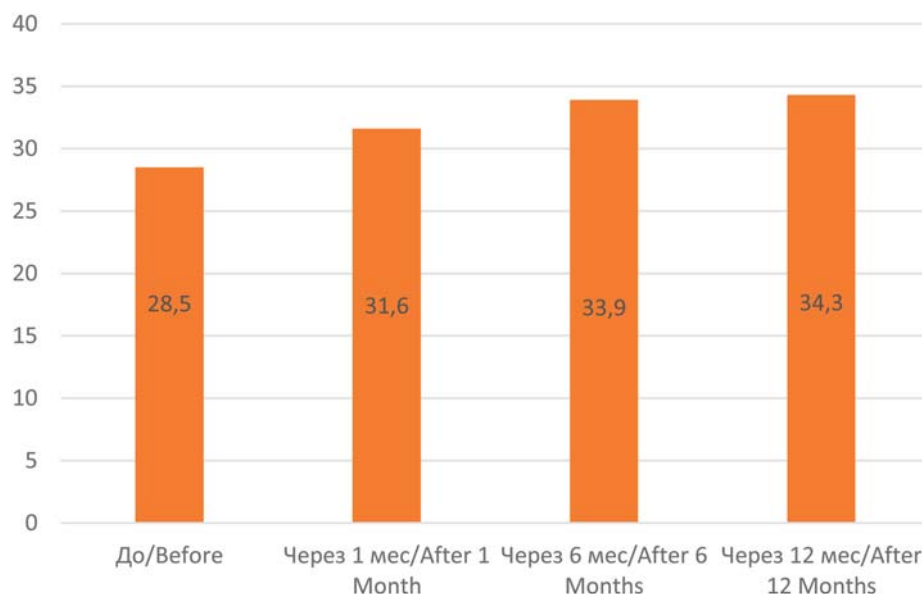


Рис. 3. Изменение МБР (у. е.) в макулярной зоне до и после БСП по модифицированной методике Снайдера — Томпсона

Fig. 3. Change in Macular MBR (a. u.) before and after scleral reinforcement surgery (by modified Snyder — Thompson technique)

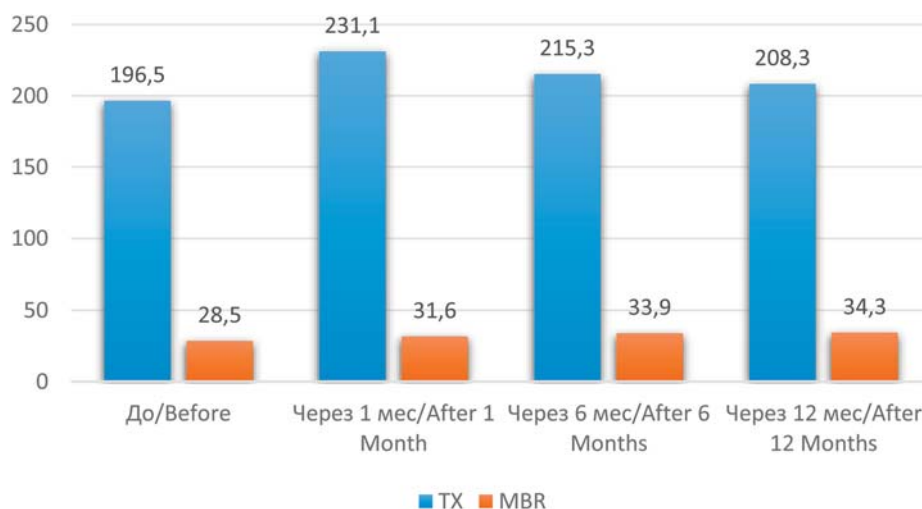


Рис. 4. Динамика показателей кровенаполнения хориоидеи (ТХ, мкм) и скорости кровотока (МБР, усл. ед.) после склеропластики

Fig. 4. Changes of choroidal blood volume (choroidal thickness, μm) and blood flow velocity (MBR, a. u.) after scleral reinforcement surgery

ции (r) как до БСП ($r = 0,6$), так и в различные сроки после нее ($r = 0,5$).

Литература/References

1. Du R, Xie S., Igarashi-Yokoi T., et al. Continued increase of axial length and its risk factors in adults with high myopia. *JAMA Ophthalmol.* 2021; 139 (10): 1096–103. doi: 10.1001/jamaophthalmol.2021.3303
2. Qi ZY, Chen J, He XG. Epidemiology of high myopia among children and adolescents in China. *Zhonghua Yan Ke Za Zhi.* 2023; 59 (2): 138–45. doi: 10.3760/cma.j.cn112142-20220313-00105
3. Тарутта Е.П., Иомдина Е.Н., Кружкова Г.В., Маркосян Г.А. Отдаленные результаты склерореconstructивного лечения прогрессирующей миопии. *Российский офтальмологический журнал.* 2011; 4 (1): 71–5.

- [Tarutta E.P., Iomdina E.N., Kruzhkova G.V., Markosyan G.A. Long-term results of sclero-reconstructive treatment of progressive myopia. *Russian ophthalmological journal*. 2011; 4 (1): 71–5 (In Russ.).]
4. Li SM, Liu LR, Li SY, et al. Annual incidences and progressions of myopia and high myopia in Chinese schoolchildren based on a 5-year cohort study. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2022; 63 (1): 8. doi: 10.1167/iovs.63.1.8
 5. Shah R, Vlasak N, Evans BJW. High myopia: reviews of myopia control strategies and myopia complications. *Ophthalmic Physiol Opt*. 2024; 44 (7): 1248–60. doi: 10.1111/opo.13366
 6. Тарутта Е.П. Осложненная близорукость: врожденная и приобретенная. Зрительные функции и их коррекция у детей. Москва: Медицина; 2005: 137–59. [Tarutta E.P. Complicated myopia: congenital and acquired. Visual functions and their correction in children. Moscow: Meditsina; 2005: 137–59 (In Russ.).]
 7. Chen CA, Lin PY, Wu PC. Treatment effect of posterior scleral reinforcement on controlling myopia progression: a systematic review and meta-analysis. *PLoS One*. 2020; 15 (5): e0233564. doi: 10.1371/journal.pone.0233564
 8. Jonas JB, Ang M, Cho P, et al. IMI prevention of myopia and its progression. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2021; 62 (5): 6. doi: 10.1167/iovs.62.5.6
 9. Li Y, Zhou Y, Wang C, et al. Advances in OCT imaging in myopia and pathological myopia. *Diagnostics (Basel)*. 2022; 12 (6): 1418. doi: 10.3390/diagnostics12061418
 10. Liu XJ, Li ZH, Guo WY, et al. Structure characterization and performance evaluation of genipin-modified bovine pericardial scleral biological patch. *China J Tissue Eng Res*. 2022; 26 (34): 5430–5.
 11. Тарутта Е.П. Хирургическая профилактика прогрессирования миопии. Показания и методы. *Рефракционная хирургия и офтальмология*. 2002; (3): 29–32. [Tarutta E.P. Surgical prevention of myopia progression. Indications and methods. *Refraktsionnaya khirurgiya i oftalmologiya*. 2002; (3): 29–32 (In Russ.).]
 12. Тарутта Е.П. Патогенетически обоснованная система диагностики, прогнозирования, профилактики и склерореconstructивного лечения патологической миопии. *Российская педиатрическая офтальмология*. 2008; 1: 25–7. [Tarutta E.P. Pathogenetically based system of diagnosis, prognosis, prevention and sclero-reconstructive treatment of pathological myopia. *Russian pediatric ophthalmology*. 2008; 1: 25–7 (In Russ.).]
 13. Ma J, Wang Q, Li Y, et al. Biomechanical considerations of patching material for posterior scleral reinforcement surgery. *Front Med (Lausanne)*. 2022; 9: 888542. doi: 10.3389/fmed.2022.888542
 14. Свиринов А.В., Антипова О.А., Серебрякова Т.В. Модификация операции введения взвеси гомотани в тенонново пространство при высокой прогрессирующей близорукости. *Вестник офтальмологии*. 1984; 4: 31–3. [Svirin A.V., Antipova O.A., Serebryakova T.V. Modification of the operation of introducing homogenous tissue suspension into the Tenon's space in high progressive myopia. *Vestnik oftalmologii*. 1984; 4: 31–3 (In Russ.).]
 15. Тарутта Е.П. Выбор метода склеропластики при прогрессирующей близорукости у детей. *Вестник офтальмологии*. 1992; (2): 10–3. [Tarutta E.P. Choice of scleroplasty method for progressive myopia in children. *Vestnik oftalmologii*. 1992; (2): 10–3 (In Russ.).]
 16. Бочкарева З.Г., Либман Е.С., Беляев В.С., Мелкумянц Т.А. Клинико-функциональное состояние глаз с высокой осложненной близорукостью после операции склеропластики. *Вестник офтальмологии*. 1980; 6: 32–6. [Bochkareva Z.G., Libman E.S., Belyaev V.S., Melkumyants T.A. Clinical and functional state of eyes with high complicated myopia after scleroplasty. *Vestnik oftalmologii*. 1980; 6: 32–6 (In Russ.).]
 17. Peng C, Chen Y, Li W, et al. Effects of posterior scleral reinforcement in pathological myopia: a 3-year follow-up study. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2019; 257 (3): 607–17. doi: 10.1007/s00417-018-04212-y
 18. Li XJ, Yang XP, Li QM, et al. Posterior scleral reinforcement for the treatment of pathological myopia. *Int J Ophthalmol*. 2016; 9 (4): 580–4. doi: 10.18240/ijo.2016.04.18
 19. Ucak T, Icel E, Yilmaz H., et al. Alterations in optical coherence tomography angiography findings in patients with high myopia. *Eye (Lond)*. 2020; 34 (6): 1129–35. doi: 10.1038/s41433-020-0824-1
 20. Тарутта Е.П., Кондратова С.Э., Милаш С.В. Ранние изменения толщины хориоидеи и аксиальной длины глаза при использовании очков с монофокальными линзами и линзами с высокоасферичными микролинзами у детей с впервые выявленной миопией. *Вестник офтальмологии*. 2024; 140 (5): 18–24. [Tarutta E.P., Kondratova S.E., Milash S.V. Early changes in choroidal thickness and axial eye length with the use of spectacles with monofocal lenses and highly aspherical microlenses in children with newly diagnosed myopia. *Vestnik oftalmologii*. 2024; 140 (5): 18–24 (In Russ.).] doi: 10.17116/oftalma202414005118
 21. Hanazaki H, Yokota H, Aso H, et al. Evaluation of ocular blood flow over time in a treated retinal arterial macroaneurysm using laser speckle flowgraphy. *Am J Ophthalmol Case Rep*. 2021; 21: 101022. doi: 10.1016/j.ajoc.2021.101022
 22. Anraku A, Enomoto N, Tomita G, et al. Ocular and systemic factors affecting laser speckle flowgraphy measurements in the optic nerve head. *Transl Vis Sci Technol*. 2021; 10 (1): 13. doi: 10.1167/tvst.10.1.13
 23. Matsumoto M, Suzuma K, Akiyama F, et al. Retinal microvascular resistance estimated from waveform analysis is significantly higher with a threshold value in central retinal vein occlusion. *Transl Vis Sci Technol*. 2020; 9 (11): 4. doi: 10.1167/tvst.9.11.4
 24. Matsumoto M, Suzuma K, Yamada Y, et al. Retinal blood flow after intravitreal bevacizumab is a predictive factor for outcomes of macular edema associated with central retinal vein occlusion. *Retina*. 2018; 38 (2): 283–91. doi: 10.1097/IAE.0000000000001531
 25. Yamazaki R, Hashimoto R, Masahara H, et al. Time course in ocular blood flow and pulse waveform in a case of ocular ischemic syndrome with intraocular pressure fluctuation. *Vision (Basel)*. 2020; 4 (2): 31. doi: 10.3390/vision402031
 26. Iwase T, Mikoshiba Y, Yamamoto K, et al. Evaluation of blood flow on optic nerve head after pattern scan and conventional laser panretinal photocoagulation. *Medicine (Baltimore)*. 2019; 98 (24): e16062. doi: 10.1097/MD.00000000000016062
 27. Xie R, Qiu B, Chhablani J, Zhang X. Evaluation of choroidal thickness using optical coherent tomography: A review. *Front Med (Lausanne)*. 2021; 8: 783519. doi: 10.3389/fmed.2021.783519
 28. Deng J, Jin J, Zhang B, et al. Effect of ocular magnification on macular choroidal thickness measurements made using optical coherence tomography in children. *Curr Eye Res*. 2022; 47 (11): 1538–46. doi: 10.1080/02713683.2022.2119255
 29. Jiang Z, Lin T, Lin A, et al. Coefficient of spatial variance of choroidal thickness on swept-source optical coherence tomography in healthy eyes. *Int Ophthalmol*. 2024; 44 (1): 318. doi: 10.1007/s10792-024-03218-2
 30. Астахов Ю.С., Белехова С.Г. Толщина хориоидеи при миопии различной степени. *Офтальмологические ведомости*. 2013; 6 (4): 34–8. [Astrakhov Yu.S., Belekova S.G. Choroidal thickness in myopia of varying degrees. *Oftalmologicheskie vedomosti*. 2013; 6 (4): 34–8 (In Russ.).]
 31. Аветисов С.Э., Будзинская М.В., Жабина О.А. и др. Анализ изменений центральной зоны глазного дна при миопии по данным флуоресцентной ангиографии и оптической когерентной томографии. *Вестник офтальмологии*. 2015; 131 (4): 38–48. [Avetisov S.E., Budzinskaya M.V., Zhabina O.A., et al. Analysis of changes in the central fundus zone in myopia according to fluorescein angiography and optical coherence tomography. *Vestnik oftalmologii*. 2015; 131 (4): 38–48 (In Russ.).]
 32. Егоров Е.А., Эскина Э.Н., Гветадзе А.А. и др. Морфометрические особенности глазного яблока у пациентов с близорукостью и их влияние на зрительные функции. *РМЖ. Клиническая офтальмология*. 2015; 15 (4): 186–90. [Egorov E.A., Eskina E.N., Gvetadze A.A., et al. Morphometric features of

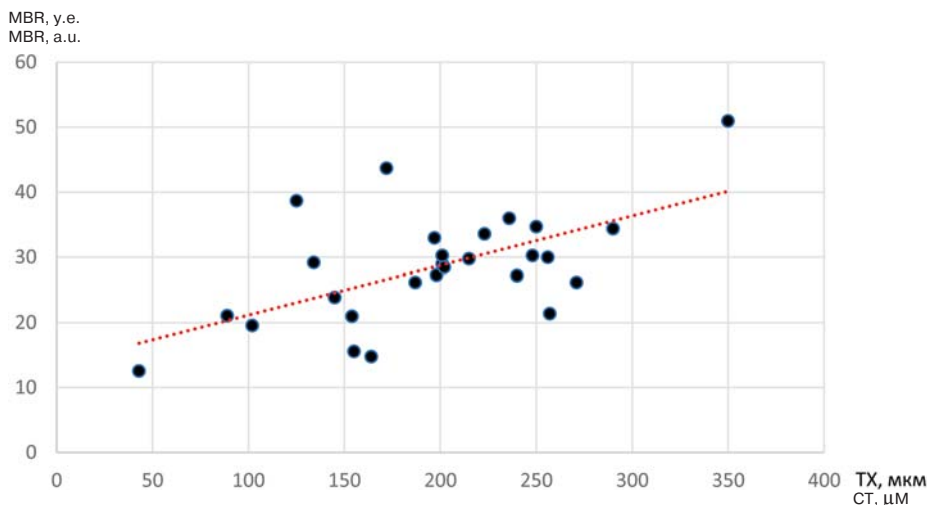


Рис. 5. Корреляция между интенсивностью кровенаполнения хориоидеи (TX) и скоростью кровотока (MBR) до и в различные сроки после БСП
Fig. 5. Correlation between choroidal blood volume (choroidal thickness, CT) and blood flow velocity (MBR) before and at various time points after scleral reinforcement surgery

- the eyeball in patients with myopia and their impact on visual functions. *RMJ. Clinical ophthalmology*. 2015; 15 (4): 186–90 (In Russ.).
33. Корниловский И.М. Патогенетические аспекты стабилизации миопии после склеропластических операций. *Офтальмологический журнал*. 1987; 6: 343–7. [Kornilovskiy I.M. Pathogenetic aspects of myopia stabilization after scleroplastic operations. *Oftal'mologicheskii zhurnal*. 1987; 6: 343–7 (In Russ.).]
 34. Мирзаянц М.Г., Приставко Э.Ф., Пивоварова Н.Н. О механизмах лечебного действия операции укрепления склеры. В кн.: Реконструктивная офтальмохирургия. Москва; 1979: 136–8. [Mirzayants M.G., Pristavko E.F., Pivovarov N.N. On the mechanisms of the therapeutic action of scleral strengthening surgery. In: *Reconstructive ophthalmic surgery*. Moscow; 1979: 136–8 (In Russ.).]
 35. Зайкова М.В., Негода В.И. Пересадка гомосклеры при прогрессирующей близорукости. *Вестник офтальмологии*. 1970; 4: 16–20. [Zaykova M.V., Negoda V.I. Homoscleral transplantation in progressive myopia. *Vestnik oftal'mologii*. 1970; (4): 16–20 (In Russ.).]
 36. Тарутта Е.П., Маркосян Г.А., Сианосян А.А., Милаш С.В. Толщина хориоидеи у детей с миопией и ее изменения после хирургического укрепления склеры. *Вестник офтальмологии*. 2020; 136 (3): 10–7. [Tarutta E.P., Markosyan G.A., Sianosyan A.A., Milash S.V. Choroidal thickness in children with myopia and its changes after surgical scleral reinforcement. *Vestnik oftal'mologii*. 2020; 136 (3): 10–7 (In Russ.).] doi: 10.17116/oftalma202013603110
 37. Miura M, Arimoto G, Tsukahara R, et al. Choroidal thickness after scleral buckling. *Ophthalmology*. 2014; 111 (10): 954–60. doi: 10.1007/s00347-013-2978-8
 38. Mo J, Duan A, Chan S, et al. Application of optical coherence tomography angiography in assessment of posterior scleral reinforcement for pathologic myopia. *Int J Ophthalmol*. 2016; 9 (12): 1761–5. doi: 10.18240/ijo.2016.12.10
 39. Devarajan K, Sim R, Chua J, et al. Optical coherence tomography angiography for the assessment of choroidal vasculature in high myopia. *Br J Ophthalmol*. 2020; 104 (7): 917–23. doi: 10.1136/bjophthalmol-2019-314769
 40. Xiong K, Wang F, Yang Y, et al. Influence of high myopia on choriocapillaris perfusion and choroidal thickness in diabetic patients without diabetic retinopathy. *Retina*. 2022; 42 (6): 1077–84. doi: 10.1097/IAE.00000000000003427
 41. Swiatczak B, Schaeffel F, Calzetti G. Imposed positive defocus changes choroidal blood flow in young human subjects. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2023; 261 (1): 115–25. doi: 10.1007/s00417-022-05842-z
 42. Lu Y, Zhou H, Zhou X, et al. Correlation between Laser Speckle Flowgraphy and OCT-derived retinal and choroidal metrics in healthy human eye. *Transl Vis Sci Technol*. 2022; 11 (6): 15. doi: 10.1167/tvst.11.6.15

Вклад авторов в работу: Г.А. Маркосян, Е.П. Тарутта — разработка концепции и дизайна исследования, написание статьи; С.В. Милаш — сбор и анализ данных; В.Н. Папян — сбор и анализ данных, написание статьи; О.В. Проскурина — редактирование статьи.
Author's contribution: G.A. Markosyan, E.P. Tarutta — development of the concept and design of the study, writing of the article; S.V. Milash — data collection and analysis; V.N. Papayan — data collection and analysis, writing of the article; O.V. Proskurina — editing of the article.

Поступила: 01.10.2025. Переработана: 07.10.2025. Принята к печати: 08.10.2025
Originally received: 01.10.2025. Final revision: 07.10.2025. Accepted: 08.10.2025

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ/INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

ФГБУ «НМИЦ глазных болезней им. Гельмгольца» Минздрава России, ул. Садовая-Черногрозская, д. 14/19, Москва, 105062, Россия

Гаяне Айказовна Маркосян — д-р мед. наук, ведущий научный сотрудник отдела патологии рефракции, бинокулярного зрения и офтальмоэргономики, ORCID 0000-0002-2841-6396

Елена Петровна Тарутта — д-р мед. наук, профессор, начальник отдела патологии рефракции, бинокулярного зрения и офтальмоэргономики, ORCID 0000-0002-8864-4518

Сергей Викторович Милаш — канд. мед. наук, научный сотрудник отдела патологии рефракции, бинокулярного зрения и офтальмоэргономики, ORCID 0000-0002-3553-9896

Вioletta Николаевна Папян — аспирант отдела патологии рефракции, бинокулярного зрения и офтальмоэргономики, ORCID 0009-0008-8646-7141

Ольга Владимировна Проскурина — д-р мед. наук, ведущий научный сотрудник отдела патологии рефракции, бинокулярного зрения и офтальмоэргономики, ORCID 0000-0002-2496-2533

Для контактов: Violetta Николаевна Папян, violettapapyan@gmail.com

Helmholtz National Medical Research Center of Eye Diseases, 14/19, Sadovaya-Chernogryazskaya St., Moscow, 105062, Russia

Gayane A. Markosyan — Dr. of Med. Sci., leading researcher of the department of refraction pathology, binocular vision and ophthalmoeconomics, ORCID 0000-0002-2841-6396

Elena P. Tarutta — Dr. of Med. Sci., professor, head of the department of refraction pathology, binocular vision and ophthalmoeconomics, ORCID 0000-0002-8864-4518

Sergey V. Milash — Cand. of Med. Sci., researcher of the department of refraction pathology, binocular vision and ophthalmoeconomics, ORCID 0000-0002-3553-9896

Violetta N. Papayan — PhD student of the department of refraction pathology, binocular vision and ophthalmoeconomics, ORCID 0009-0008-8646-7141

Olga V. Proskurina — Dr. of Med. Sci., leading researcher of the department of refraction pathology, binocular vision and ophthalmoeconomics, ORCID 0000-0002-2496-2533

Для контактов: Violetta N. Papayan, violettapapyan@gmail.com

<https://doi.org/10.21516/2072-0076-2026-19-2-100-108>



Применение нейросетевой модели для классификации ОКТ-изображений при диагностике меланомы хориоидеи

Е.Б. Мякошина¹, С.В. Саакян^{1,2}, А.О. Укина^{3✉}, Д.Д. Гарри⁴

¹ ФГБУ «НМИЦ глазных болезней им. Гельмгольца» Минздрава России, ул. Садовая-Черногрозская, д. 14/19, Москва, 105062, Россия

² ФГБОУ ВО «Российский университет медицины» Минздрава России, ул. Долгоруковская, д. 4, Москва, 127006, Россия

³ ГБУЗ ЛО «Гатчинская клиническая межрайонная больница», ул. Рощинская, д. 15а, к. 1, Гатчина, Ленинградская обл., 188300, Россия

⁴ ООО «Искусственные сети и технологии», ул. Козлова, д. 30, Москва, 121357, Россия

Для своевременного начала лечения и улучшения витального прогноза меланомы хориоидеи (МХ) требуется ее ранняя точная диагностика. **Цель** исследования — разработка автоматизированной системы поддержки принятия врачебных решений при диагностике хориоидальных опухолей на основе изображений оптической когерентной томографии (ОКТ) с использованием технологий искусственного интеллекта (ИИ) и оценка ее работы. **Материал и методы.** Описывается процесс создания, и оценивается эффективность сверточной нейронной сети YOLO11n-cls в автоматической классификации ОКТ-изображений глазного дна на три класса: МХ, невус хориоидеи и здоровое глазное дно. **Результаты.** Для обучения и оценки модели был создан датасет из 1700 ОКТ-снимков, полученных в ФГБУ «НМИЦ ГБ им. Гельмгольца» Минздрава России за период 2014–2024 гг. Обучение проводили с применением методов аугментации и предварительно обученных на ImageNet-весов. По результатам тестирования точность модели составила 95 %. **Заключение.** Продемонстрирована перспективность применения технологий с использованием ИИ в создании программ поддержки принятия врачебных решений в офтальмологической практике.

Ключевые слова: искусственный интеллект; меланома хориоидеи; оптическая когерентная томография; нейронные сети; диагностика

Конфликт интересов: отсутствует.

Прозрачность финансовой деятельности: никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

Для цитирования: Мякошина Е.Б., Саакян С.В., Укина А.О., Гарри Д.Д. Применение нейросетевой модели для классификации ОКТ-изображений при диагностике меланомы хориоидеи. Российский офтальмологический журнал. 2026; 19 (2): 100–8. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2026-19-2-100-108>

Application of a neural network model for OCT image classification in the diagnosis of choroidal melanoma

Elena B. Myakoshina¹, Svetlana V. Saakyan^{1,2}, Anastasia O. Ukina³✉, Denis D. Garri⁴

¹ Helmholtz National Medical Research Center of Eye Diseases, 14/19, Sadovaya-Chernogryazskaya St., Moscow, 105062, Russia

² The Russian University of Medicine, 4, Dolgorukovskaya St., Moscow, 127006, Russia

³ Gatchina Interdistrict Clinical Hospital, 15A, building 1, Roshchinskaya St., Gatchina, Leningrad region, 188300, Russia

⁴ Limited Liability Company "Artificial Networks and Technologies", 30, Kozlov St., Moscow, 121357, Russia
anastasiukina@yandex.ru

Early and accurate diagnosis of choroidal melanoma (CM) is required to initiate treatment in a timely manner and improve the prognosis. The purpose of the study was to develop an automated system for supporting medical decision-making in the diagnosis of choroidal tumors based on optical coherence tomography (OCT) images using artificial intelligence (AI) technologies and to evaluate its performance. Material and methods. The article describes the creation process and evaluates the effectiveness of the YOLO11n-cls convolutional neural network in the automatic classification of OCT fundus images into three classes: CM, choroidal nevus, and healthy fundus. Results. To train and evaluate the model, a dataset of 1,700 OCT images obtained at the Helmholtz National Medical Research Center of Eye Diseases over the period 2014–2024 was created. Training was performed using augmentation methods and weights pre-trained on ImageNet. According to the testing results, the accuracy of the model was 95 %. The primary limitations identified include insufficient variability in unique cases and the necessity for further external validation of the model. Conclusion. The potential of using AI-based technologies in the creation of programs to support medical decision-making in ophthalmological practice has been demonstrated.

Keywords: artificial intelligence; choroidal melanoma; optical coherence tomography; neural networks; diagnosis

Conflict of interest: there is no conflict of interest.

Financial disclosure: no author has a financial or property interest in any material or method mentioned.

For citation: Myakoshina E.B., Saakyan S.V., Ukina A.O., Garri D.D. Application of a neural network model for OCT image classification in the diagnosis of choroidal melanoma. Russian ophthalmological journal. 2026; 19 (2): 100–8 (In Russ.). <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2026-19-2-100-108>

Диагностика меланомы хориоидеи (МХ) представляет собой сложную клиническую задачу. Раннее ее выявление требует высокой точности и часто сопряжено с дифференциальной диагностикой с невусами хориоидеи [1]. Оптическая когерентная томография (ОКТ) позволяет обнаруживать микроструктурные изменения в сосудистой оболочке и прилежащих слоях сетчатки при начальных формах МХ, независимо от степени ее пигментации, что подчеркивает важность этого метода для дифференциальной диагностики меланом и невусов хориоидеи [2–4]. Ранее описаны ОКТ-признаки начальной МХ: куполообразно изменяется профиль хориоидеи, а также появляются деструктивные изменения пигментного эпителия сетчатки, нарушается структурность фоторецепторов. Появляется отслойка нейроэпителия, сетчатка становится толще за счет появления интравитреальных депозитов, кист, отека. В отличие от меланомы, при невусах на ОКТ выявляется плоское или слегка выпуклое образование с четкими границами. Сетчатка над невусом чаще сохраняет обычную структуру, хотя может отмечаться минимальная субретинальная жидкость [4–6].

Искусственный интеллект (ИИ) и методы глубокого обучения находят все большее применение в офтальмологии, в том числе в задачах интерпретации изображений глазного дна [7]. В последние годы ученые обращаются к разработке программ на основе ИИ для анализа снимков ОКТ с различными заболеваниями. Так, в 2018 г. в работе D. Kermany и соавт. [8] продемонстрирована нейросеть для класси-

фикации снимков с возрастной макулярной дегенерацией (ВМД) и диабетическим макулярным отеком (ДМО). F. Tang и соавт. [9] акцентируют внимание на возможности использования нейросетей для анализа снимков, сделанных на ОКТ разных производителей. Нейросеть в данном исследовании определяла наличие ДМО и его тип. Подробное описание и классификация систем на основе ИИ для диагностики ВМД, центральной серозной хориоретинопатии, миопических изменений сетчатки представлены в обзоре A. Selvam и соавт. [10].

В 2022 г. под руководством Е.А. Катаевской был разработан алгоритм ИИ, предназначенный для сегментации патологических структур на ОКТ-снимках глазного дна [11]. Отечественные ученые под руководством В.В. Нероева в 2023 г. провели исследование, направленное на создание алгоритма диагностики заболеваний сетчатки по данным ОКТ с использованием ИИ. Авторы разработали прототип системы, способной диагностировать несколько заболеваний сетчатки, таких как неоваскуляризация хориоидеи, макулярный отек и множественные друзы. Для этого применяли метод обучения нейронной сети VGG16. По результатам тестирования модель продемонстрировала высокие показатели: чувствительность составила 97 %, а специфичность — 98 % [12].

Опубликованный в 2023 г. систематический обзор R. Patel и соавт. [13] отражает интерес ученых к применению технологий на основе ИИ к неинвазивным методам визуализации для раннего выявления МХ. В 2024 г. проведено

мультицентровое исследование с применением методов ИИ для оценки прогноза трансформации невуса хориоидеи в МХ [14]. В данном исследовании использовали мультимодальные данные, в том числе и снимки ОКТ. Лучший алгоритм (XGBoost, модель SAINTS) показал высокую точность: AUROC ~ 0,93 на внешней валидации. Ключевыми признаками, влияющими на решение сети, стали толщина опухоли и наличие субретинальной жидкости по данным ОКТ.

В обзорной работе К.-Е. Karamanli и соавт. [15] подробно описано, что применение алгоритмов ИИ в интерпретации офтальмологических изображений при невусах и МХ приобретает все большее развитие. В данной статье указаны актуальные модели, анализируется их точность и подходы к обучению нейросетей, а также обсуждается потенциал использования в клинической практике.

Предложенные системы продемонстрировали, что нейросеть может выявлять значимые офтальмологические заболевания сетчатки на основании снимков ОКТ с уровнем надежности, близким к врачу-специалисту. Однако до настоящего времени сверточную нейронную сеть YOLO11n-cls не применяли для автоматической классификации изображений на 3 класса: МХ, невус хориоидеи и здоровое глазное дно.

ЦЕЛЬ исследования — разработка автоматизированной системы поддержки принятия врачебных решений при диагностике хориоидальных опухолей на основе ОКТ-изображений с использованием технологий ИИ и оценка ее работы.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Задачи исследования включали: подготовку обучающих и тестовых выборок, проведение обучения модели YOLO11n-cls, оценку возможности нейросети YOLO11n-cls в задаче классификации ОКТ-изображений сетчатки на три класса: МХ, невус хориоидеи, здоровое глазное дно.

В исследовании использовали изображения ОКТ глазного дна, предварительно классифицированные врачами-офтальмологами как здоровые, с наличием невуса или МХ. Была сформирована обучающая и тестовая выборки изображений. Для обучения применяли архитектуру YOLO11n-cls, являющуюся адаптацией сверточной нейронной сети YOLO для классификационных задач. Проводили аугментацию данных и применяли стандартные параметры обучения. В обучении нейросети использовали типичные значения следующих параметров: learning rate (скорость обучения) — определяет, насколько сильно обновляются веса модели после каждой итерации; batch size (размер батча) — количество изображений, одновременно обрабатываемых моделью перед обновлением весов; epochs (эпохи) — сколько раз нейросеть

проходит через весь обучающий набор. Авторы не подбирали уникальные или нестандартные параметры, а использовали общепринятые значения, подходящие для большинства задач классификации изображений.

Датасет. Для обучения программы с использованием ИИ был составлен датасет снимков. Изображения собирали самостоятельно, данного датасета нет в открытом доступе. Снимки ОКТ выполнялись на приборе Spectralis (Heidelberg Engineering). Для исследования был сформирован датасет изображений ОКТ, полученный на базе ФГБУ «НМИЦ ГБ им. Гельмгольца» за 10 лет (2014–2024 гг.). Архив изображений собран д. м. н. Е.Б. Мякошиной. Все пациенты подписали информированное согласие на использования данных.

Всего в датасет вошло 1700 ОКТ-снимков, разделенных на четыре диагностические категории: 500 снимков с МХ, 500 снимков с невусами хориоидеи, 500 снимков без признаков патологии, и дополнительно включены 200 снимков, локализованных в центральной зоне опухоли, для групп невусов (100) и меланом (100), что позволяло визуализировать характерные особенности каждой опухоли (рис. 1, А–В).

При подготовке данных использовали снимки 288 пациентов, распределенных следующим образом: 131 пациент с МХ, 132 пациента с невусами хориоидеи, 25 человек без признаков патологии. Таким образом, в среднем от одного пациента использовали от 15 до 20 сканов, что обеспечивало разнообразие представленных изображений. Несмотря на то, что в выборке присутствует несколько изображений от одного пациента, важно помнить, что ОКТ делает множество срезов, каждый из которых отражает разные участки глазного дна, в разных плоскостях (по горизонтали, по вертикали). Поэтому даже у одного пациента каждый срез — это уникальное изображение, которое можно использовать как отдельный обучающий пример. В дальнейшем планируется учитывать пациенториентированное разделение данных во избежание переобучения модели на индивидуальные особенности (форму сосудов, артефакты, геометрию локализации опухоли).

В рамках подготовки данных из изображений удалили вспомогательные визуальные элементы (например, фотоснимки глазного дна), а также исключили изображения с выраженными артефактами или низким качеством.

Распределение по классам проводили совместно два врача-офтальмолога (один из них — эксперт-офтальмолог, специализирующийся в офтальмоонкологии). Изображения распределены на три класса: МХ, невусы хориоидеи, здоровое глазное дно. Снимки сохраняли в формате TIFF. Для каждого изображения доступна информация о диагнозе. Данные о возрасте, поле и других клинических характеристиках не включали. Диагнозы подтверждены с помощью

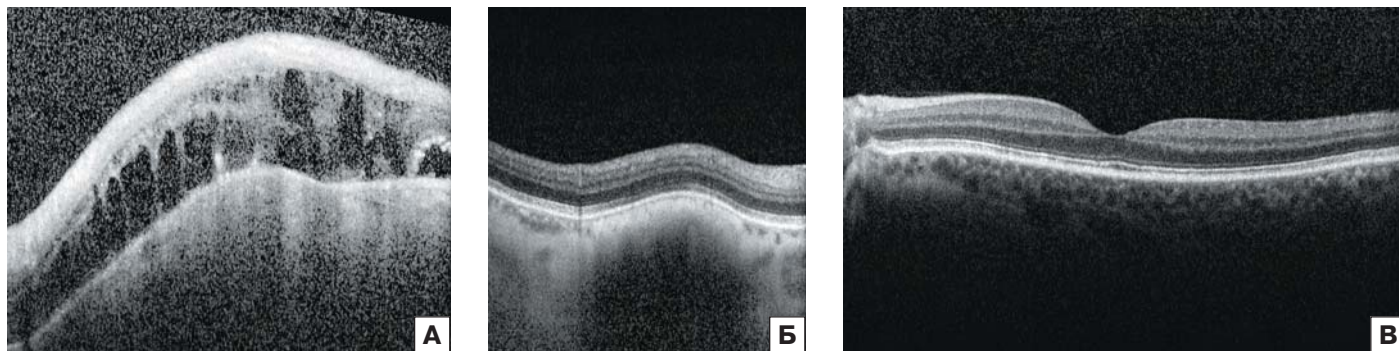


Рис. 1. ОКТ-снимки глазного дна. А — меланома хориоидеи, Б — невус хориоидеи, В — здоровое глазное дно
Fig. 1. OCT images of the fundus. А — choroidal melanoma, Б — choroidal nevus, В — healthy fundus

Таблица 1. Количество изображений разных классов в обучающей, валидационной и тестовой выборках
Table 1. Number of images per class in the training, validation, and test datasets

Вид выборки Type of dataset	Снимки с меланомой хориоидеи Choroidal melanoma scans	Снимки с невусом хориоидеи Choroidal nevus scans	Снимки здорового глазного дна Healthy fundus scans	Всего
Обучающая Training	1055	1042	793	2890
Валидационная Validation	117	115	88	320
Тестовая Test	172	150	206	528
Всего	1344	1307	1087	3738

дополнительных методов визуализации и клинического обследования.

Данные разделили на обучающую, валидационную и тестовую выборки (табл. 1).

Все изображения, за исключением 206 тестовых изображений здоровых глаз, получены из архива ФГБУ «НИМЦ ГБ им. Гельмгольца». Тестовая выборка состоит из строго уникальных случаев, тогда как ОКТ-снимки в обучающей и валидационной выборках могут быть смежными срезами.

Параметры обучения нейронной сети. Для обучения модели в режиме классификации использовали нейросеть YOLO11n-cls. Обучение проводили на видеокарте RTX3080 с 16 ГБ видеопамяти с использованием батча из 16 изображений. Батч — число примеров данных, которые подаются на вход нейронной сети одновременно для обучения [16]. Входные изображения масштабировали до размера 640 × 640 пикселей, а процесс обучения длился 100 эпох. Веса предобученной на основе ImageNet модели загружали для инициализации модели. Основные гиперпараметры оптимизации включали оптимизатор AdamW с начальными значениями $lr = 0,001667$ и $momentum = 0,9$, при этом использовался параметр регуляризации $weight_decay = 0,0005$. Дополнительно использовали прогрев ($warmup_epochs = 3,0$, $warmup_momentum = 0,8$, $warmup_bias_lr = 0,1$) для стабилизации начального этапа обучения, а также dropout с коэффициентом 0,05 для борьбы с переобучением. Среди методов аугментации применялись мозаика ($mosaic = 1,0$), горизонтальное отражение ($flip_lr = 0,5$) и автоматическое аугментирование yolo ($auto_augment = randaugment$). Обучение выполнялось в детерминированном режиме для обеспечения воспроизводимости результатов. Остальные параметры были использованы по умолчанию.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Обучение. Ход обучения отражен в таблице 2, где приведены значения времени обучения, функции потерь на тренировочном наборе (Train Loss), а также показатель top1 точности, который отражает долю случаев, когда модель на первом (самом уверенном) месте своего прогноза правильно определила класс объекта (Accuracy Top1), значения валидационной потери (Val Loss) и уровни скорости обучения — learning rate LR (pg0, pg1, pg2) для каждой из групп параметров по эпохам (Epoch).

Из представленных данных видно, что на 98-й эпохе достигнуто минимальное значение валидационной потери (0,10870) при top1 точности 0,95, что определило итоговую контрольную точку модели.

Динамика функции потерь (loss) и точности (accuracy) в процессе обучения нейросетевой модели на протяжении 100 эпох представлена на рисунке 2.

Таблица 2. Ход обучения нейросетевой модели
Table 2. Training history of the neural network model

Epoch	Train loss	Accuracy top1	Val loss	LR (pg0, pg1, pg2)
1	1.09779	0.42188	1.19102	0.000473702
2	0.96507	0.55	0.96855	0.00094063
3	0.90281	0.55	1.39443	0.00139813
...	...	...	...	...
97	0.16136	0.94063	0.11859	7.08784e-05
98	0.17314	0.95	0.10870	5.67313e-05
99	0.15737	0.94375	0.11734	4.25842e-05
100	0.15784	0.95312	0.11237	2.84371e-05

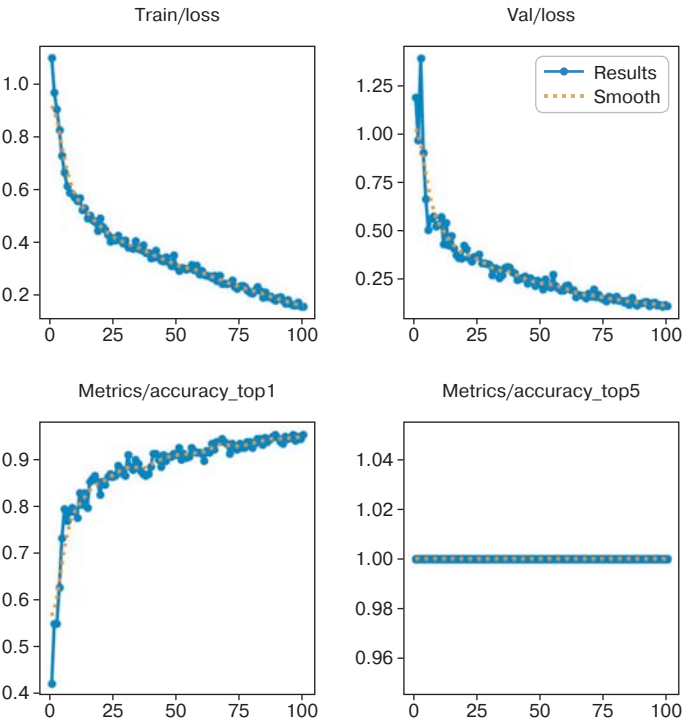


Рис. 2. Изменения функции потерь (loss) и точности (accuracy) в процессе обучения нейросетевой модели на протяжении 100 эпох
Fig. 2. Loss function and accuracy change during the training of the neural network model over 100 epochs

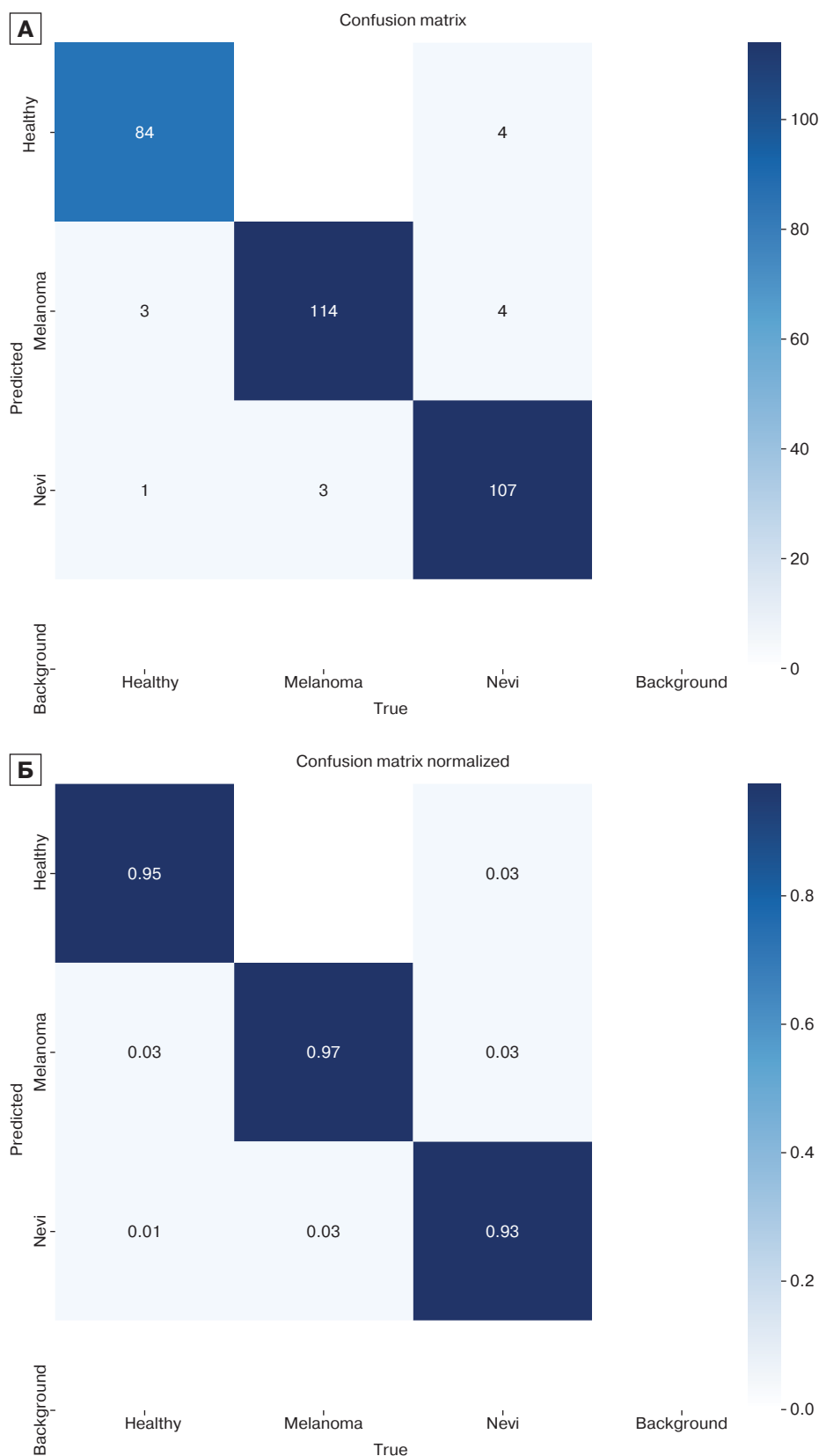


Рис. 3. Матрица ошибок: predicted — распределенные (предсказанные) моделью снимки по трем классам: healthy — здоровое глазное дно, melanoma — меланома хориоидеи, nevi — невус хориоидеи, true — истинное количество снимков этих классов. А — матрица ошибок в абсолютных значениях, Б — нормализованная матрица ошибок

Fig. 3. Confusion matrix where predicted denotes the distribution of images classified by the model into the three classes — healthy (healthy fundus), melanoma (choroidal melanoma), nevi (choroidal nevus) and true — denotes the actual number of images in each class. А — confusion matrix in absolute counts, Б — normalized confusion matrix

В верхнем левом углу график train/loss показывает устойчивое снижение функции потерь на обучающей выборке с начальных значений около 1,1 до финальных значений $< 0,2$, что свидетельствует о стабильном обучении без признаков дивергенции. В верхнем правом углу val/loss демонстрирует аналогичное поведение функции потерь на валидационной выборке: значение уменьшается с $\sim 1,3$ до $\sim 0,2$. Отсутствие резкого расхождения между train и val loss указывает на хорошую обобщающую способность модели и отсутствие переобучения. В нижнем левом углу metrics/accuracy_top1 отражает рост точности top-1 (т. е. доли правильных предсказаний по основному классу). Значение метрики увеличилось с 0,45 до более чем 0,92, что указывает на высокий уровень точности. В нижнем правом углу metrics/accuracy_top5 остается на уровне 1,0 на всем протяжении обучения, что означает, что истинный класс всегда входит в топ-5 предсказанных моделей вариантов. Это подтверждает высокую чувствительность модели к распознаванию правильного класса даже при наличии вероятностной неопределенности.

Тестирование. На рисунке 3, А, Б представлена матрица ошибок, отражающая результаты классификации ОКТ-снимков глазного дна, выполненной нейросетевой моделью по трем классам: «меланома хориоидеи», «невус хориоидеи» и «здоровое глазное дно». По оси абсцисс отложены истинные классы, по оси ординат — предсказанные моделью классы.

Анализ матрицы ошибок показал высокую точность классификации всех трех классов: «меланома хориоидеи», «невус хориоидеи», «здоровое глазное дно». Как показано на рисунке 3, модель корректно определила 114 (97 %) из 121 случая МХ, 107 (96 %) из 111 случаев невусов и 84 (95 %) из 88 снимков здорового глазного дна. Основные ошибки наблюдали при различении схожих классов: меланомы и невусов, а также невусов и здорового глазного дна. Нормализованная матрица (рис. 3, Б) подтверждает высокую долю верных классификаций по всем классам (> 93 %). Количество ошибок для каждого из классов не превышало 3–4 %.

Далее приведены расчеты основных характеристик работы нейросети (рис. 4, А–Д). Ассигура (точность) — это доля правильно предсказанных классов ко всем предсказаниям. Precision (точность, положительная прогностическая ценность) — это доля

Общая точность (Accuracy):

$$\text{Accuracy} = \frac{206 + 148 + 109}{528} = \frac{463}{528} \approx 0.877 (87.7 \%)$$

А**Класс Melanoma:**

- TP = 148
- FP = 28 (из Nevi)
- FN = 1 (отнесена к Healthy) + 23 (отнесена к Nevi) = 24

$$\text{Precision}_{\text{Melanoma}} = \frac{148}{148 + 28} = \frac{148}{176} \approx 0.841 (84.1 \%)$$

$$\text{Recall}_{\text{Melanoma}} = \frac{148}{148 + 24} = \frac{148}{172} \approx 0.861 (86.1 \%)$$

$$\text{F1}_{\text{Melanoma}} = \frac{2 \times 0.841 \times 0.861}{0.841 + 0.861} = \frac{1.447}{1.702} \approx 0.851 (85.1 \%)$$

Б**Класс Nevi:**

- TP = 109
- FP = 23 (из Melanoma)
- FN = 13 (отнесены к Healthy) + 28 (отнесены к Melanoma) = 41

$$\text{Precision}_{\text{Nevi}} = \frac{109}{109 + 23} = \frac{109}{132} \approx 0.827 (82.7 \%)$$

$$\text{Recall}_{\text{Nevi}} = \frac{109}{109 + 41} = \frac{109}{150} \approx 0.727 (72.7 \%)$$

$$\text{F1}_{\text{Nevi}} = \frac{2 \times 0.827 \times 0.727}{0.827 + 0.727} = \frac{1.203}{1.554} \approx 0.773 (77.3 \%)$$

В**Класс Healthy:**

- TP = 206
- FP = 1 (из Melanoma) + 13 (из Nevi) = 14
- FN = 0

$$\text{Precision}_{\text{Healthy}} = \frac{206}{206 + 14} = \frac{206}{220} \approx 0.936 (93.6 \%)$$

$$\text{Recall}_{\text{Healthy}} = \frac{206}{206 + 0} = 1.0 (100 \%)$$

$$\text{F1}_{\text{Healthy}} = \frac{2 \times 0.936 \times 1.0}{0.936 + 1.0} = \frac{1.872}{1.936} \approx 0.966 (96.6 \%)$$

Г**Средние показатели:**

$$\text{Средняя Precision} = \frac{0.936 + 0.841 + 0.827}{3} \approx 0.868 (86.8 \%)$$

$$\text{Средняя Recall} = \frac{1.0 + 0.861 + 0.727}{3} \approx 0.862 (86.2 \%)$$

$$\text{Средняя F1 Score} = \frac{0.966 + 0.851 + 0.773}{3} \approx 0.863 (86.3 \%)$$

Д

Рис. 4. Характеристики работы нейросети, где TP = истинно положительные, FP = ложноположительные, FN = ложноотрицательные. А — общая точность, Б — расчет показателей для класса «меланома хориоидеи», В — расчет показателей для класса «невус хориоидеи», Г — расчет показателей для класса «здоровое глазное дно», Д — средние показатели

Fig. 4. Performance characteristics of the neural network, where TP = True Positive, FP = False Positive, FN = False Negative. А — accuracy, Б — calculation of metrics for the “choroidal melanoma” class, В — calculation of metrics for the “choroidal nevus” class, Г — calculation of metrics for the “healthy” class, Д — average metrics

корректных предсказаний положительного класса среди всех, которые модель отнесла к этому классу. Recall (чувствительность) — доля корректных предсказаний положительного класса среди всех реальных объектов этого класса. F1-score (гармоническое среднее между Precision и Recall) представляет собой обобщенную метрику качества классификации.

В ходе экспериментальной оценки нейросетевой модели достигнуто общее значение точности (ассиура) на уровне 87,7 %. При анализе по классам получены следующие показатели: для класса «меланома хориоидеи» точность (precision) составила 84,1 %, полнота (recall) — 86,1 %, F1-мера — 85,1 %. Для класса «невус хориоидеи» точность (precision) = 82,7 %, чувствительность (recall) = 72,7 %, F1-score = 77,3 %. Для класса «здоровое глазное дно» точность (precision) достигла 93,6 %, Чувствительность (recall) — 100,0 %, что дало F1-score в 96,6 %. Средние показатели модели оказались на уровне: Precision ≈ 86,8 %, Recall ≈ 86,2 % и F1-score ≈ 86,3 %. Полученные результаты демонстрируют высокую специфичность и чувствительность алгоритма в различении здоровых и патологических образцов, а также сбалансированность между точностью и полнотой классификации.

Высокая точность, полученная на здоровых изображениях, свидетельствует о хорошей обучаемости сети, однако требует проверки на переобученность и дополнительной валидации.

Результаты работы нейросетевой модели по классификации тестовых ОКТ-изображений представлены на рисунке 5.

ОБСУЖДЕНИЕ

В настоящее время ученые все чаще предлагают разнообразные направления внедрения ИИ в диагностические офтальмологические методы, включая применение в задачах анализа изображений фундус-фотографий и ОКТ-снимков. В статье Е.А. Каталевской и соавт. [17] подчеркнута значимость создания и развития национальных баз изображений. Один из первых вариантов создания предиктивной модели для автоматического выявления патологий на глазном дне представлен в работе отечественных авторов [18]. Исследователи разработали метод расчета комбинированного коэффициента, основанный на морфометрическом анализе сосудистого рисунка глазного дна. Данный подход заложили основы для последующей автоматизации скрининга ретиальной патологии. Технологии ИИ демонстрируют высокий потенциал в дифференциальной диагностике МХ и невусов, особенно при использовании данных фундус-фотографий и ОКТ-изображений [15]. К-Е. Karamanli и соавт. [15] подчеркивают важность стандартизации датасетов и клинической валидации моделей, что остается актуальным и в рамках нашего исследования. В последние годы активно развиваются алгоритмы ИИ, направленные на автоматическую дифференциацию хориоидальных невусов и меланом. Так, к примеру, отмечены многочисленные подходы к классификации изображений глазного дна и ОКТ с использованием CNN-моделей, демонстрирующие точность выше 90 % [15].

Для решения задачи классификации изображений ОКТ сетчатки в данной работе выбрана нейросеть YOLO. По данным литературы, этот алгоритм обладает высокой скоростью и эффективностью по сравнению с традиционными сверточными сетями, что делает его особенно пригодным для обнаружения объектов на медицинских изображениях в режиме реального времени. При этом YOLO показывает

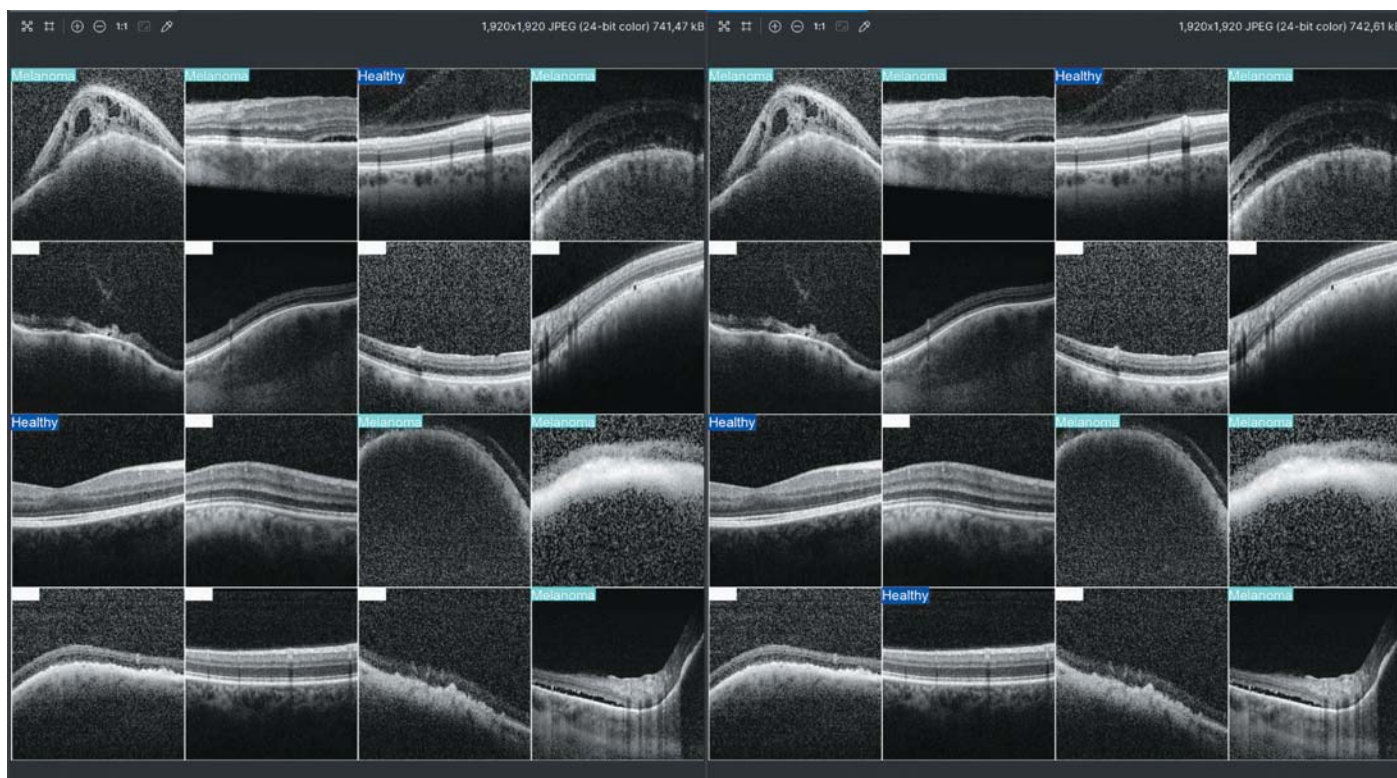


Рис. 5. Примеры В-сканов ОКТ из тестовой выборки с истинными и предсказанными метками. Каждый блок содержит 16 случайно отобранных изображений: в левой части таблицы представлены истинные классы (голубым шрифтом — меланома хориоидеи; белым — невус хориоидеи; синим — здоровое глазное дно), в правой — метки, присвоенные нейросетью

Fig. 5. Examples of OCT-scans from the test dataset with ground-truth and predicted labels. Each panel contains 16 randomly selected images: the left grid shows the true classes (cyan: choroidal melanoma; white: choroidal nevus; blue: healthy fundus), while the right grid displays the labels assigned by the neural network

сопоставимую или более высокую точность распознавания по сравнению с другими методами, существенно выигрывая в скорости [19, 20]. Одностадийный подход YOLO к обнаружению объектов (без многоэтапных процедур) делает его исключительно подходящим для задач, требующих быстрого принятия решений, таких как медицинская диагностика [21].

Важно отметить, что при обучении данной нейросети использовали сканы ОКТ центральной части опухоли. Использование среза ОКТ-снимков именно этой зоны очень показательно и имеет большое значение для дифференциальной диагностики невуса и МХ. Необходимо также отметить, что в клинической практике недопустимо принимать клиническое решение на основании одного среза, очень важно просмотреть все возможные срезы интересующей области. Нейросетевая модель пока что ограничена анализом одного среза за раз, что не должно вводить практикующих врачей в заблуждение при использовании подобных программ в практической работе.

Несмотря на хорошие результаты классификации, имеется ограничение, связанное с недостаточной репрезентативностью обучающего датасета. Использование смежных ОКТ-срезов в обучающей и валидационной выборках приводит к тому, что модель обучается на данных, представляющих лишь ограниченное разнообразие уникальных случаев. Для расширения возможностей разработанной модели целесообразно рассмотреть два направления повышения репрезентативности датасета: это либо увеличение количества исключительно уникальных случаев, либо стандартизация формирования выборок с использованием уникальных случаев с множеством смежных срезов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная модель YOLO11n-clс продемонстрировала высокую точность в задаче классификации ОКТ-изображений по трем классам («меланома хориоидеи», «невус хориоидеи», «здоровое глазное дно»). Высокая точность достигнута при диагностике меланомы и невусов хориоидеи: для класса «меланома хориоидеи» точность (precision) составила 84,1 %, для класса «невус хориоидеи» точность (precision) = 82,7 %. Средний показатель точности равен 86,8 %, что подтверждает хорошую обучаемость модели.

Модель демонстрирует стабильную сходимость, отсутствие переобучения, высокую top-1- и практически идеальную top-5-точность. Эти характеристики делают ее подходящей для использования в задачах многоклассовой классификации в офтальмологической диагностике, особенно в условиях ограниченного числа изображений и высокой межклассовой схожести.

Данные результаты свидетельствуют о потенциальной клинической применимости модели в автоматизированной диагностике хориоидальных новообразований. Однако требует проверки ограничение, связанное с недостаточной вариативностью обучающего датасета, в перспективе целесообразно выполнить дополнительную валидацию и проверку на переобученность.

Результаты отражают известную сложность дифференциальной диагностики между доброкачественными и злокачественными образованиями хориоидеи как в клинической практике, так и при автоматизированном анализе изображений. Полученные данные подчеркивают необходимость

дальнейшего расширения и диверсификации обучающего датасета, а также потенциальную ценность мультимодального подхода с использованием дополнительных клинических и визуальных параметров. В будущем планируется создание алгоритма применения программы помощи принятия врачебных решений специалистами на основе ИИ для дифференциальной диагностики МХ и невуса хориоидеи в широкой клинической практике.

Полученные результаты свидетельствуют о перспективности применения нейросетей для автоматической диагностики внутриглазных опухолей.

Литература/References

1. Мякошина Е.Б. Начальная меланома хориоидеи и псевдомеланомы: методы дифференциальной диагностики (обзор литературы). Часть 3. *Российский офтальмологический журнал*. 2020; 13 (4): 91–8. [Myakoshina E.B. Small choroidal melanoma and pseudomelanomas: methods of differential diagnostics (literature review). Part 3. *Russian ophthalmological journal*. 2020; 13 (4): 91–8 (In Russ.)]. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2020-13-4-91-98>
2. Мякошина Е.Б., Саакян С.В. Оптическая когерентная томография в диагностике начальной меланомы хориоидеи. *Вестник офтальмологии*. 2020; 136 (1): 56–64. [Myakoshina E.B., Saakyan S.V. Optical coherence tomography in diagnostics of small choroidal melanoma. *Vestnik oftal'mologii*. 2020; 136 (1): 56–64 (In Russ.)]. <https://doi.org/10.17116/oftalma202013601156>
3. Бровкина А.Ф., Стояхина А.С., Мусаткина И.В. Оптическая когерентная томография в диагностике начальных меланом хориоидеи. *Вестник офтальмологии*. 2016; 132 (5): 23–34. [Brovkina A.F., Stoyukhina A.S., Musatkina I.V. Diagnostic potential of optical coherence tomography for small choroidal melanomas. *Vestnik oftal'mologii*. 2016; 132 (5): 23–34 (In Russ.)]. <https://doi.org/10.17116/oftalma2016132523-34>
4. Стояхина А.С., Мусаткина И.В. Морфогенез меланом хориоидеи в свете оптической когерентной томографии. *Вестник офтальмологии*. 2018. 134 (5–2): 186–94. [Stoyukhina A.S., Musatkina I.V. Morphogenesis of choroidal melanomas in OCT imaging. *Vestnik oftal'mologii*. 2018; 134 (5–2): 186–94 (In Russ.)]. <https://doi.org/10.17116/oftalma2018134051186>
5. Саакян С.Б., Нероев В.В., Юровская Н.Н. и др. Оптическая когерентная томография опухолеассоциированных изменений сетчатки при новообразованиях хориоидеи. *Российский офтальмологический журнал*. 2009; 2: 35–41. [Saakyan S.V., Neroev V.V., Yurovskaya N.N., et al. Optical coherence tomography of tumor-associated retinal changes in neoplasm of choroid. *Russian ophthalmological journal*. 2009; 2: 35–41 (In Russ.)].
6. Нероев В.В., Саакян С.В., Мякошина Е.Б. и др. Классификация опухолеассоциированных ретинальных изменений при увеальных новообразованиях. *Российский офтальмологический журнал*. 2010; 4: 35–9. [Neroev V.V., Saakyan S.V., Myakoshina E.B., et al. Classification of tumor-associated retinal changes in uveal tumors. *Russian ophthalmological journal*. 2010; 4: 35–9 (In Russ.)].
7. Гарри Д.Д., Саакян С.В., Хорошилова-Маслова И.П. и др. Методы машинного обучения в офтальмологии. Обзор литературы. *Офтальмология*. 2020; 17 (1): 20–31. [Garri D.D., Saakyan S.V., Khoroshilova-Maslova I.P., et al. Methods of machine learning in ophthalmology: Review. *Ophthalmology in Russia*. 2020; 17 (1): 20–31 (In Russ.)]. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2020-1-20-31>
8. Kermany DS, Goldbaum M, Cai W, et al. Identifying medical diagnoses and treatable diseases by image-based deep learning. *Cell*. 2018 Feb 22; 172 (5): 1122–31.e9. doi: 10.1016/j.cell.2018.02.010
9. Tang F, Wang X, Ran AR, et al. A Multitask deep-learning system to classify diabetic macular edema for different optical coherence tomography devices: A multicenter analysis. *Diabetes Care*. 2021 Sep; 44 (9): 2078–2088. doi: 10.2337/dc20-3064
10. Selvam A, Ong J, Bollepalli SC, et al. Artificial intelligence in choroid through optical coherence tomography: A comprehensive review. *Authorea Preprints*. 2023. doi: 10.36227/techrxiv.24076470.v2
11. Каталевская Е.А., Сизов А.Ю., Гилемзянова Л.И. Алгоритм искусственного интеллекта для сегментации патологических структур на сканах оптической когерентной томографии сетчатки глаза. *Российский журнал телемедицины и электронного здравоохранения*. 2022; 8 (3): 21–7. [Katalevskaya E.A., Sizov A.Yu., Gilemzianova L.I. Artificial intelligence algorithm for segmentation of pathological structures on optical coherence tomography scans. *Russian journal of telemedicine and electronic health care*. 2022; 8 (3): 21–7 (In Russ.)]. doi: 10.29188/2712-9217-2022-8-3-21-27
12. Нероев В.В., Брагин А.А., Зайцева О.В. Диагностика патологий сетчатки по снимкам оптической когерентной томографии с использованием инструментов искусственного интеллекта. *Российский офтальмологический журнал*. 2023; 16 (3): 47–53. [Neroev V.V., Bragin A.A., Zaytseva O.V. Diagnostics of retinal pathologies by optical coherence tomography images using artificial intelligence tools. *Russian ophthalmological journal*. 2023; 16 (3): 47–53 (In Russ.)]. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2023-16-3-47-53>
13. Patel RH, Foltz EA, Witkowski A, Ludzik J. Analysis of artificial intelligence-based approaches applied to non-invasive imaging for early detection of melanoma: a systematic review. *Cancers (Basel)*. 2023 Sep 23; 15 (19): 4694. doi: 10.3390/cancers15194694
14. Tailor PD, Kopinski PK, D'Souza HS, et al. Predicting choroidal nevus transformation to melanoma using machine learning. *Ophthalmol Sci*. 2024 Jul 20; 5 (1): 100584. doi: 10.1016/j.xops.2024.100584
15. Karamanli K-E, Maliagkani E, Petrou P, Papageorgiou E, Georgalas I. Artificial intelligence in decoding ocular enigmas: A literature review of choroidal nevus and choroidal melanoma assessment. *Applied Sciences*. 2025; 15 (7): 3565. <https://doi.org/10.3390/app15073565>
16. Ragab MG, Abdulkadir SJ, Muneer A, et al. A comprehensive systematic review of YOLO for medical object detection (2018 to 2023). *IEEE Access*. 2024; 12: 57815–536. doi: 10.1109/ACCESS.2024.3386826
17. Каталевская Е.А., Каталевский Д.Ю., Тюриков М.И., Велиева И.А., Большунов А.В. Перспективы использования искусственного интеллекта в диагностике и лечении заболеваний сетчатки. *Клиническая офтальмология*. 2022; 22 (1): 36–43. [Katalevskaya E.A., Katalevskiy D.Yu., Tyurikov M.I., Velieva I.A., Bolshunov A.V. Future of artificial intelligence for the diagnosis and treatment of retinal diseases. *Russian journal of clinical ophthalmology*. 2022; 22 (1): 36–43 (In Russ.)]. doi: 10.32364/2311-7729-2022-22-1-36-43
18. Shulga LA, Saakyan SV, Skladnev DA. Finding a uniform system of retina coefficient for early detection of initial stage of pathological changes. In: Ng EYK, Acharya UR, Tamura T, eds. *Distributed Diagnosis and Healthcare*. Vol. 3. American Scientific Publishers; 2011: 321–5.
19. Aldughayfiq B, Ashfaq F, Jhanjhi NZ, Humayun M. YOLO-Based deep learning model for pressure ulcer detection and classification. *Healthcare (Basel)*. 2023 Apr 25; 11 (9): 1222. doi: 10.3390/healthcare11091222
20. Pinto-Coelho L. How artificial intelligence is shaping medical imaging technology: A survey of innovations and applications. *Bioengineering (Basel)*. 2023 Dec 18; 10 (12): 1435. doi: 10.3390/bioengineering10121435
21. Ali ML, Zhang Z. The YOLO framework: A comprehensive review of evolution, applications, and benchmarks in object detection. *Computers*. 2024; 13 (12): 336. <https://doi.org/10.3390/computers13120336>

Вклад авторов в работу: Е.Б. Мякошина — разработка идеи и дизайна исследования, обработка и интерпретация данных, написание, редактирование и окончательное утверждение статьи для публикации; С.В. Саакян — редактирование статьи; А.О. Укина — обработка и интерпретация данных, написание и редактирование статьи; Д.Д. Гарри — обработка и интерпретация данных, написание статьи.

Author's contribution: E.B. Myakoshina — development of the idea and design of the study, data processing and interpretation, writing, editing and final approval of the article for publication; S.V. Saakyan — editing of the article; A.O. Ukina — data processing and interpretation, writing and editing of the article; D.D. Garry — data processing and interpretation, writing of the article.

Поступила: 17.06.2025. Переработана: 17.07.2025. Принята к печати: 18.07.2025
Originally received: 17.06.2025. Final revision: 17.07.2025. Accepted: 18.07.2025

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ/INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

¹ ФГБУ «НМИЦ глазных болезней им. Гельмгольца» Минздрава России, ул. Садовая-Черногрозская, д. 14/19, Москва, 105062, Россия

² ФГБОУ ВО «Российский университет медицины» Минздрава России, ул. Долгоруковская, д. 4, Москва, 127006, Россия

Елена Борисовна Мякошина — д-р мед. наук, старший научный сотрудник отдела офтальмоонкологии и радиологии, доцент кафедры глазных болезней¹, ORCID 0000-0002-2087-7155

Светлана Владимировна Саакян — чл.-корр. РАН, д-р мед. наук, профессор, начальник отдела офтальмоонкологии и радиологии¹, заведующая учебной частью кафедры глазных болезней лечебного факультета НОИ Клинической медицины им. Н.А. Семашко², ORCID 0000-0001-8591-428X

ГБУЗ ЛО «Гатчинская клиническая межрайонная больница», ул. Рошинская, д. 15а к. 1, Гатчина, Ленинградская обл., 188300, Россия

Анастасия Олеговна Укина — врач-офтальмолог отделения офтальмологии стационара, ORCID 0009-0005-6752-9499

ООО «Искусственные сети и технологии», ул. Козлова, д. 30, Москва, 121357, Россия

Денис Дмитриевич Гарри — аспирант кафедры глазных болезней ФДПО, специалист по работе с медицинскими данными

Для контактов: Анастасия Олеговна Укина,
anastasiukina@yandex.ru

¹ Helmholtz National Medical Research Center of Eye Diseases, 14/19, Sadovaya-Chernogryazskaya St., Moscow, 105062, Russia

² The Russian University of Medicine, 4, Dolgorukovskaya St., Moscow, 127006, Russia

Elena B. Myakoshina — Dr. of Med. Sci., senior researcher of ocular oncology and radiology department, assistant professor, chair of eye diseases¹, ORCID 0000-0002-2087-7155

Svetlana V. Saakyan — Corresponding member of the Russian Academy of Sciences, Dr. of Med. Sci., professor, head of ocular oncology and radiology department¹, head of the academic department of chair of eye diseases of N.A. Semashko National Research Institute of clinical medicine², ORCID 0000-0001-8591-428X

Gatchina Interdistrict Clinical Hospital, 15A, building 1, Roshchinskaya St., Gatchina, Leningrad region, 188300, Russia

Anastasia O. Ukina — ophthalmologist, hospital ophthalmology department, ORCID 0009-0005-6752-9499

Limited Liability Company "Artificial Networks and Technologies", 30, Kozlov St., Moscow, 121357, Russia

Denis D. Garri — PhD student, chair of eye diseases of the faculty of continuing professional education, specialist in working with medical data

For contacts: Anastasiia O. Ukina,
anastasiukina@yandex.ru

<https://doi.org/10.21516/2072-0076-2026-19-2-109-117>

Фильтрующая хирургия глаукомы: рациональный алгоритм послеоперационных осмотров пациентов

В.П. Николаенко^{1,2}, А.В. Антонова^{1,2✉}, Д.Ф. Белов^{1,2}

¹ ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский государственный университет, Университетская наб., д. 7/9, Санкт-Петербург, 199034, Россия

² СПб ГБУЗ «Городская многопрофильная больница № 2», пер. Учебный, д. 5, Санкт-Петербург, 194354, Россия

Цель работы — представить рациональный алгоритм послеоперационных осмотров пациентов, перенесших синустрабекулэктомию (СТЭ). **Материал и методы.** В проспективном интервенционном одноцентровом когортном открытом исследовании приняли участие 1100 последовательно включенных пациентов, прооперированных тремя хирургами (авторами статьи) в 2022–2024 гг. в СПб ГБУЗ «ГМПБ № 2» по поводу некомпенсированной первичной открытоугольной глаукомы (ПОУГ) и затем наблюдавшихся в клинике на протяжении 3–6 мес. Проведен анализ частоты и оптимальных сроков послеоперационных осмотров, обеспечивших своевременную диагностику и адекватное лечение осложнений СТЭ, основными из которых являются синдром мелкой передней камеры (ПК) из-за гиперэффекта операции в первые две недели, а также избыточное рубцевание в более поздние сроки после вмешательства. **Результаты.** Дата очередного визита определялась в ходе первого осмотра оперированного пациента спустя 2–3 ч после СТЭ. Неизменная глубина ПК в сочетании с обширной разлитой фильтрационной подушкой (ФП) позволяла выписать пациента на амбулаторное лечение с последующим осмотром в стационаре через 3 нед после СТЭ, в начале фазы ремоделиции ФП и далее 2–4 раза на протяжении второго месяца после операции. Слегка уменьшенная из-за гиперфильтрации глубина ПК не препятствовала выписке пациента на амбулаторное лечение, однако предполагала контрольные осмотры в клинике через 3, 7 и 14 дней после СТЭ (до нормализации анатомических взаимоотношений в переднем отрезке глаза) и далее 2–4 раза на протяжении второго месяца после операции. Сохранение ПК лишь в просвете зрачка, регистрируемое уже через несколько часов после СТЭ, служило основанием для пролонгации стационарного лечения минимум на 2–3 дня для восстановления ПК консервативными и хирургическими методами. Последующие осмотры осуществлялись на 7-е и 14-е сутки после СТЭ и далее 2–4 раза на протяжении второго месяца после операции. Отсутствие тока водянистой влаги из-под поверхностного склерального лоскута в первые часы после операции не препятствовало выписке пациента, однако предполагало осуществление всего комплекса мероприятий по восстановлению и поддержанию фильтрации в ходе контрольных осмотров через 3, 7 и 14 дней после СТЭ и далее еженедельно на протяжении второго месяца после операции. **Заключение.** В отличие от неосложненной факоемульсификации senильной катаракты, где достаточность однократного визита в поликлинику по месту жительства не вызывает сомнений, успех конъюнктивальной хирургии глаукомы невозможен без пристального двухмесячного наблюдения хирурга-глаукоматолога, предполагающего от 5 до 7 контрольных осмотров. При неосложненном течении раннего послеоперационного периода особое внимание пациенту должно быть уделено на 4–8-й неделе после СТЭ, в то время как при избыточной фильтрации или, напротив, ее отсутствии основные лечебные мероприятия осуществляются в первые 2 нед после операции.

Ключевые слова: глаукома; синустрабекулэктомия; хирургия глаукомы; послеоперационный осмотр; фторхинолоны; глюкокортикоиды; нестероидные противовоспалительные препараты

Конфликт интересов: отсутствует.

Прозрачность финансовой деятельности: никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

Для цитирования: Николаенко В.П., Антонова А.В., Белов Д.Ф. Фильтрующая хирургия глаукомы: рациональный алгоритм послеоперационных осмотров пациентов. Российский офтальмологический журнал. 2026; 19 (2): 109-117. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2026-19-2-109-117>

Glaucoma filtering surgery: rational algorithm of patients' follow-up

Vadim P. Nikolaenko^{1,2}, Anastasiya V. Antonova^{1,2}✉, Dmitri F. Belov^{1,2}

¹ St. Petersburg State University, 7/9, Universitetskaya emb., St. Petersburg, 199034, Russia

² City Multidisciplinary Hospital No. 2, 5, Uchebnyy lane, St. Petersburg, 194354, Russia

dr.antonova.av@gmail.com

Purpose of the study: to present a rational algorithm of post-operative visits of patients who have undergone trabeculectomy (TE). **Material and methods.** In a prospective interventional single-center open cohort study participated 1,100 sequentially enrolled patients operated by three surgeons (the authors of the study) in 2022–2024 in the City Multidisciplinary Hospital No. 2 regarding the non-compensated primary open-angle glaucoma and then observed in the clinic for 3–6 months. The frequency and optimal timing of post-operative examination, providing timely diagnosis and adequate treatment of TE complications, the main ones being shallow anterior chamber (AC) due to hyperfiltration in the first 2 weeks as well as excessive scarring later after surgery is analyzed. **Results.** The date of the next visit was determined during the first examination of the operated patient 2 to 3 hours after the TE. The unchanged depth of the AC, combined with the diffuse filtration bleb (FB), allowed for outpatient treatment with follow-up in the hospital 3 weeks after TE, at the beginning of the FB remodulation phase, and then 2–4 times during the 2nd month after the surgery. Slightly reduced due to overfiltration depth of the AC allowed outpatient treatment, but required checkups at the clinic 3, 7 and 14 days after TE (until normalization of anatomical relationships in the anterior segment) and then 2–4 times during the second month after the surgery. Flat AC, recorded a few hours after TE, was the reason for the prolongation of the stationary treatment, at least 2–3 days for its therapeutic and surgical recovery. The follow-up examinations were carried out on the 7th and 14th day after TE and then 2–4 times during the second month after the surgery. Lack of aqueous flow from under the scleral flap in the first hours after surgery did not prevent patient discharge but involved a set of recovery and maintenance filtration measures during checkups after 3, 7 and 14 days after TE and then weekly for the second month following the surgery. **Conclusion.** Unlike uncomplicated phacoemulsification of senile cataracts, where the adequacy of a one-time visit to the local clinic is not in doubt, the success of conjunctival glaucoma surgery is not possible without a close 2-month follow-up by the glaucoma surgeon, which involves 5 to 7 check-ups. In the uncomplicated early postoperative period, special attention should be given to the patient on the 4th–8th week after TE while in hyperfiltration or lack of FB the main therapeutic activities occur in the first 2 weeks after the surgery.

Keywords: glaucoma; trabeculectomy; glaucoma surgery; postoperative follow-up; fluoroquinolones; steroids, non-steroids

Conflict of interests: there is no conflict of interests.

Financial disclosure: no author has a financial or property interest in any material or method mentioned.

For citation: Nikolaenko V.P., Antonova A.V., Belov D.F. Glaucoma filtering surgery: rational algorithm of patients' follow-up. Russian ophthalmological journal. 2026; 19 (2): 109-117 (In Russ.). <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2026-19-2-109-117>

Основная задача послеоперационного наблюдения — своевременная диагностика и эффективное лечение осложнений фильтрующих вмешательств, из которых основным ранним (первые 2 нед) является синдром «мелкой передней камеры» из-за гиперфильтрации, а поздним (спустя 3–4 нед после синустрабекулектomie, СТЭ) — инкапсуляция фильтрационной подушки (ФП) или ее уплощение (вплоть до исчезновения) в связи с ослабевающим оттоком водянистой влаги под конъюнктиву из-за высокой фибробластической активности покровных тканей глаза, приводящей к грубому рубцеванию на фоне многолетнего фармакологического воздействия на глазную поверхность. В связи с этим актуальным является вопрос о минимальной частоте и оптимальных сроках послеоперационных осмотров, обеспечивающих раннее выявление любых отклонений от гладкого течения послеоперационного периода.

ЦЕЛЬ работы — представить рациональный алгоритм послеоперационных осмотров пациентов, перенесших СТЭ.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В проспективном интервенционном одноцентровом когортном открытом исследовании приняли участие 1100 последовательно включенных пациентов, прооперированных

тремя хирургами (Н.В.П., А.А.В., Б.Д.Ф.) в 2022–2024 гг. в СПб ГБУЗ «ГМПБ № 2» по поводу некомпенсированной первичной открытоугольной глаукомы (ПОУГ) и затем наблюдавшихся в клинике на протяжении 3–6 мес.

Все участники исследования подписали информированное согласие на обследование и лечение.

Критериями включения в группу явились возраст старше 35 лет, а также прогрессирование ПОУГ, требующее хирургической нормализации офтальмотонуса из-за неэффективности консервативных и лазерных методов лечения.

Критериями невключения служили глаукома молодых, первичная закрытоугольная и вторичная глаукомы, потребность в реоперации фильтрующего типа, а также выраженные симптомы и клинические признаки заболеваний глазной поверхности у пациента с ПОУГ, являющиеся показаниями к имплантации клапана Ахмеда или экваториального шунта Glaucodrain.

Критериями исключения были тяжелое общее состояние и/или низкая приверженность пациента лечению, препятствующие соблюдению требований протокола исследования на протяжении, минимум, 3 мес.

При показателях офтальмотонуса, не превышающих верхнюю границу общепринятой нормы, осуществлялась

тридцатидневная подготовка конъюнктивы к предстоящему вмешательству, включавшая в себя переход на щадящие глазную поверхность гипотензивные капли (например, простагмид Биматан® в сочетании с Бринарга® — ФК бринзоламид + тимолол с максимальным содержанием карбомера 4,2 мг/мл), назначение слезозаменителей (Офтолик-БК), четырехкратные инстилляции 0,1 % фторметолон (Флоас Моно) при необходимости в сочетании с 0,09 % бромфенаком 1 раз в сутки (Броксинак®).

Использовалась классическая техника СТЭ по J. Cairns (1968) [1] со всеми последующими изменениями, повышающими ее эффективность и безопасность [2, 3]. На завершающих этапах операции особое внимание уделялось анализу «давления открытия» импровизированного клапана, роль которого выполняет поверхностный склеральный лоскут. Чаще всего проводился ирригационный тест — ориентировочное определение тургора глазного яблока, при котором вводился через парацентез физиологический раствор начинал просачиваться из-под склерального лоскута. Оптимальным уровнем «давления открытия» является 15 мм рт. ст. Второй (компрессионный) тест, подтверждающий адекватную степень ушивания, предполагает истечение камерной влаги при надавливании на склеру у заднего края лоскута. Наконец, о приемлемой степени герметизации свидетельствовала

трансформация глубокой (за счет заполнения воздухом) передней камеры (ПК) в среднеглубокую при компрессии нижнего лимба горизонтально ориентированным шпателем. Невозможность углубления ПК в ходе ирригационного теста или ее опорожнение при компрессии являлось сигналом к наложению дополнительного (третьего) шва на поверхностный склеральный лоскут.

Послеоперационное лечение включало в себя четырехкратные инстилляции 0,5 % раствора левофлоксацина (Сигницеф®) на протяжении 7–14 суток и комбинированную (стероидную и нестероидную) противовоспалительную терапию. Даже неосложненное течение раннего послеоперационного периода в отсутствие очевидных факторов риска утраты фильтрации предполагало использование 0,1 % дексаметазона по пролонгированной до 6 нед убывающей схеме с еженедельной отменой одной инстилляции в комбинации с 0,09 % бромфенака (Броксинак®) 1 раз в сутки в первые 3 недели (рис. 1).

Осложненное инкапсуляцией подушки или признаками ранней утраты фильтрации течение послеоперационного периода служило основанием для удлинения глюкокортикоидной терапии до 2 и более месяцев. После 4-х недель применения 0,1 % дексаметазона пациент переводился на 0,1 % фторметолон (Флоас Моно) (рис. 2).

Мероприятия: Measures:

- Переход на щадящие офтальмогипотензивные препараты
Switch to gentle ophthalmic hypotensive drugs
- Инстиллянии бесконсервативных слезозаменителей
Instillations of preservative-free tear substitutes
- Инстиллянии 0,1 % фторметолон
Instillations of 0.1 % fluorometholone
- Лечение дисфункции мейбомиевых желез
Treatment of meibomian gland dysfunction
- Временная обтурация слезоотводящих путей
Temporary obturation of lacrimal drainage pathways
- Инстиллянии 0,5 % левофлоксацина
Instillations of 0.5 % levofloxacin
- Инстиллянии 0,1 % дексаметазона
Instillations of 0.1 % dexamethasone
- Инстиллянии 0,09 % бромфенака
Instillations of 0.09 % bromfenac

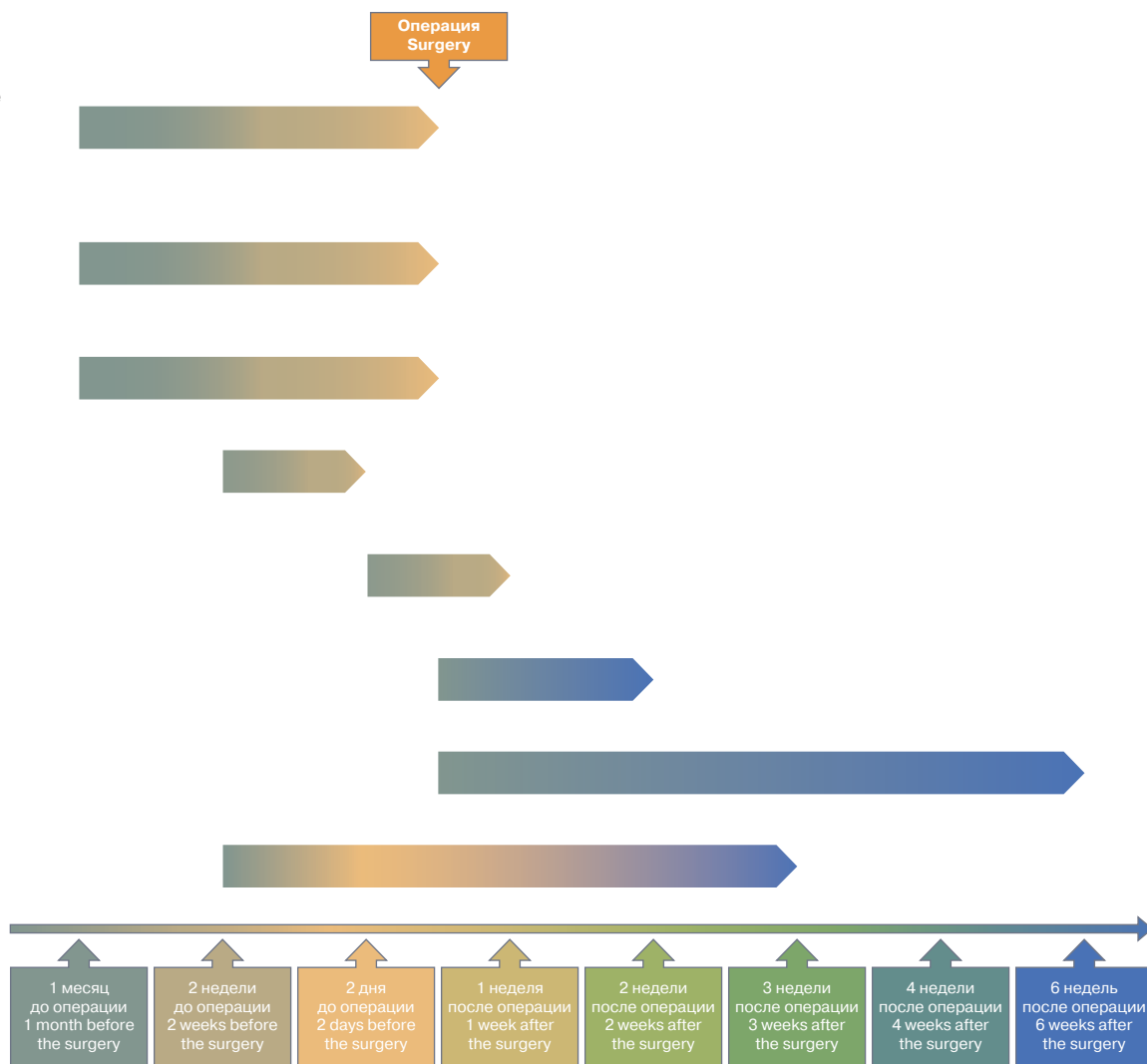


Рис. 1. Алгоритм послеоперационного лечения в неосложненных случаях

Fig. 1. Algorithm of postoperative treatment in uncomplicated cases

Мероприятия:

Measures:

- Переход на щадящие офтальмогипотензивные препараты
Switch to gentle ophthalmic hypotensive drugs
- Инстилляций бесконсервативных слезозаменителей
Instillations of preservative-free tear substitutes
- Инстилляций 0,1 % фторметолон
Instillations of 0.1 % fluorometholone
- Лечение дисфункции мейбомиевых желез
Treatment of meibomian gland dysfunction
- Временная obturация слезоотводящих путей
Temporary obturation of lacrimal drainage pathways
- Инстилляций 0,5 % левофлоксацина
Instillations of 0.5 % levofloxacin
- Инстилляций 0,1 % дексаметазона
Instillations of 0.1 % dexamethasone
- Инстилляций 0,09 % бромфенака
Instillations of 0.09 % bromfenac



Рис. 2. Алгоритм послеоперационного лечения в нестандартных случаях (при осложненном течении)

Fig. 2. Algorithm of postoperative treatment in complicated cases

Осложненное синдромом «мелкой ПК» из-за гиперфильтрации течение послеоперационного периода являлось показанием к назначению на 7 суток (с возможной пролонгацией до 14 дней) фиксированной комбинации фенилэфрина и тропикамида (Мидримакс®).

Анализ послеоперационного состояния глаза включал в себя оценку глубины ПК и морфологии ФП, васкуляризации и признаков воспаления как конъюнктивы, так и субконъюнктивальных тканей [2, 4].

Глубина ПК оценивалась с помощью классификации G. Spaeth [5]. 1-я степень измельчения: контакт периферической трети радужки с эндотелием. ПК сохранена, но глубина ее в центре слегка уменьшена, ВГД ниже нормы. 2-я степень измельчения: иридо-корнеальный контакт (при котором роговица сохраняет прозрачность, а рисунок стромы радужки не уплощен) распространяется вплоть до края зрачка, но камера в его просвете сохранена и тонкий слой влаги отделяет эндотелий от передней капсулы хрусталика или поверхности ИОЛ. 3-я степень (отсутствие ПК с корнео-лентальным контактом): отек роговичной стромы и уплощение прижатой к ней радужки, а также контакт эндотелия роговицы с передней капсулой хрусталика или поверхностью ИОЛ.

Описание ФП осуществлялось с использованием Вюрцбургской классификации, опирающейся на пять кри-

териев: васкуляризация подушки, штопорообразный ход сосудов, инкапсуляция, наличие микрокист в стенке ФП и ее высота [6].

Из шкалы IBAGS (The Indiana Bleb Appearance Grading Scale), основанной на балльной системе оценки высоты и протяженности ФП, васкуляризации формирующих ее тканей, а также результатов пробы Зейделя [7] был взят на вооружение критерий «протяженности фильтрационной подушки» в часах условного циферблата. Для интегральной оценки ФП использовались термины, предложенные разными авторами и сведенные воедино М. Ciancaglini и соавт. [8]: разлитая, кистозная, инкапсулированная, плоская.

Оптимальными считались разлитые, пологие, аваскулярные, с обилием микрокист в полупрозрачной стенке ФП без четкого отграничения от окружающих тканей.

Подушка является разлитой (диффузной), если ее протяженность по лимбу составляет 3 и более часа. При площади распространения менее 3 ч подушка считалась локализованной (ограниченной). Как правило, она не превышала размеров поверхностного склерального лоскута. Третий возможный вариант — это отсутствие явной или «выраженной» ФП [5, 9]. Инкапсулированная ФП — толстостенная, высокая, куполообразная, четко отграниченная от окружающих тканей.

Результаты гипотензивной операции оценивались по общепринятым критериям [10–13]. К «полному успеху» относились те случаи, когда истинное ВГД находится в пределах 6–21 мм рт. ст. на протяжении минимум 6 мес послеоперационного периода без гипотензивного лечения и тяжелых (например, эндофтальмит, отслойка сетчатки, обширная геморрагическая отслойка сосудистой оболочки) осложнений. Достижение нормотонии с использованием дополнительных приемов (транспальпебрального массажа глазного яблока, а также субконъюнктивального/субсклерального нидлинга) не снижало оценку исхода операции [10].

При истинном ВГД в пределах 6–21 мм рт. ст., но на фоне местного лечения гипотензивными препаратами результат вмешательства оценивался как «относительный (или признанный, квалификационный) успех».

«Относительная (признанная) неудача» — истинное ВГД выше 21 мм рт. ст. даже на фоне медикаментозной терапии, но при этом последующие гипотензивные вмешательства не планировались. Подъем ВГД должен быть зафиксирован в ходе, как минимум, трех последовательных осмотров. Спорадические эпизоды якобы повышенного офтальмотонуса в расчет не принимались, так как они могли быть следствием технических погрешностей тонометрии.

«Полная неудача» предполагала наличие у пациента хотя бы одного из перечисленных ниже критериев: истинное ВГД выше 21 мм рт. ст., сопровождающееся прогрессированием глаукомных поражений поля зрения (вплоть до слепоты); выполнение повторного гипотензивного вмешательства (или наличие показаний к его выполнению); развитие тяжелых послеоперационных осложнений (отслойка сетчатки, обширная геморрагическая отслойка сосудистой оболочки, эндофтальмит); стойкая гипотония (истинное ВГД ниже 5 мм рт. ст., как минимум, при двух последовательных контрольных осмотрах); субатрофия глазного яблока.

РЕЗУЛЬТАТЫ

При неосложненном ходе СТЭ и неизменной глубине ПК в первые часы послеоперационного периода пациент выписывался на амбулаторное лечение с последующим осмотром в стационаре через 3 нед после вмешательства, в начале фазы ремоделиции ФП и далее на протяжении второго месяца после операции 2–4 раза в зависимости от морфологии ФП и уровня офтальмотонуса. Обширная разлитая подушка позволяла ограничиться двумя осмотрами в течение второго месяца после СТЭ. Необходимость регулярного транспальпебрального массажа, решения вопроса о целесообразности

нидлинга из-за ВГД, близкого к верхней границе нормы, служили показаниями к еженедельным визитам в клинику.

Слегка уменьшенная из-за гиперфильтрации глубина ПК не препятствовала выписке пациента на амбулаторное лечение, так как сопротивление теноновой капсулы и конъюнктивы оттоку водянистой влаги из глаза способствуют спонтанному восстановлению ПК, однако предполагала усиление терапии инстилляциями фиксированной комбинации м-холиноблокатора и альфа-адреномиметика. Осмотры в клинике проводились через 3, 7 и 14 дней после СТЭ (для контроля за восстановлением анатомических взаимоотношений в переднем отрезке глаза) и далее 2–4 раза на протяжении второго месяца после операции (для воздействия на процессы рубцевания в зоне ФП).

Сохранение ПК лишь в просвете зрачка, регистрируемое уже через несколько часов после вмешательства, служило показанием к пролонгации стационарного лечения, минимум, на 1–2 дня для восстановления ПК консервативными и хирургическими методами. Последующие осмотры осуществлялись на 7-е и 14-е сутки после СТЭ и далее 2–4 раза на протяжении второго месяца после операции.

Отсутствие тока водянистой влаги из-под поверхностного склерального лоскута в первые часы после операции является фактором риска ранней утраты ФП. Изложенные фармакологические и механические (массаж) методы усиления фильтрации в ходе еженедельных визитов в клинику на протяжении 2–3 мес послеоперационного периода дополнялись локальным надавливанием на край склерального лоскута стерильным ватным банничком или силиконовым поршнем инсулинового шприца (прием К. Траверзо, эффективен в первые две недели [14]), а также трансконъюнктивальным лазерным сутуролизисом одного нейлонового шва не ранее 7-х суток после трабекулэктомии во избежание чрезмерной фильтрации [15–17]. Сохранение, несмотря на продолжающийся транспальпебральный массаж, офтальмогипертензии на протяжении следующей недели служило показанием к рассечению второго шва, восстанавливавшему отток влаги.

Гипотензивная терапия возобновлялась лишь при повышении офтальмотонуса сверх толерантного для пациента уровня. Осуществлялось кратковременное медикаментозное подавление продукции водянистой влаги ингибиторами карбоангидразы, β-блокаторами, α-агонистами.

В таблице 1 сведены воедино основные приемы, направленные на сохранение эффекта СТЭ в зависимости от морфологии ФП.

Таблица 1. Тактика врача в зависимости от морфологии ФП

Table 1. Treatment /management strategy depending on the morphology of the filtering bleb (FB)

Варианты ФП FB type	Используемые приемы Management options				
	Фармакологическая модуляция (ГК + НПВП) Topical anti-inflammatory therapy (GC and NSAIDs)	Транспальпебральный массаж Transpalpebral massage	Нидлинг Needling	Лазерный сутуролизис Laser suture lysis	Возобновление гипотензивной терапии Restart of hypotensive therapy
Диффузная, разлитая Diffuse, elevated	6 нед 6 weeks	—	—	—	—
Инкапсуляция Encapsulated		+ / —	+ / —	—	+ / —
Плоская Flat	Не менее 8 нед At least 8 weeks	+	+	+	+ / —
Отсутствие Absent		+	+	+	+

Примечание. ГК — глюкокортикоид; НПВП — нестероидный противовоспалительный препарат.

Note. GC — glucocorticoids; NSAIDs — nonsteroidal anti-inflammatory drugs; + indicated; + / — optional; — not indicated.

Борьба за сохранение субконъюнктивальной фильтрации осуществлялась на протяжении 3 мес после СТЭ, т. е. в период ремоделиции ФП. В более поздние сроки фармакологическая модуляция ранозаживления, транспальпебральный массаж, субконъюнктивальный нидлинг и лазерный сутуроллизис теряли смысл. Для возобновления оттока водянистой влаги предпринимались попытки механического разрушения склеро-склеральных и склеро-конъюнктивальных рубцов инсулиновой иглой с последующей реализацией всего описанного выше комплекса послеоперационного лечения [18, 19], либо, что, на наш взгляд, предпочтительнее, осуществлялась имплантация клапана Ахмеда или шунта GlaucoDrain в соседнем квадранте.

ОБСУЖДЕНИЕ

Как ни парадоксально это звучит, но общепринятый стандарт ведения пациентов после СТЭ, впрочем, как и факкомульсификации (ФЭК), до сих пор не выработан.

Что касается ФЭК, то современные технологии ее выполнения позволяют существенно упростить алгоритм наблюдения за пациентами после операции, не препятствуя при этом решению основной задачи — своевременной диагностике и эффективному лечению наиболее актуальных для ФЭК — ранних, в первую очередь, инфекционных — осложнений. Сегодня это профилактическое лечение предполагает максимально короткий курс стероидов, в том числе «мягких», и антибиотиков, наиболее эффективных в отношении основных возбудителей эндофтальмита [20, 21].

Результаты 14 600 ФЭК, выполненных в период пандемии коронавирусной инфекции, в условиях жестких санитарно-противоэпидемических мер, вынудивших отказаться от попытки стопроцентного охвата осмотрами оперированных пациентов, продемонстрировали, что неосложненное удаление сенильной катаракты в исполнении опытного хирурга позволяет отказаться от послеоперационных обследований в стационаре, ограничившись одним визитом в поликлинику по месту жительства в течение первых двух недель после вмешательства. Опыт последних 5 лет работы нашей клиники подтверждает не только право данного алгоритма на существование, но и его очевидную целесообразность [22].

Что касается занимающих второе место по частоте выполнения, по крайней мере в нашем стационаре — гипотензивных вмешательств конъюнктивального типа, то кардинально отличающийся профиль их осложнений требует совершенно иного, чем ФЭК, алгоритма послеоперационных осмотров.

Так, для фильтрующих операций неактуальна проблема ранних инфекционных осложнений, по-видимому, из-за предшествующей санации конъюнктивальной полости бензалконием, минимального объема вводимых в полость глаза субстанций, адекватного дренирования передней и задней камер, а также пребывающих в непосредственной близости от герметично ушитого операционного разреза (потенциальных входных ворот инфекции) иммунокомпетентных клеток.

Конечно, антибиотикотерапией не стоит пренебрегать, и мы распространяем на гипотензивные вмешательства все соответствующие рекомендации Европейского общества катарактальных и рефракционных хирургов по профилактике эндофтальмита, но основной проблемой СТЭ все же является не инфекция, а синдром «мелкой передней камеры», свидетельствующий об осложненном течении раннего послеоперационного периода [23–25] и предполагающий пристальное наблюдение за восстановлением нормальных анатомических взаимоотношений в переднем отрезке глаза.

Глубина ПК становится минимальной на 2–3-й дни после вмешательства, что определяет дату второго (если брать в расчет осмотр через несколько часов после СТЭ) послеоперационного обследования. Так как даже спонтанное восстановление ПК занимает не более 14 суток, то еженедельное наблюдение за такого рода пациентами ограничивалось этими временными рамками.

Частота возникновения синдрома до недавнего времени достигала 19–24 % [26, 27]. Однако претерпевшая за 58 лет своего существования значительную модернизацию техника СТЭ и адекватное анестезиологическое сопровождение снижают эту цифру на порядок. Необходимость в восстановлении ПК пациентов, составивших исследуемую группу, возникла в 6,5 % случаев и становилась очевидной уже в день операции из-за выраженного (2–3-я степень) уменьшения ее глубины.

Ни одному пациенту с 1-й степенью измельчения ПК в момент выписки из стационара не потребовалась повторная госпитализация для ее восстановления по результатам осмотров на 3-и, 7-е и 14-е сутки после СТЭ, которые, как оказалось, не приносили существенных корректив в алгоритм периоперационного сопровождения, а скорее демонстрировали пациенто-ориентированность клиники.

Вторым индикатором осложненного течения раннего послеоперационного периода [23–25], требующего еженедельных осмотров в первые 14 суток после СТЭ, является отсутствие ФП, обусловленное дефектами хирургической техники — чрезмерно плотным ушиванием поверхностного склерального лоскута, толщина которого превышает половину склеры. У наших пациентов подобное осложнение не зафиксировано.

Таким образом, в рамках данного исследования подавляющее большинство (93,5 %) оперированных не нуждались в осмотрах хирурга в течение первых двух недель после вмешательства. Причем отсрочка визита в клинику не сопровождалась дополнительными рисками для здоровья пациентов.

Если по истечении 3 недель катарактальный хирург может не только облегченно вздохнуть в плане отсутствия угрозы основных осложнений ФЭК, но и оценить ее рефракционные исходы, то для глаукомного хирурга и его пациента все только начинается.

Речь идет об основном осложнении современной конъюнктивальной хирургии глаукомы — утрате фильтрации из-за обусловленного предшествующим многолетним интенсивным фармакологическим воздействием воспаления тканей глазной поверхности, приводящего к грубому рубцеванию и облитерации созданных путей оттока водянистой влаги.

Проблема усугубляется выраженным провоспалительным эффектом СТЭ, соизмеримым со склеропластической хирургией отслойки сетчатки и существенно превышающим таковой у ФЭК [28], что приводит к увеличению числа проинфламаторных клеток, а также цитокинов и факторов роста фибробластов в конъюнктиве и камерной влаге [29–31]. Это обстоятельство вкпе с длительным многостадийным процессом ранозаживления с его фазой воспаления, сменяющейся на 20–25-е сутки после операции трехмесячной фазой ремоделиции новообразованной рубцовой ткани в зоне ФП [32] объясняет необходимость минимум шестинедельного применения дексаметазона в комбинации с нестероидным противовоспалительным препаратом бромфенаком в первые 3 нед даже у пациентов с благоприятным хирургическим прогнозом (не успевших начать гипотензивное лечение, получавших исключительно бесконсервантные препараты или монотерапию аналогами простагландина) [33].

Таблица 2. Особенности ФЭК и СТЭ, определяющие алгоритм периоперационного сопровождения пациентов
Table 2. Features of phacoemulsification (PE) and trabeculectomy (TE) determining the algorithm of perioperative patients' management

Сравниваемый критерий Parameter	ФЭК PE	СТЭ TE
Объект манипуляций Target tissues	Бессосудистые ткани (роговица и хрусталик) Avascular tissues (cornea and crystalline lens)	Васкуляризированные ткани (конъюнктивы) Vascularised tissues (conjunctiva)
Длительность предоперационной подготовки Duration of preoperative preparation	1 ч 1 hour	1 мес 1 month
Вклад операции в итог лечения, % Estimated contribution of surgery to overall treatment outcome, %	90*	50*
Наиболее опасный период Period of highest risk	Первая неделя First postoperative week	3–4-я нед Weeks 3–4 postoperatively
Основная задача периоперационного сопровождения Primary goal of perioperative management	Профилактика инфекции Infection prevention	Борьба с воспалением Inflammation control
Длительность антибиотикотерапии Duration of antibiotic therapy	Редко превышает 7 суток Typically does not exceed 7 days	Редко превышает 7 суток Typically does not exceed 7 days
Длительность противовоспалительной терапии Duration of anti-inflammatory therapy	Редко превышает 14 суток Typically does not exceed 14 days	Не менее 6 нед At least 6 weeks
Комбинированная (ГК + НПВП) терапия Combination therapy (GC and NSAIDs)	Опциональна Optional	Обязательна Mandatory

Примечание. * — мнение авторов.
Note. * — based on authors' opinion.

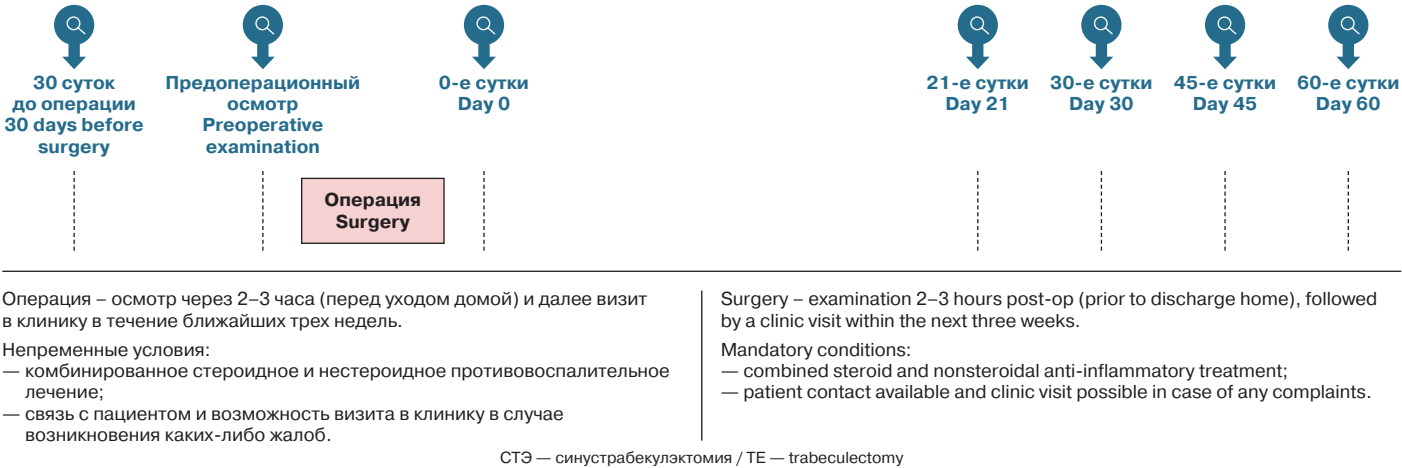


Рис. 3. Рекомендуемый алгоритм наблюдения за пациентами после трабекулэктомии, неосложненной развитием мелкой передней камеры или ранней утратой фильтрации
Fig. 3. Recommended algorithm for monitoring patients after trabeculectomy uncomplicated by the development of a shallow anterior chamber or early filtration loss



Рис. 4. Рекомендуемый алгоритм наблюдения за пациентами после трабекулэктомии, осложненной развитием мелкой передней камеры или ранней утратой фильтрации
Fig. 4. Recommended algorithm for monitoring patients after trabeculectomy complicated by the development of a shallow anterior chamber or early filtration loss

Но и на фоне максимальной противовоспалительной терапии, примерно через 3 нед после СТЭ обширная разлитая ФП зачастую претерпевает изменения своей морфологии — инкапсуляцию или уплощение (вплоть до исчезновения) в связи с ослабевающей фильтрацией водянистой влаги под конъюнктиву. Поэтому осмотр спустя 3 нед после вмешательства, определяющий тактику дальнейшего ведения пациента, приобретает ключевое значение.

Первый, относительно благоприятный вариант, по сути, является иллюстрацией общебиологической закономерности заживления функционирующей зоны операции, трансформирующей обширную разлитую подушку в высокую, четко отграниченную от окружающих тканей (инкапсулированную), но имеющую тот же объем и продолжающую с успехом выполнять функцию резервуара для оттекающей водянистой влаги, по крайней мере, у каждого второго пациента [19, 34].

Инкапсуляция характерна не только для трабекулэктомии, но и для имплантации клапана Ахмеда, а также непроницающей хирургии, что подтверждает общебиологические закономерности, лежащие в основе возникновения этого состояния.

Патогенетически обоснованное лечение инкапсуляции ФП направлено на подавление воспалительной реакции, фибробластической активности и гиперваскуляризации в зоне операции, в первую очередь путем удлиненного до 2 и более месяцев использования глюкокортикоидов с еженедельной оценкой морфологии ФП и уровня ВГД. После 4 нед применения дексаметазона пациент переводится на фторметолон (Флоас Моно) с его адекватным решаемым задачам антифлогистическим эффектом и благоприятным профилем безопасности.

При утрате ФП фармакологические и механические (массаж) методы восстановления фильтрации в ходе еженедельных визитов в клинику на протяжении 2–3 мес послеоперационного периода дополнялись субсклеральным нидлингом (не более 3 попытки) и возобновлением гипотензивной терапии использовавшимися до СТЭ препаратами.

Если результат ФЭК во многом определяется ее ходом, то применительно к СТЭ грамотное послеоперационное ведение пациента на протяжении, минимум, 4–6 нед, оказывает на исходы операции не меньшее, чем мастерство хирурга, влияние. В этом отношении СТЭ кардинально отличается от ФЭК. И если неосложненное удаление возрастной катаракты опытным хирургом позволяет вообще обойтись без визитов как в клинику, так и в поликлинику, то к оперированным по поводу глаукомы пациентам подобная тактика абсолютно неприменима из-за принципиальных отличий этих операций, лежащих в основе принципиальных отличий алгоритмов ведения пациентов после упомянутых вмешательств (табл. 2).

На рисунке 3 изображен предлагаемый нами алгоритм ведения пациентов после неосложненной трабекулэктомии, весьма близкий к используемым нашими зарубежными коллегами как в рамках организации клинических исследований [13], так и для повседневной клинической практики [24, 35].

Алгоритм ведения пациентов после осложненной синдромом «мелкой передней камеры» или ранней утратой фильтрации СТЭ представлен на рисунке 4.

Достижение целевого ВГД в 95 % случаев отражает правильность сформулированных нами показаний к применению того или иного гипотензивного вмешательства, а также эффективность используемого нами алгоритма периоперационного ведения пациентов, способного своевременно выявить и эффективно устранить осложнения хирургической нормализации офтальмотонуса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В отличие от неосложненной ФЭК сенильной катаракты, где достаточность однократного визита в поликлинику по месту жительства не вызывает сомнений, успех конъюнктивальной хирургии глаукомы невозможен без пристального двухмесячного наблюдения хирурга-глаукоматолога, предполагающего от 5 до 7 контрольных осмотров, частота которых в первые 2 нед после СТЭ определяется глубиной ПК, а с 3–4-й недели — морфологией ФП и уровнем ВГД. Обширная разлитая подушка позволяет осуществлять осмотры с частотой 1 раз в 2 нед. Признаки инкапсуляции или утраты фильтрации предполагают еженедельные визиты на протяжении второго, а при необходимости, и третьего месяца послеоперационного периода.

При неосложненном течении раннего послеоперационного периода первое посещение может быть отложено до 21–25-го дня, а особое внимание пациенту должно быть уделено на 4–8-й неделе после СТЭ. При избыточной фильтрации или, напротив, ее отсутствии основные лечебные мероприятия осуществляются в первые 2 нед после операции.

Литература/References

1. Cairns JE. Trabeculectomy. Preliminary report of a new method. *Am J Ophthalmol*. 1968 Oct; 66 (4): 673–9. [https://doi.org/10.1016/0002-9394\(68\)91288-9](https://doi.org/10.1016/0002-9394(68)91288-9)
2. Петров С.Ю., Волжанин А.В. Синустрабекулэктомия: история, терминология, техника. *Национальный журнал Глаукома*. 2017; 16 (2): 82–91. [Petrov S.Yu., Volzhanin A.V. Trabeculectomy: history, terminology, technique. *National journal Glaucoma*. 2017; 16 (2): 82–91 (In Russ.)].
3. Bettin P, Khaw PT, eds. Glaucoma Surgery. 2nd, revised and extended edition. *Dev Ophthalmol. Basel, Karger*. 2017; 59: 36–42. doi: 10.1159/000458484
4. Петров С.Ю. Классификация фильтрационных подушек. *Национальный журнал Глаукома*. 2014; 2: 85–98. [Petrov S.Yu. Classification of filtering blebs. *National journal Glaucoma*. 2014; 2: 85–98 (In Russ.)].
5. Spaeth GL, Aruajo S, Azuara A. Comparison of the configuration of the human anterior chamber angle, as determined by the Spaeth gonioscopic grading system and ultrasound biomicroscopy. *Trans Am Acad Ophthalmol Soc*. 1995; 93: 337–47. PMID: 8719685.
6. Picht G, Grehn F. Classification of filtering blebs in trabeculectomy: biomicroscopy and functionality. *Curr Opin Ophthalmol*. 1998 Apr; 9 (2): 2–8. doi: 10.1097/00055735-199804000-00002
7. Cantor LB, Mantravadi A, WuDunn D, et al. Morphologic classification of filtering blebs after glaucoma filtration surgery: the Indiana Bleb Appearance Grading Scale. *J Glaucoma*. 2003 Jun; 12 (3): 266–71. doi: 10.1097/00061198-200306000-00015
8. Ciancaglini M, Carpineto P, Agnifili L, et al. An in vivo confocal microscopy and impression cytology analysis of preserved and unpreserved levobunolol-induced conjunctival changes. *Eur J Ophthalmol*. 2008 May–Jun; 18 (3): 400–7. doi: 10.1177/112067210801800314
9. Vesti E. Filtering blebs: follow up of trabeculectomy. *Ophthalmic Surg*. 1993 Apr; 24 (4): 249–55. PMID: 8321506.
10. Еричев В.П., Петров С.Ю., Антонов А.А., Волжанин А.В. Международные стандарты проведения клинических исследований по хирургии глаукомы. *Национальный журнал Глаукома*. 2016; 15 (2): 102–12. [Erichov V.P., Petrov S.Yu., Antonov A.A., Volzhanin A.V. International standards of clinical trials in glaucoma surgery. *National journal Glaucoma*. 2016; 15 (2): 102–12 (In Russ.)].
11. Петров С.Ю., Антонов А.А., Макарова А.С., Вострухин С.В. Офтальмотонус в оценке медикаментозного и хирургического лечения глаукомы. *РМЖ. Клиническая офтальмология*. 2015; 16 (2): 69–72. [Petrov S.Yu., Antonov A.A., Makarova A.S., Vostukhin S.V. Intraocular pressure in the assessment of medical and surgical treatment of glaucoma. *RMJ. Clinical ophthalmology*. 2015; 16 (2): 69–72 (In Russ.)].
12. Five-year follow-up of the fluorouracil filtering surgery study. The fluorouracil filtering surgery study group. *Am J Ophthalmol*. 1996 Apr; 121 (4): 349–66. doi: 10.1016/s0002-9394(14)70431-3
13. Shaarawy T, Grehn F, Sherwood M. Guidelines on design and reporting of glaucoma surgical trials. World Glaucoma Association. The Hague: Kugler Publications, 2009.
14. Traverso CE, Greenidge KC, Spaeth GL, Wilson RP. Focal pressure: a new method to encourage filtration after trabeculectomy. *Ophthalmic Surg*. 1984 Jan; 15 (1): 62–5. PMID: 6700947.

15. Savage JA, Condon GP, Lytle RA, Simmons RJ. Laser suture lysis after trabeculectomy. *Ophthalmology*. 1988 Dec; 95 (12): 1631–8. doi: 10.1016/s0161-6420(88)32964-7
16. Melamed S, Ashkenazi I, Glovinski J, Blumenthal M. Tight scleral flap trabeculectomy with postoperative laser suture lysis. *Am J Ophthalmol*. 1990 Mar 15; 109 (3): 303–9. doi: 10.1016/s0002-9394(14)74555-6
17. Lieberman MF. Tight scleral flap trabeculectomy with postoperative laser suture lysis. *Am J Ophthalmol*. 1990 Jul 15; 110 (1): 98–9. doi: 10.1016/s0002-9394(14)76957-0
18. Grover DS, Kornmann HL, Fellman RL. Historical considerations and innovations in the perioperative use of mitomycin C for glaucoma filtration surgery and bleb revisions. *J Glaucoma*. 2020 Mar; 29 (3): 226–35. doi: 10.1097/IJG.0000000000001438
19. Jünemann AG, Rejdak R, Hohberger B. Revision nach filtrationschirurgie [Revision after filtration surgery]. *Ophthalmologie*. 2016 Nov; 113 (11): 897–905 (In German). doi: 10.1007/s00347-016-0372-z
20. Николаенко В.П., Белов Д.Ф. Первый опыт применения фиксированной комбинации левофлоксацина и кеторолака в хирургии катаракты. *Российский офтальмологический журнал*. 2025; 18 (1): 48–54. [Nikolaenko V.P., Belov D.F. First experience with a fixed combination of levofloxacin and ketorolac in cataract surgery. *Russian ophthalmological journal*. 2025; 18 (1): 48–54 (In Russ.)]. doi: 10.21516/2072-0076-2025-18-1-48-54
21. Bandello F, Coassin M, Zazzo A, et al. One week of levofloxacin plus dexamethasone eye drops for cataract surgery: an innovative and rational therapeutic strategy. *Eye (Lond)*. 2020 Nov; 34(11): 2112–22. doi: 10.1038/s41433-020-0869-1
22. Николаенко В.П., Белов Д.Ф., Антонова А.В. Хирургия катаракты: рациональный алгоритм послеоперационных осмотров пациентов. *Офтальмологические ведомости*. 2024; 17 (4): 125–32. [Nikolaenko V.P., Belov D.F., Antonova A.V. Cataract surgery: rational algorithm of postoperative examination of patients. *Ophthalmology reports*. 2024; 17 (4): 125–32 (In Russ.)]. doi: 10.17816/OV635529
23. Chen HJ, Lin C, Lee CH, Chen YH. Efficacy and safety of bevacizumab combined with mitomycin C or 5-fluorouracil in primary trabeculectomy: A meta-analysis of randomized clinical trials. *Ophthalmic Res*. 2018; 59 (3): 155–63. doi: 10.1159/000486576
24. Khaw PT, Chiang M, Shah P, et al. Enhanced trabeculectomy: the Moorfields safer surgery system. *Dev Ophthalmol*. 2017; 59: 15–35. doi: 10.1159/000458483
25. Leung DY, Tham CC. Management of bleb complications after trabeculectomy. *Semin Ophthalmol*. 2013 May; 28 (3): 144–56. doi: 10.3109/08820538.2013.771199
26. Edmunds B, Thompson JR, Salmon JF, Wormald RP. The National survey of trabeculectomy. III. Early and late complications. *Eye (Lond)*. 2002 May; 16 (3): 297–303. doi: 10.1038/sj.eye.6700148
27. Nie S. Analysis on reasons and treatment approaches for shallow anterior chamber after glaucoma surgery. *Eye Sci*. 2011 Jun; 26 (2): 99–101. doi: 10.3969/j.issn.1000-4432.2011.02.020
28. Aptel F, Colin C, Kaderli S et al. Management of postoperative inflammation after cataract and complex ocular surgeries: a systematic review and Delphi survey. *Br. J. Ophthalmol*. 2017; 101 (11): 1–10. doi: 10.1136/bjophthalmol-2017-310324
29. Masoumpour MB, Nowroozadeh MH, Razeghinejad MR. Current and future techniques in wound healing modulation after glaucoma filtering surgeries. *Open Ophthalmol J*. 2016 Feb 29; 10: 68–85. doi: 10.2174/1874364101610010068
30. Schlunck G, Meyer-ter-Vehn T, Klink T, Grehn F. Conjunctival fibrosis following filtering glaucoma surgery. *Exp Eye Res*. 2016; 142: 76–82. doi: 10.1016/j.exer.2015.03.021
31. Radius RL, Herschler J, Claflin A, Fiorentino G. Aqueous humor changes after experimental filtering surgery. *Am J Ophthalmol*. 1980; 89 (2): 250–4. doi: 10.1016/0002-9394(80)90119-1
32. Khaw PT, Bouremel Y, Brocchini S, et al. The control of conjunctival fibrosis as a paradigm for the prevention of ocular fibrosis-related blindness. “Fibrosis has many friends”. *Eye (Lond)*. 2020; 34 (12): 2163–74. doi: 10.1038/s41433-020-1031-9
33. Николаенко В.П., Антонова А.В., Бржеский В.В. Пути повышения эффективности фильтрующей хирургии глаукомы. *Российский офтальмологический журнал*. 2024; 17 (2): 99–107. [Nikolaenko V.P., Antonova A.V., Brzhesky V.V. Ways to improve the effectiveness of glaucoma filtering surgery. *Russian ophthalmological journal*. 2024; 17 (2): 99–107 (In Russ.)]. doi: 10.21516/2072-0076-2024-17-2-99-107
34. Shingleton BJ, Richter CU, Bellows AR, Hutchinson BT. Management of encapsulated filtration blebs. *Ophthalmology*. 1990 Jan; 97 (1): 63–8. doi: 10.1016/s0161-6420(90)32625-8
35. Kirwan JF, Lockwood AJ, Shah P, et al. Trabeculectomy Outcomes Group Audit Study Group. Trabeculectomy in the 21st century: a multicenter analysis. *Ophthalmology*. 2013 Dec; 120 (12): 2532–9. doi: 10.1016/j.ophttha.2013.07.049

Вклад авторов в работу: В.П. Николаенко — идея и концепция публикации, сбор данных, написание и научное редактирование статьи; А.В. Антонова, Д.Ф. Белов — сбор данных, написание и техническое редактирование статьи, оформление библиографии.

Authors' contributions: V.P. Nikolaenko — idea and concept of publication, data collection, writing and scientific editing of the article, final approval of the article for publication; A.V. Antonova, D.F. Belov — data collection of material, writing and technical editing of the article, bibliography preparation.

Поступила: 25.03.2026. Переработана: 25.04.2026. Принята к печати: 26.04.2026

Originally received: 25.03.2026. Final revision: 25.04.2026. Accepted: 26.04.2026

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ/INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

¹ ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский государственный университет, Университетская наб., д. 7/9, Санкт-Петербург, 199034, Россия

² СПб ГБУЗ «Городская многопрофильная больница № 2», пер. Учебный, д. 5, Санкт-Петербург, 194354, Россия

Вадим Петрович Николаенко — д-р мед. наук, профессор кафедры оториноларингологии и офтальмологии¹, заместитель главного врача по офтальмологии², ORCID 0000-0002-6393-1289

Анастасия Валерьевна Антонова — канд. мед. наук, ассистент кафедры оториноларингологии и офтальмологии¹, заведующая отделением микрохирургическим (глаза) № 4², ORCID 0000-0002-2639-2765

Дмитрий Федорович Белов — канд. мед. наук, ассистент кафедры оториноларингологии и офтальмологии¹, заведующий отделением микрохирургическим (глаза) № 1², ORCID 0000-0003-0776-4065

Для контактов: Анастасия Валерьевна Антонова,
dr.antonova.av@gmail.com

¹ St. Petersburg State University, 7/9, Universitetskaya emb., St. Petersburg, 199034, Russia

² City Multidisciplinary Hospital No. 2, 5, Uchebnyy lane, St. Petersburg, 194354, Russia

Vadim P. Nikolaenko — Dr. of Med. Sci., professor of chair of otorhinolaryngology and ophthalmology¹, head of the department of ophthalmology², ORCID 0000-0002-6393-1289

Anastasiya V. Antonova — Cand. of Med. Sci., assistant of chair of otorhinolaryngology and ophthalmology¹, head of microsurgery ophthalmological department No. 4², ORCID 0000-0002-2639-2765

Dmitri F. Belov — Cand. of Med. Sci., assistant of chair of otorhinolaryngology and ophthalmology¹, head of microsurgery ophthalmological department No. 1², ORCID 0000-0003-0776-4065

For contacts: Anastasiya V. Antonova,
dr.antonova.av@gmail.com

Клинический анализ параметров васкуляризации фильтрационных подушек после синустрабекулэктомии по томографическим изображениям с использованием методов машинного зрения

С.Ю. Петров¹✉, В.И. Солодовников², С.В. Милаш¹, О.И. Маркелова¹, А.Д. Епхиева¹, К.В. Павлов¹, Н.В. Каракотова³

¹ ФГБУ «НМИЦ глазных болезней им. Гельмгольца» Минздрава России, ул. Садовая-Черногрозская, д. 14/19, Москва, 105062, Россия

² ФГБУ науки «Центр информационных технологий в проектировании» Российской академии наук, ул. Маршала Бирюзова, д. 7а, Одинцово, Московская область, 143000, Россия

³ ФГАОУ ВО «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана», 2-я Бауманская улица, д. 5, стр. 4, Москва, 105005, Россия

Состояние фильтрационной подушки (ФП) во многом определяет гипотензивный эффект фистулизирующего антиглаукомного вмешательства. Цель работы — проведение клинического анализа параметров васкуляризации ФП после синустрабекулэктомии (СТЭ) по томографическим изображениям с использованием методов машинного зрения. Материал и методы. В исследование включено 83 пациента (100 глаз) в возрасте от 57 до 81 года с первичной открытоугольной глаукомой развитой и далеко зашедшей стадий с выполненной СТЭ по стандартной методике. Проводили фотографию биомикроскопической картины и оптическую когерентную томографию с ангиографией фильтрационной зоны до операции, спустя 1, 2 и 6 нед после нее. Контроль уровня офтальмотонуса осуществляли в указанные сроки бесконтактным пневмотонометром. По томографическому изображению операционной зоны рассчитывали показатели плотности сосудистой сети, извитости сосудов и степени гиперемии. Результаты. Показатели всех оцениваемых параметров ФП в различной степени увеличиваются к 1-й неделе после операции с тенденцией к нормализации к концу 6-й недели. Наибольшие изменения претерпевают плотность сосудистой сети и степень поверхностной гиперемии. Отмечена корреляция высокой степени между сосудистой плотностью и гиперемией во все сроки наблюдения, а также значимая корреляционная взаимосвязь между уровнем послеоперационного внутриглазного давления и плотностью сосудистой сети со 2-й недели наблюдения с тенденцией к увеличению силы связи к 6-й неделе. Заключение. Разработка комбинированного программного метода определения степени васкуляризации и извитости сосудистой сети ФП, а также гиперемии по томографическим изображениям с использованием методов машинного зрения может послужить основой для оценки эффективности хирургического лечения глаукомы.

Ключевые слова: первичная открытоугольная глаукома; синустрабекулэктомия; фильтрационная подушка; томографические изображения; методы машинного зрения; плотность сосудистой сети; конъюнктивальная гиперемия

Конфликт интересов: отсутствует.

Прозрачность финансовой деятельности: никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

Для цитирования: Петров С.Ю., Солодовников В.И., Милаш С.В., Маркелова О.И., Епхиева А.Д., Павлов К.В., Каракотова Н.В. Клинический анализ параметров васкуляризации фильтрационных подушек после синустрабекулэктомии по томографическим изображениям с использованием методов машинного зрения. Российский офтальмологический журнал. 2026; 19 (2): 118-25. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2026-19-2-118-125>

Clinical analysis of trabeculectomy filtering bleb vascularization parameters based on tomographic images using machine vision methods

Sergey Yu. Petrov¹✉, Vladimir I. Solodovnikov², Sergey V. Milash¹, Oksana I. Markelova¹, Anzhela D. Epkhieva¹, Kirill V. Pavlov¹, Natalya V. Karakotova³

¹ Helmholtz National Medical Research Center of Eye Diseases, 14/19, Sadovaya- Chernogryazskaya St., Moscow, 105062, Russia

² Design Information Technologies Center of Russian Academy of Sciences, 7A, Marshal Biryuzov St., Odintsovo, Moscow Region, 143000, Russia

³ Bauman Moscow State Technical University, 5, bild. 4, 2nd Baumanskaya St., Moscow, 105005, Russia
glaucomatosis@gmail.com

*The shape of the filtration bleb (FB) largely determines the hypotensive effect of glaucoma surgery. **Purpose:** to conduct a clinical analysis of the vascularization parameters of FB after trabeculectomy based on tomographic images using machine vision techniques. **Material and methods.** 83 patients (100 eyes) aged 57 to 81 years with moderate and advanced primary open-angle glaucoma underwent trabeculectomy using the standard technique. Biomicroscopic photography and optical coherence tomography with angiography of the filtration zone were performed preoperatively and at 1, 2, and 6 weeks postoperatively. IOP levels were monitored using a contactless pneumotonometer. Vascular network density, vascular tortuosity, and the degree of hyperemia were assessed using the tomographic image of the surgical area. **Results.** All assessed FB parameters increased to varying degrees by 1 week postoperatively, with a tendency to normalize by 6 weeks. Vascular density and the degree of superficial hyperemia experienced the greatest changes. A high correlation was observed between vascular density and hyperemia at all follow-up periods, as well as a significant correlation between postoperative IOP and vascular density beginning in the 2nd week of follow-up, with a tendency toward increased strength by 6 weeks. **Conclusion.** The development of a combined software method for determining the degree of vascularization and tortuosity of the FB vascular network, as well as hyperemia, using tomographic images and machine vision techniques can serve as a basis for assessing the effectiveness of glaucoma surgical treatment.*

Keywords: primary open-angle glaucoma; trabeculectomy; filtration bleb; tomographic images; machine vision techniques; vascular density; conjunctival hyperemia

Conflict of interests: there is no conflict of interests.

Financial disclosure: no author has a financial or property interest in any material or method mentioned.

For citation: Petrov S.Yu., Solodovnikov V.I., Milash S.V., Markelova O.I., Epkhieva A.D., Pavlov K.V., Karakotova N.V. Clinical analysis of trabeculectomy filtering bleb vascularization parameters based on tomographic images using machine vision methods. Russian ophthalmological journal. 2026; 19 (2): 118-25 (In Russ.). <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2026-19-2-118-125>

Состояние фильтрационной подушки (ФП) во многом определяет гипотензивный эффект фистулизирующего антиглаукомного вмешательства [1]. Характерные изменения в биомикроскопической картине ФП зачастую влияют на тактику дальнейшего ведения пациента: усиление местной противовоспалительной терапии, проведение нидлинга с цитостатическими препаратами, хирургическая ревизия зоны оттока внутриглазной жидкости (ВГЖ) [2, 3]. Определение различных групп признаков со временем привело к формированию специализированных классификационных систем ФП, градация по которым коррелирует с прогнозом успешности операций [4–8]. Для оценки биомикроскопических признаков чаще всего применяют Вюрцбургскую классификацию (WBCS, Würzburg Bleb Classification Score), оценочную шкалу Института Индианы (IBAGS, Indiana Bleb Appearance Grading Scale), а также Мурфилдскую шкалу (MBGS, Moorfield Bleb Grading System). Данные классификации включают оценку площади, высоты, степени васкуляризации ФП, а также более детальные характеристики конъюнктивальных сосудов (штопорообразная извитость, расширение, наличие микрокист и кровоизлияний) [1, 4, 7–9]. Однако использование только субъективных параметров ограничивает их практическое применение [10].

В последние 20 лет с развитием новых методов визуализации структурную оценку ФП стали проводить с помощью ультразвуковой биомикроскопии и оптической когерентной томографии (ОКТ) переднего отрезка глаза [11–24]. Новые методы позволяют оценить такие морфологические параметры, как толщина стенки, размеры внутренней полости, пространства под склеральным лоскутом и внутреннего соустья. Впрочем, несмотря на определение значений указанных параметров в случаях успешно функционирующих ФП, очевидно, что корреляция между ними и достижением целевого внутриглазного давления (ВГД) далеко не очевидна. Так, значительные размеры ФП могут наблюдаться как при нормальных, так и существенно повышенных значениях ВГД.

Так или иначе, ключевым фактором, влияющим на эволюцию ФП, является состояние сосудистой сети зоны операции, поскольку именно выраженность сосудистого фактора напрямую влияет на аутоиммунный воспалительный процесс и избыточное фиброзирование путей оттока [1, 4, 8, 25]. Большинство классификаций ФП, включая IBAGS и MBGS, представляют системы градации конъюнктивальных сосудов, основанные на весьма субъективном сравнении стандартных фотографий.

Наш коллектив ведет научно-исследовательскую работу по оценке параметров ФП с 2008 г. Совместно с сотрудниками Центра естественно-научных исследований Института общей физики им. А.М. Прохорова РАН был предложен способ определения локального тканевого насыщения гемоглобина кислородом бульбарной конъюнктивы, основанный на спектроскопии обратного диффузного отражения света от конъюнктивальных сосудов [26, 27]. В 2010 г. разработана программа для ЭВМ «Гиперемия-3» (свидетельство о гос. регистрации № 010610642 от 18.01.2010), которая после загрузки цифровой фотографии ФП определяет среднюю степень гиперемии, вычисляя ее по проценту яркости красного канала трехканального цифрового изображения относительно суммарной яркости каналов.

В настоящее время произошел значительный прорыв в развитии ОКТ, благодаря внедрению в практику ОКТ с функцией ангиографии (ОКТА) с возможностью визуализации кровотока в микрососудах. Это связано с развитием новых технологий: высокоскоростных ОКТ-томографов, фотоприемников и лазерных источников, которые с большой скоростью перестраиваются в пределах определенной спектральной полосы [28]. ОКТА представляет собой бесконтактный метод, который обладает высоким разрешением и позволяет визуализировать сосудистую сеть без использования контрастных веществ не только в поверхностных тканях, но и в более глубоких слоях. С помощью этого метода можно получить изображения не только крупных сосудов, но и микрососудистого русла, вплоть до капилляров, а также оценить плотность распределения микрососудов. ОКТА заняла ведущее место в исследовании сосудов заднего отрезка глаза, в то же время и сосудистая сеть фильтрационной зоны стала отдельным предметом интереса исследователей, послужив основой для оценки состояния подушки для оценки эффективности хирургического лечения глаукомы [17, 29–35].

В 2025 г. нами был предложен комбинированный программный метод анализа васкуляризации ФП по томографическим изображениям с использованием методов машинного зрения, позволяющий оценить степень васкуляризации, извитости и гиперемии сосудистой сети [36].

ЦЕЛЬ работы — проведение клинического анализа параметров васкуляризации ФП после синустрабекулэктомии (СТЭ) по томографическим изображениям с использованием методов машинного зрения.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Клиническое наблюдательное исследование проведено в 2024–2025 гг. на базе отделов глаукомы и патологии рефракции, бинокулярного зрения и офтальмоэргномики ФГБУ «НМИЦ глазных болезней им. Гельмгольца» Минздрава России.

В исследование включены 83 пациента старше 18 лет (100 глаз) с выполненной СТЭ по стандартной методике с отсепаровкой конъюнктивального лоскута в верхнем квадранте глазного яблока основанием к конъюнктивальному своду, формированием поверхностного склерального лоскута размером 4 × 4 мм основанием к лимбу и репозицией конъюнктивального лоскута с наложением на него 2 узловых швов (викрил 8/0).

Делали фотографию биомикроскопической картины и ОКТА фильтрационной зоны до операции, спустя 1, 2 и 6 нед после нее. Цветные изображения получены при помощи интегрированного в шелевую лампу SL-980 (Италия) цифрового фотоаппарата. Томографические изображения получены на сканирующем лазерном офтальмоскопе Mirante (Япония).

Контроль уровня офтальмотонуса осуществляли в указанные сроки бесконтактным пневмотонометром Canon Full Auto Tonometer TX-F (Япония), используя показатели истинного ВГД Ро.

Для оценки параметров васкуляризации ФП нами был разработан комбинированный программный метод анализа по томографическим изображениям с использованием машинного зрения [36].

Программный модуль производит расчет следующих показателей.

1. Определение плотности сосудов, т. е. относительной площади сосудов на томографическом изображении. Для этого предварительно необходимо программно выделить саму сосудистую сеть на томографическом изображении, для чего применяется метод сегментации графического изображения — процесс разделения изображения на отдельные области, соответствующие различным объектам или структурам [37]. В рамках данной работы применяли бинарную сегментацию, при которой все пиксели изображения относятся либо к классу «сосудистая сеть», либо к классу «фон». Сосудистую плотность можно определить, посмотрев, какую долю сегментированного изображения занимают белые пиксели. Так как результат сегментации представляет собой бинарную маску, где сосуды обозначаются белыми пикселями (значение 1), а фон — черными (значение 0), вычисление плотности сводится к подсчету доли белых пикселей от общего числа пикселей изображения по формуле:

$$density = \frac{N_{white} \cdot 100\%}{N_{all}},$$

где N_{white} — количество белых пикселей, а N_{all} — количество всех пикселей.

2. Определение извитости сосудов проводили в несколько этапов: скелетизация (определение множества точек, равноудаленных от границ объекта), поиск точек ветвлений и концов, анализ извитости ветвей и ее финальное усреднение. Каждый этап описывается соответствующими формулами, которые в рамках ограниченного объема данной публикации не приводятся.

3. Расчет гиперемии фильтрационной зоны. Поскольку гиперемия — это видимое покраснение участка конъюнктивы, то ее степень вычисляли по формуле:

$$h = 100\% \cdot \frac{3}{2} \cdot \left[\frac{R}{R + G + B} - \frac{1}{3} \right],$$

где R , G и B — цифровые значения цвета, лежащие в диапазоне от 0 до 225.

Таким образом, степень гиперемии вычисляется как процентное значение цветовой характеристики в диапазоне от 0 % (нейтрально-белый и серый цвет) до 100 % (красный цвет цифрового изображения без присутствия синего и зеленого).

Очевидно, что для данной методики расчета гиперемии требуется цветное фотографическое изображение, получение которого в условиях реальной практики затруднительно вследствие отсутствия интегрированного фотоаппарата в базовой комплектации шелевых ламп.

Нашей задачей стало программное обучение искусственного интеллекта (ИИ) определению гиперемии именно по томографическим изображениям на базе пары «снимок ОКТА — фото ФП».

В качестве алгоритма глубокого обучения применяли сверточную нейронную сеть Convolutional Neural Networks (CNN) — класс нейронных сетей, используемый для работы с данными, имеющими пространственную структуру, например изображениями, аудио или видеозаписями [38].

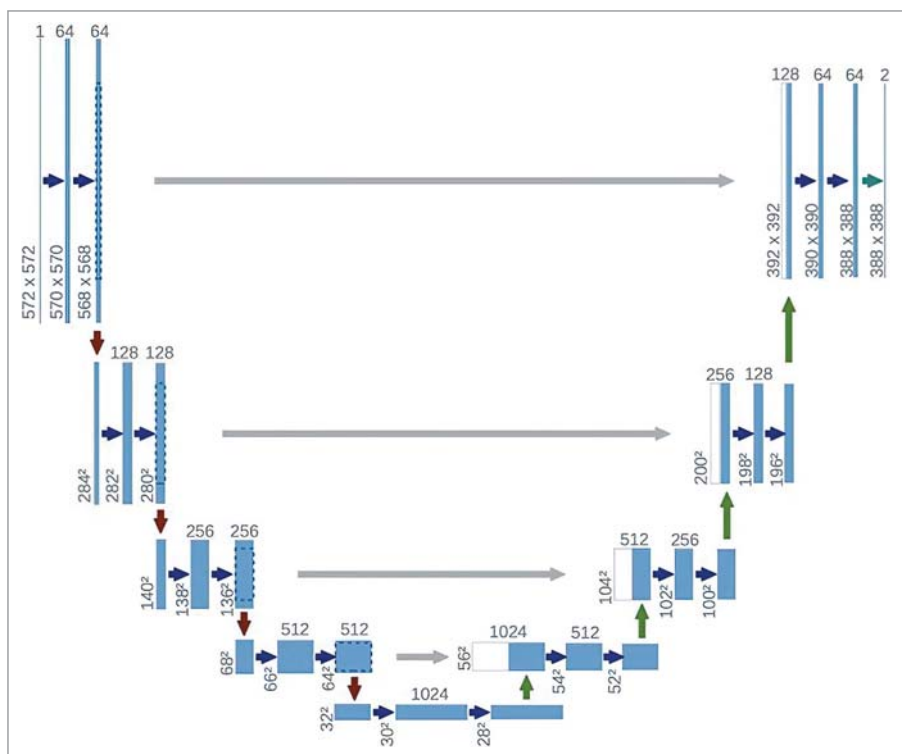


Рис. 1. Архитектура сверточной нейронной сети U-Net
Fig. 1. Architecture of the U-Net convolutional neural network

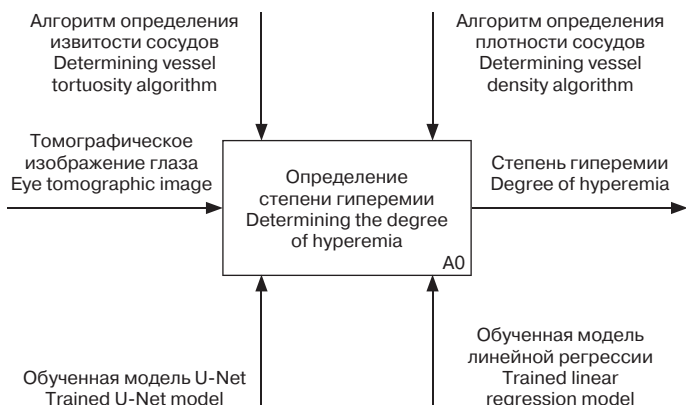


Рис. 2. Схема формализации постановки задачи
Fig. 2. Formalization scheme for the problem statement

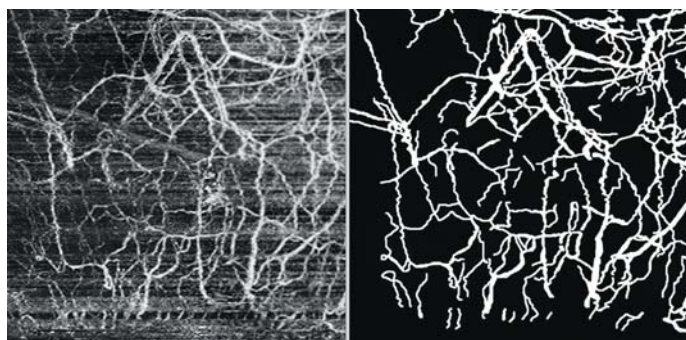


Рис. 3. Пример томографического изображения и соответствующей маски
Fig. 3. An example of a tomographic image and the corresponding mask

включающую три основных компонента: нисходящий (сжимающий) путь, «бутылочное горлышко» и восходящий (восстанавливающий) путь (рис. 1).

Формализация постановки задачи определения степени гиперемии по томографическим изображениям глаза с учетом выбранных моделей сегментации и регрессии представлена на рисунке 2.

Обучение модели U-Net проводили на сформированном датасете клинических изображений и соответствующих им масок, размеченных вручную (рис. 3).

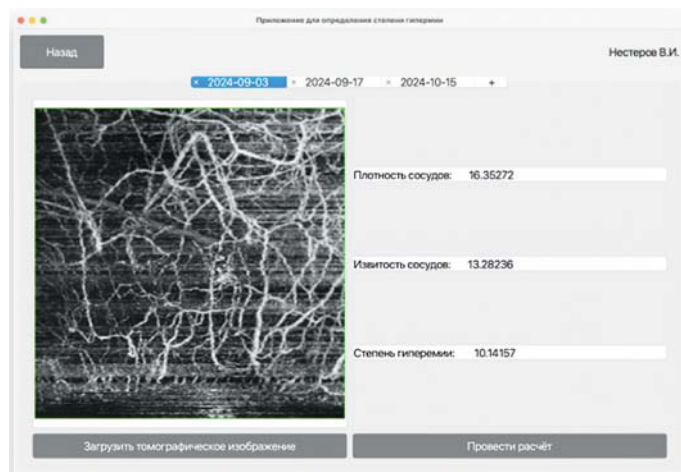


Рис. 4. Экран работы с наблюдениями. После загрузки томографического изображения операционной зоны производится расчет плотности сосудистой сети, извитости и степени гиперемии сосудов
Fig. 4. Observation work screen. After loading the tomographic image of the surgery area, the density, tortuosity and degree of hyperemia of the vessels are calculated

Входные и выходные данные удовлетворяли следующим требованиям:

– изображения, загружаемые в программное обеспечение, должны быть представлены в одном из следующих форматов: PNG, BMP, JPEG или JPG;

– даты наблюдений должны иметь формат YYYY-MM-DD;

– статистические отчеты, формируемые по одному пациенту и по всем пациентам, должны сохраняться в формате Microsoft Excel.

Интерфейс финальной программы для работы с наблюдениями представлен на рисунке 4. На данном экране можно переключаться между наблюдениями, добавлять наблюдения при нажатии на «+» и удалять наблюдения, нажимая на крестик. Кроме того, можно загружать томографические изображения и проводить расчет для выбранного наблюдения.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Всего в исследование было включено 83 пациента (100 глаз) обоих полов в возрасте от 57 до 81 года (в среднем $73,3 \pm 8,1$ года) с первичной открытоугольной глаукомой (ПОУГ) развитой и далеко зашедшей стадий с декомпенсированным офтальмотонусом. По томографическому

изображению операционной зоны рассчитывали показатели плотности сосудистой сети, извитости сосудов и степени гиперемии. Пример расчета данных показателей у пациента К. 72 лет представлен в таблице 1.

Уровень ВГД (Р_о) до операции составил $27,4 \pm 2,1$ мм рт. ст., спустя 1 нед после операции — $11,3 \pm 0,7$ мм рт. ст., через 2 нед — $11,7 \pm 0,9$ мм рт. ст., через 6 нед — $13,3 \pm 1,1$ мм рт. ст.

Динамика сосудистой плотности. Данный показатель в предоперационном периоде продемонстрировал максимальную вариабельность: от 2,35 до 20,65 %, сохранив широкий разброс во все сроки наблюдения (табл. 2, рис. 5). Максимальное увеличение плотности сосудов — на 44,4 % — выявлено спустя 1 нед после операции с плавной нормализацией к 6-й неделе.

Динамика извитости сосудов. Показатель извитости сосудистого русла (штопорообразные сосуды) показал незначительную вариабельность как в предоперационном периоде, так и в последующие сроки (табл. 2, рис. 6). Следует отметить, что, несмотря на субъективное значимое увеличение извитости в ранние сроки, расчетная величина увеличения составила в среднем всего 7,5 % спустя 1 нед после операции с плавной нормализацией к 6-й неделе.

Таблица 1. Пример рассчитываемых показателей в исследуемые сроки пациента К.

Table 1. An example of calculated indicators during the studied periods for patient K.

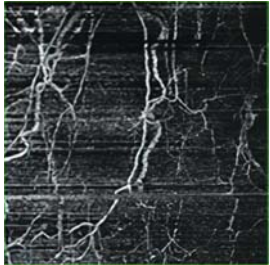
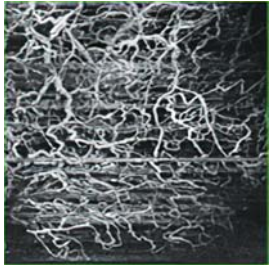
Показатели Parameters	До операции Preoperative	1 нед 1 week	2 нед 2 weeks	6 нед 6 weeks
				
Плотность сосудов, % Vascular density, %	6,85	16,53 (+141,3 %)	12,66 (+84,8 %)	6,99 (+2,0 %)
Извитость сосудов, % Vascular tortuosity, %	12,85	14,96 (+16,4 %)	14,08 (+9,6 %)	13,75 (+7,0 %)
Степень гиперемии, % Degree of hyperemia, %	6,87	11,37 (+65,5 %)	8,81 (+28,2 %)	6,74 (-1,9 %)

Таблица 2. Динамика рассчитываемых показателей в исследуемые сроки

Table 2. Dynamics of the calculated indicators during the studied periods

Показатели Parameters	До операции Preoperative		1 нед 1 week			2 нед 2 weeks			6 нед 6 weeks		
	min-max	M ± δ	min-max	M ± δ	Δ	min-max	M ± δ	Δ	min-max	M ± δ	Δ
Плотность сосудов, % Vascular density, %	2,35–20,65	11,71 ± 4,41	3,04–27,51	16,91 ± 5,54	+44,4 %	6,04–21,21	15,09 ± 4,03	+28,9 %	6,99–18,67	13,00 ± 3,89	+11,00 %
Извитость сосудов, % Vascular tortuosity, %	11,75–13,88	13,08 ± 0,51	13,23–14,69	14,06 ± 0,39	+7,5 %	13,08–14,64	13,75 ± 0,43	+5,1 %	12,75–14,26	13,61 ± 0,53	+4,0 %
Степень гиперемии, % Degree of hyperemia, %	5,83–11,25	8,57 ± 1,48	8,73–14,75	11,64 ± 1,34	+35,8 %	8,81–12,28	10,62 ± 1,01	+23,9 %	6,74–11,35	9,82 ± 1,30	+14,6 %

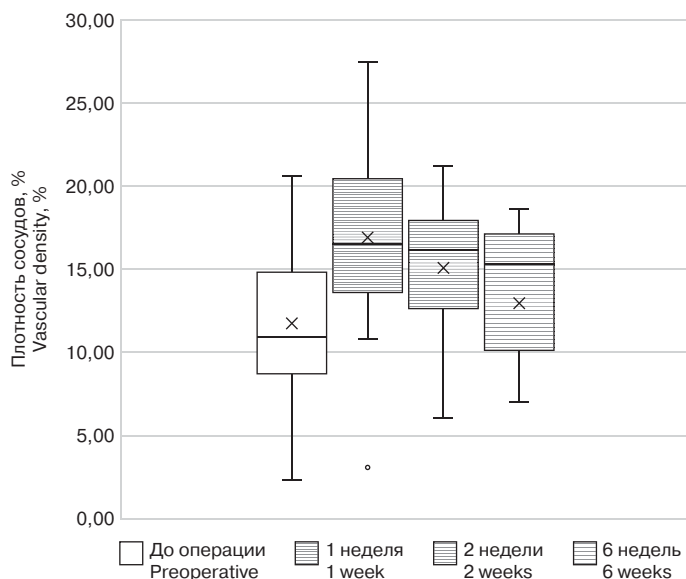


Рис. 5. Динамика плотности сосудов в исследуемые сроки
Fig. 5. Dynamics of vessel density during the studied periods

Динамика показателя гиперемии. Вариабельность степени гиперемии, как и ее динамические изменения в послеоперационном периоде в целом схожи с показателем плотности сосудистой сети, что вполне ожидаемо, поскольку эти параметры взаимосвязаны. Однако, поскольку показатель гиперемии отражает состояние сосудистой сети поверхностных слоев, в то время как плотность сосудов рассчитывается по томографическим изображениям, отображающим все сосуды на глубине до 2 мм, вариабельность гиперемии оказалась менее выраженной, чем плотности (табл. 2, рис. 7). Характерно, что к 6-й неделе полной нормализации гиперемии не отмечено, впрочем, прирост в 14 % в сравнении с предоперационным уровнем вряд ли можно считать значимым.

Взаимосвязь между параметрами. Штопорообразно извитые сосуды — конъюнктивальные сосуды, преимущественно венозные, с характерной извитостью в виде штопора. Образуются вследствие застойных тканевых процессов в послеоперационном периоде, что рассматривается в качестве прогностически неблагоприятного признака. В предоперационном периоде корреляция данного показателя с плотностью сосудистой сети не отмечена, однако спустя 1 и 2 нед фиксировали наличие умеренной связи, которая исчезала к концу периода наблюдения с нормализацией большинства показателей. Какой-либо корреляции между извитостью сосудов и гиперемией не установлено. Не установлено также связи между извитостью и уровнем ВГД до операции, однако в послеоперационном периоде отмечали наличие слабой связи (табл. 3).

Плотность сосудистой сети ожидаемо продемонстрировала высокую корреляционную взаимосвязь с параметром конъюнктивальной гиперемии как до операции, так и во все сроки наблюдения после нее.

Говоря об уровне офтальмотонуса, следует отметить полное отсутствие какой-либо его корреляции со всеми тремя исследуемыми параметрами перед операцией. Наиболее сильная связь уровня ВГД в послеоперационном периоде отмечена с плотностью сосудистой сети и гиперемией со 2-й недели наблюдения. В случае с показателем плотности эта связь усилилась к 6-й неделе, а с гиперемией, наоборот, уменьшилась (табл. 3).

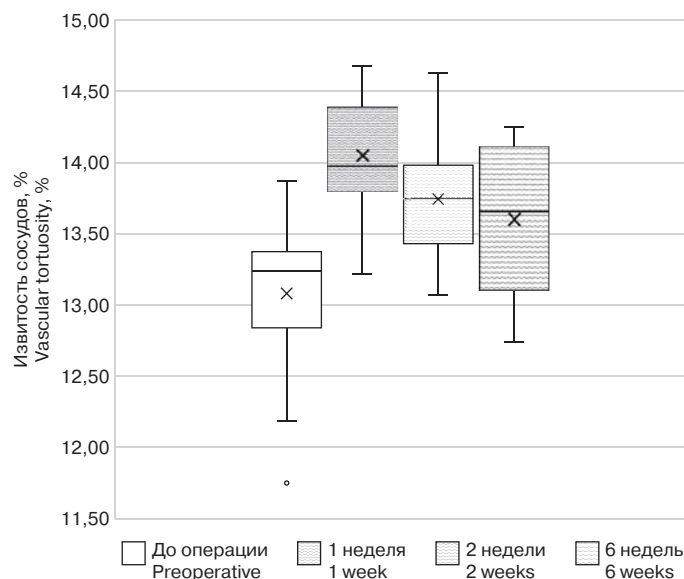


Рис. 6. Динамика извитости сосудов в исследуемые сроки
Fig. 6. Dynamics of vessel tortuosity during the studied periods

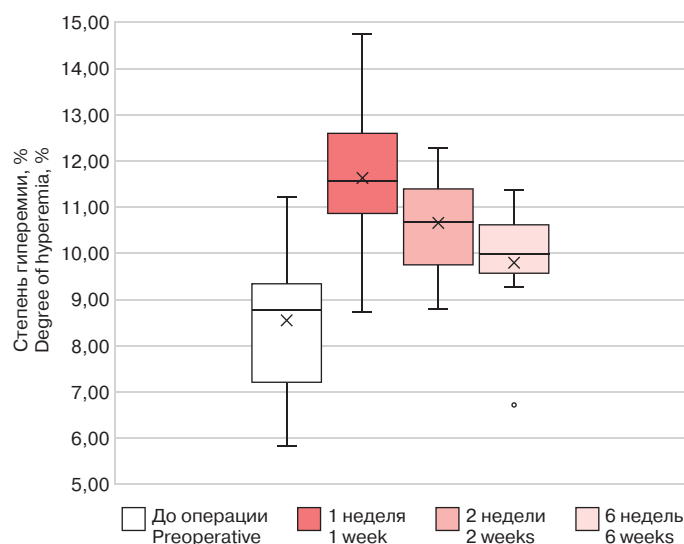


Рис. 7. Динамика показателя гиперемии сосудов в исследуемые сроки
Fig. 7. Dynamics of the vessel's hyperemia index during the studied periods

Таблица 3. Корреляция между исследуемыми параметрами
Table 3. Correlation between the study parameters

Показатели Parameters	До операции Preoperative	1 нед 1 week	2 нед 2 weeks	6 нед 6 weeks
Извитость/плотность Tortuosity/density	0,022	0,408	0,420	0,106
Гиперемия/плотность Hyperemia/density	0,805	0,890	0,750	0,718
Извитость/гиперемия Tortuosity/hyperemia	0,601	0,054	0,286	0,616
ВГД/плотность IOP/density	0,071	0,041	0,850	0,927
ВГД/извитость IOP/tortuosity	0,064	0,237	0,260	0,380
ВГД/гиперемия IOP/hyperemia	0,094	0,164	0,709	0,468

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенного исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. Разработан комбинированный программный метод определения степени васкуляризации и извитости сосудистой сети ФП, а также гиперемии по томографическим изображениям с использованием методов машинного зрения.
2. Показатели всех оцениваемых параметров ФП в различной степени увеличиваются к 1-й неделе после операции с тенденцией к нормализации к концу 6-й недели. Наибольшие изменения претерпевают плотность сосудистой сети и степень поверхностной гиперемии.
3. Отмечена высокая степень корреляции между сосудистой плотностью и гиперемией во все сроки наблюдения.
4. Отмечена высокая корреляционная взаимосвязь между уровнем послеоперационного ВГД и плотностью сосудистой сети со 2-й недели наблюдения с тенденцией к увеличению силы связи к 6-й неделе.

Литература/References

1. Picht G, Grehn F. Classification of filtering blebs in trabeculectomy: biomicroscopy and functionality. *Curr Opin Ophthalmol*. 1998; 9 (2): 2–8. doi: 10.1097/00055735-199804000-00002
2. Broadway DC, Bloom PA, Bunce C, Thiagarajan M, Khaw PT. Needle revision of failing and failed trabeculectomy blebs with adjunctive 5-fluorouracil: survival analysis. *Ophthalmology*. 2004; 111(4): 665–73. doi: 10.1016/j.ophtha.2003.07.009
3. Feyi-Waboso A, Ejere HO. Needling for encapsulated trabeculectomy filtering blebs. *Cochrane Database Syst Rev*. 2012; 2012 (8): CD003658. doi: 10.1002/14651858.CD003658.pub3
4. Cantor LB, Mantravadi A, WuDunn D, Swamynathan K, Cortes A. Morphologic classification of filtering blebs after glaucoma filtration surgery: the Indiana Bleb Appearance Grading Scale. *J Glaucoma*. 2003 Jun; 12 (3): 266–71. doi: 10.1097/00061198-200306000-00015
5. Klink T, Kann G, Ellinger P, et al. The prognostic value of the wuerzburg bleb classification score for the outcome of trabeculectomy. *Ophthalmologica*. 2011; 225 (1): 55–60. doi: 10.1159/000314717
6. Smith M, Chipman ML, Trope GE, Buys YM. Correlation between the indian bleb appearance grading scale and intraocular pressure after phacotrabeculectomy. *J Glaucoma*. 2009; 18 (3): 217–9. doi: 10.1097/IJG.0b013e31817d23e0
7. Wells AP, Ashraff NN, Hall RC, Purdie G. Comparison of two clinical bleb grading systems. *Ophthalmology*. 2006; 113 (1): 77–83. doi: 10.1016/j.ophtha.2005.06.037
8. Wells AP, Crowston JG, Marks J, et al. A pilot study of a system for grading of drainage blebs after glaucoma surgery. *J Glaucoma*. 2004; 13 (6): 454–60. doi: 10.1097/00061198-200412000-00005
9. Crowston JG, Kirwan JF, Wells A, Kennedy C, Murdoch I.E. Evaluating clinical signs in trabeculectomized eyes. *Eye (Lond)*. 2004; 18 (3): 299–303. doi: 10.1038/sj.eye.6700638
10. Еричев В.П., Новиков И.А., Хачатрян Г.К. и др. Объем фильтрационной подушки в прогнозировании эффективности антиглаукомной операции: предварительные результаты. *Национальный журнал Глаукома*. 2024; 23 (4): 3–10. [Erichov V.P., Novikov I.A., Khachatryan G.K., et al. Volume of the filtering bleb in prediction of the effectiveness of glaucoma surgery: preliminary results. *Natsional'nyi zhurnal Glaukoma*. 2024; 23 (4): 3–10 (In Russ.)]. doi: 10.53432/2078-4104-2024-23-4-3-10
11. Golez E, 3rd, Latina M. The use of anterior segment imaging after trabeculectomy. *Semin Ophthalmol*. 2012; 27 (5–6): 155–9. doi: 10.3109/08820538.2012.707275
12. Ishikawa H, Liebmann JM, Ritch R. Quantitative assessment of the anterior segment using ultrasound biomicroscopy. *Curr Opin Ophthalmol*. 2000; 11 (2): 133–9. doi: 10.1097/00055735-200004000-00012
13. Kawana K, Kiuchi T, Yasuno Y, Oshika T. Evaluation of trabeculectomy blebs using 3-dimensional cornea and anterior segment optical coherence tomography. *Ophthalmology*. 2009; 116 (5): 848–55. doi: 10.1016/j.ophtha.2008.11.019
14. Kojima S, Inoue T, Nakashima K, Fukushima A, Tanihara H. Filtering blebs using 3-dimensional anterior-segment optical coherence tomography: a prospective investigation. *JAMA Ophthalmol*. 2015; 133 (2): 148–56. doi: 10.1001/jamaophthalmol.2014.4489
15. Kokubun T, Kunikata H, Tsuda S, et al. Quantification of the filtering bleb's structure with anterior segment optical coherence tomography. *Clin Exp Ophthalmol*. 2016; 44 (6): 446–54. doi: 10.1111/ceo.12689
16. Leung CK, Yick DW, Kwong YY, et al. Analysis of bleb morphology after trabeculectomy with Visante anterior segment optical coherence tomography. *Br J Ophthalmol*. 2007; 91 (3): 340–4. doi: 10.1136/bjo.2006.100321
17. Mastropasqua R, Fasanella V, Agnifili L, et al. Anterior segment optical coherence tomography imaging of conjunctival filtering blebs after glaucoma surgery. *Biomed Res Int*. 2014; 2014 (610623). doi: 10.1155/2014/610623
18. Napoli PE, Zucca I, Fossarello M. Qualitative and quantitative analysis of filtering blebs with optical coherence tomography. *Can J Ophthalmol*. 2014; 49 (2): 210–6. doi: 10.1016/j.cjco.2013.10.003
19. Narita A, Morizane Y, Miyake T, et al. Characteristics of successful filtering blebs at 1 year after trabeculectomy using swept-source three-dimensional anterior segment optical coherence tomography. *Jpn J Ophthalmol*. 2017; 61 (3): 253–9. doi: 10.1007/s10384-017-0504-2
20. Singh M, Aung T, Aquino MC, Chew PT. Utility of bleb imaging with anterior segment optical coherence tomography in clinical decision-making after trabeculectomy. *J Glaucoma*. 2009; 18 (6): 492–5. doi: 10.1097/IJG.0b013e31818d38ab
21. Singh M, Aung T, Friedman DS, et al. Anterior segment optical coherence tomography imaging of trabeculectomy blebs before and after laser suture lysis. *Am J Ophthalmol*. 2007; 143 (5): 873–5. doi: 10.1016/j.ajo.2006.12.001
22. Singh M, Chew PT, Friedman DS, et al. Imaging of trabeculectomy blebs using anterior segment optical coherence tomography. *Ophthalmology*. 2007; 114 (1): 47–53. doi: 10.1016/j.ophtha.2006.05.078
23. Wen JC, Stinnett SS, Asrani S. Comparison of anterior segment optical coherence tomography bleb grading, Moorfields bleb grading system, and intraocular pressure after trabeculectomy. *J Glaucoma*. 2017; 26 (5): 403–8. doi: 10.1097/IJG.0000000000000636
24. Yamamoto T, Sakuma T, Kitazawa Y. An ultrasound biomicroscopic study of filtering blebs after mitomycin C trabeculectomy. *Ophthalmology*. 1995; 102 (12): 1770–6. doi: 10.1016/s0161-6420(95)30795-6
25. Sacu S, Rainer G, Findl O, Georgopoulos M, Vass C. Correlation between the early morphological appearance of filtering blebs and outcome of trabeculectomy with mitomycin C. *J Glaucoma*. 2003; 12 (5): 430–5. doi: 10.1097/00061198-200310000-00006
26. Шмырева В.Ф., Петров С.Ю., Антонов А.А. и др. Исследование метаболизма тканей переднего отрезка глаза по уровню оксигенации гемоглобина в венозном русле при первичной открытоугольной глаукоме. *Глаукома*. 2008; 3: 3–10. [Shmireva V.F., Petrov S.Yu., Antonov A.A., et al. The study of the metabolism of the tissues in the anterior segment of the eye in relation to hemoglobin oxygenation in venous system at primary open-angle glaucoma. *Glaucoma*. 2008; 3: 3–10 (In Russ.)].
27. Шмырева В.Ф., Петров С.Ю., Антонов А.А. и др. Метод оценки оксигенации субконъюнктивального сосудистого русла с помощью спектроскопии отраженного света (экспериментальное исследование). *Глаукома*. 2008; 2: 9–14. [Shmireva V.F., Petrov S.Yu., Antonov A.A., et al. Method of evaluation of subconjunctival vascular bed with reflected light spectroscopy (experimental study). *Glaucoma*. 2008; 2: 9–14 (In Russ.)].
28. Spaide RF, Fujimoto JG, Waheed NK, Sadda SR, Staurenghi G. Optical coherence tomography angiography. *Prog Retin Eye Res*. 2018; 64: 1–55. doi: 10.1016/j.preteyeres.2017.11.003
29. Hayek S, Labbe A, Brasnu E, Hamard P, Baudouin C. Optical Coherence Tomography Angiography evaluation of conjunctival vessels during filtering surgery. *Transl Vis Sci Technol*. 2019; 8 (4): 4. doi: 10.1167/tvst.8.4.4
30. Kido A, Akagi T, Ikeda HO, et al. Longitudinal changes in complete avascular area assessed using anterior segmental optical coherence tomography angiography in filtering trabeculectomy bleb. *Sci Rep*. 2021; 11 (1): 23418. doi: 10.1038/s41598-021-02871-2
31. Liu Z, Wang H, Jiang H, Gameiro GR, Wang J. Quantitative analysis of conjunctival microvasculature imaged using optical coherence tomography angiography. *Eye Vis (Lond)*. 2019; 2:6:5 eCollection 2019. doi: 10.1186/s40662-019-0130-9
32. Mastropasqua R, Brescia L, Di Antonio L, et al. Angiographic biomarkers of filtering bleb function after XEN gel implantation for glaucoma: an optical coherence tomography-angiography study. *Acta Ophthalmol*. 2020; 98 (6): e761–e7. doi: 10.1111/aos.14371
33. Seo JH, Kim YA, Park KH, Lee Y. Evaluation of functional filtering bleb using Optical Coherence Tomography Angiography. *Transl Vis Sci Technol*. 2019; 8 (3): 14. doi: 10.1167/tvst.8.3.14
34. Seo JH, Lee Y, Shin JH, Kim YA, Park KH. Comparison of conjunctival vascular changes using optical coherence tomography angiography after trabeculectomy and phacotrabeculectomy. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2019; 257 (10): 2239–55. doi: 10.1007/s00417-019-04412-0
35. Yin X, Cai Q, Song R, He X, Lu P. Relationship between filtering bleb vascularization and surgical outcomes after trabeculectomy: an optical coherence tomography angiography study. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2018; 256 (12): 2399–405. doi: 10.1007/s00417-018-4136-0
36. Петров С.Ю., Солодовников В.И., Милаш С.В. и др. Комбинированный программный метод анализа васкуляризации фильтрационных подушек по томографическим изображениям с использованием методов машинного зрения. *Медицина*. 2025; 13 (4): 1–16. [Petrov S.Yu., Solodovnikov V.I., Milash S.V. A combined software method for analyzing

filtering bleb vascularization parameters from tomographic images using machine vision methods. *Medicine*. 2025; 13 (4): 1–16 (In Russ.)]. doi: 10.29234/2308-9113-2025-13-4-1-16

37. Parihar VR, Boveiri HR. A survey and comparative analysis on image segmentation techniques. *Image segmentation: A guide to image mining*. 2018.

38. Ghosh A, Sultana F, Sufian A, Chakrabarti A. Fundamental concepts of convolutional neural network. Recent trends and advances in artificial intelligence and internet of things. 2020: 519–67.
39. Ronneberger O, Fischer P, Brox T. U-Net: Convolutional Networks for biomedical image segmentation. *International conference on medical image computing and computer-assisted intervention*. 2016: 234–41.

Вклад авторов в работу: С.Ю. Петров, В.И. Солодовников — концепция и дизайн исследования, обзор литературы, сбор и анализ данных, написание статьи; С.В. Милаш, О.И. Маркелова, А.Д. Епхьева, К.В. Павлов — обзор литературы, сбор и обработка данных, написание статьи; Н.В. Каракотова — разработка программного обеспечения.

Authors' contribution: S.Yu. Petrov, V.I. Solodovnikov — concept and design of the study, review of the literature, data collection and analysis, writing of the article; S.V. Milash, O.I. Markelova, A.D. Epkhieva, K.V. Pavlov — review of the literature, data collection and processing, writing of the article; N.V. Karakotova — software development.

Поступила: 24.10.2025. Переработана: 07.11.2025. Принята к печати: 08.11.2025

Originally received: 24.10.2025. Final revision: 07.11.2025. Accepted: 08.11.2025

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ/INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

ФГБУ «НМИЦ глазных болезней им. Гельмгольца» Минздрава России, ул. Садовая-Черногрозская, д. 14/19, Москва, 105062, Россия

Сергей Юрьевич Петров — д-р мед. наук, начальник отдела глаукомы, ORCID 0000-0001-6922-0464

Сергей Викторович Милаш — канд. мед. наук, старший научный сотрудник отдела патологии рефракции, бинокулярного зрения и офтальмоэргономики, ORCID 0000-0002-3553-9896

Оксана Игоревна Маркелова — младший научный сотрудник отдела глаукомы, ORCID 0000-0002-8090-6034

Анжела Давидовна Епхьева — аспирант отдела глаукомы, ORCID 0009-0006-8100-9681

Кирилл Владиславович Павлов — аспирант отдела глаукомы, ORCID 0009-0006-9009-6545

ФГБУ науки «Центр информационных технологий в проектировании» Российской академии наук, ул. Маршала Бирюзова, д. 7а, Одинцово, Московская область, 143000, Россия

Владимир Игоревич Солодовников — канд. техн. наук, директор, ORCID 0000-0001-5533-214X

ФГАОУ ВО «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана 2-я Бауманская улица, д. 5, стр. 4, Москва, 105055, Россия

Наталья Владимировна Каракотова — студент

Для контактов: Сергей Юрьевич Петров, glaucomatosis@gmail.com

Helmholtz National Medical Research Center of Eye Diseases, 14/19, Sadovaya-Chernogryazskaya St., Moscow, 105062, Russia

Sergey Yu. Petrov — Dr. of Med. Sci., head of glaucoma department, ORCID 0000-0001-6922-0464

Sergei V. Milash — Cand. of Med. Sci., senior researcher, department of refraction pathology, binocular vision and ophthalmoeconomics, ORCID 0000-0002-3553-9896

Oksana I. Markelova — junior researcher, glaucoma department, ORCID 0000-0002-8090-6034

Anzhela D. Epkhieva — PhD, glaucoma department, ORCID 0009-0006-8100-9681

Kirill V. Pavlov — PhD, glaucoma department, ORCID 0009-0006-9009-6545

Design Information Technologies Center Russian Academy of Sciences, 7A, Marshal Biryuzov St., Odintsovo, Moscow Region, 143000, Russia

Vladimir I. Solodovnikov — Cand. of Techn. Sci., director, ORCID 0000-0001-5533-214X

Bauman Moscow State Technical University, 5, Build. 4, 2nd Baumanskaya St., Moscow, 105055, Russia

Natalya V. Karakotova — student

For contacts: Sergey Yu. Petrov, glaucomatosis@gmail.com

<https://doi.org/10.21516/2072-0076-2026-19-2-126-132>

Прогнозирование исхода сквозной кератопластики у детей

А.В. Плескова, Л.А. Катаргина, В.Р. Гетадарян✉

ФГБУ «НМИЦ глазных болезней им. Гельмгольца» Минздрава России, ул. Садовая-Черногрозская, д. 14/19, Москва, 105062, Россия

Цель работы — анализ факторов риска, влияющих на результат сквозной кератопластики (СКП) у детей. **Материал и методы.** Ретроспективно и проспективно проанализированы истории болезни и амбулаторные карты детей, оперированных в отделе патологии глаз у детей НМИЦ ГБ им. Гельмгольца в период с 2000 по 2024 г. Среди них отобраны случаи, удовлетворяющие следующим условиям: а) выполнена СКП; б) использован не консервированный донорский материал; в) возраст пациента на момент пересадки не превышал 14 лет; г) судьба трансплантата прослежена минимум в течение 3 мес после операции. Объем выборки составил 236 случаев СКП, выполненных у 222 детей (236 глаз) в возрасте от 3 мес до 14 лет (в среднем $5,3 \pm 1,8$ года). Оценивали факторы риска, влияющие на выживаемость и функциональность трансплантата. **Результаты.** Выявлено существенное влияние возраста пациента на исход СКП: у младших детей результат зачастую более благоприятный, что связано с высокой пластичностью тканей и меньшей выраженностью иммунологических реакций. Наличие сопутствующих заболеваний значительно ухудшает прогноз и увеличивает риск отторжения трансплантата. Важным фактором является также качество донорского материала и соблюдение правил послеоперационного ухода, способствующих снижению риска помутнения роговицы. **Заключение.** Прогнозирование результатов СКП носит обычно предположительный, субъективный характер, основывающийся преимущественно на личном опыте хирурга и его интуиции. Определение факторов риска при СКП позволяет обнаружить в многообразии клинической картины те факторы, которые критически влияют на исход операции, их количественная оценка дает возможность представить прогноз в категориях статистически выверенной вероятности.

Ключевые слова: сквозная кератопластика у детей; факторы риска; прогнозирование кератопластики у детей

Конфликт интересов: отсутствует.

Прозрачность финансовой деятельности: никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

Для цитирования: Плескова А.В., Катаргина Л.А., Гетадарян В.Р. Прогнозирование исхода сквозной кератопластики у детей. Российский офтальмологический журнал. 2026; 19 (2): 126–32. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2026-19-2-126-132>

Predicting of penetrating keratoplasty outcome in children

Alla V. Pleskova, Ludmila A. Katargina, Vostan R. Getadaryan✉

Helmholtz National Medical Research Center of Eye Diseases, 14/19, Sadovaya-Chernogryazskaya St., Moscow, 105062, Russia
vostan11@gmail.com

Purpose of the study: to analyze risk factors affecting the outcome of penetrating keratoplasty (PK) in children. **Material and methods.** We retrospectively and prospectively analyzed the medical records and outpatient charts of children undergoing surgery at the Pediatric Eye Pathology Department of the Helmholtz National Medical Research Center of Eye Diseases between 2000 and 2024. Cases were selected that met the following criteria: a) PK was performed; b) non-preserved donor material was used; c) the patient was 14 years or younger at the time of transplantation; d) the graft was followed for at least 3 months postoperatively. The sample size consisted of 236 cases of PK performed in 222 children (236 eyes). Risk factors affecting graft survival and functionality were assessed. **Results.** A significant impact of patient age on the outcome of corneal transplantation was revealed: in younger children, the outcome is often more favorable, which is associated with high tissue plasticity and less severe immunological reactions. The presence of comorbidities significantly worsens the prognosis

and increases the risk of graft rejection. The quality of the donor material and adherence to postoperative care rules, which help reduce the risk of corneal opacity, are also important factors. **Conclusion.** Predicting the outcome of corneal transplantation is usually hypothetical and subjective, based primarily on the surgeon's personal experience and intuition. Identifying risk factors in corneal transplantation allows us to identify those factors that critically affect the outcome of the surgery within the diversity of clinical presentations; their quantitative assessment allows us to present a prognosis in terms of statistically verified probability.

Keywords: penetrating keratoplasty in children; risk factors; prognosis of keratoplasty in children

Conflict of interests: there is no conflict of interests.

Financial disclosure: no author has a financial or property interest in any material or method mentioned.

For citation: Pleskova A.V., Katargina L.A., Getadaryan V.R. Predicting of penetrating keratoplasty outcome in children. Russian ophthalmological journal. 2026; 19 (2): 126-32 (In Russ.). <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2026-19-2-126-132>

Сквозная кератопластика (СКП) у детей — сложная и многогранная проблема [1]. При всей ее радикальности и при всем ее лечебном потенциале большинство офтальмохирургов предпочитают все же отказываться от пересадки роговицы в детском возрасте и переносят ее на более поздние сроки, особенно у детей грудного возраста (до года) [2]. В настоящее время не обсуждается как таковая целесообразность СКП при помутнениях роговицы у детей. На повестке дня стоит иной вопрос: как сделать эту операцию по-настоящему эффективным способом лечения. Одной из самых актуальных и активно изучаемых тем в офтальмотрансплантологии является изучение факторов риска, влияющих на результат операции [3, 4]. Факторы риска — это те особенности исходного состояния глаза, хирургического вмешательства и/или послеоперационного течения, которые явно или опосредованно способствуют развитию различных осложнений и в итоге влияют на исход операции.

Выявление факторов риска — это прогнозирование исхода операции. Ясное представление о том, чего следует ожидать в той или иной клинической ситуации, помогает определить пациентов, которым следует отказать в пересадке роговицы, особенно когда риски неустраимы, а также выделить пациентов, нуждающихся до операции в специальных мероприятиях, направленных на минимизацию существующего у них риска, а также тех пациентов, которые требуют после пересадки особо пристального внимания ввиду высокой вероятности развития у них осложнений, угрожающих прозрачности трансплантата.

ЦЕЛЬ работы — анализ факторов риска, влияющих на результат кератопластики у детей.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Объем выборки составил 236 случаев СКП, выполненных у 222 детей (236 глаз) в возрасте от 3 мес до 14 лет (в среднем $5,3 \pm 1,8$ года). В рамках факторного анализа оценивали обстоятельства, способствующие помутнению трансплантата и сохранению низкого зрения в случае его прозрачного приживления. Для этого представили исходное состояние глаз, особенности операции и послеоперационного периода в виде совокупности качественных показателей. Каждый показатель имел четкое формальное определение: да или нет. Соответственно такому толкованию всю хирургическую выборку делили на 2 группы, различающиеся между собой по одному признаку. Всего было сформировано 18 пар — групп, соответствующих 18 показателям. В каждой из них сравнивали выживаемость трансплантатов, при этом за нулевую гипотезу принимали предположение об одинаковой выживаемости трансплантатов в группах сравнения. Ее отвергали, когда величина вычисленного стандартного нормального распределения z с учетом поправки Йейтса превышала его критическое значение для уровня значимо-

сти $\alpha = 0,05$ в соответствующей таблице. Если межгрупповое различие было статистически значимым, то качество, его обусловившее, признавали фактором риска помутнения трансплантата. Алгоритм статистической обработки, справочные таблицы, а также номенклатура терминов выбраны по рекомендациям С. Гланца [5].

Статистическая обработка. Данные обработаны с помощью профессионального статистического пакета SPSS 11.0. В отношении параметрических (количественных) значений вычисляли выборочную среднюю M и ее стандартную ошибку $\pm se$. Непараметрические (качественные) признаки выражали с помощью выборочной доли p_0 , в виде процента. Выборочные средние M , представлявшие собой числовые выражения отдельных показателей до и после операции, сравнивали с помощью двустороннего варианта критерия Стьюдента (t). При этом за нулевую гипотезу принимали предположение о случайной разнице M . Это предположение отвергали, если величина вычисленного критерия t превышала его критическое значение для 5 % уровня значимости в соответствующей таблице. Обязательным условием применения теста Стьюдента была проверка нормального распределения выборки.

Выборочные доли p_0 сравнивали между собой с помощью критерия z , частного случая критерия Стьюдента. При этом за нулевую гипотезу принимали предположение о равенстве сравниваемых долей (наблюдаемую разницу в цифрах можно было отнести на счет случайности). Это предположение отвергали, если величина вычисленного критерия z с учетом поправки Йейтса на непрерывность превышала критическое его значение 1,96 для 5 % уровня значимости. Опровержение нулевой гипотезы означало, что разница в размере долей носит не случайный характер.

Непараметрическими методами биостатистики оценивали влияние различных факторов на биологический результат операции. С помощью таблицы сопряженности (2×2) рассчитывали критерий согласия χ^2 с поправкой Йейтса. При малой выборке ($n < 5$) пользовались односторонним вариантом точного критерия Фишера [6]. В качестве нулевой гипотезы принимали предположение об отсутствии связи между факторами риска и характером приживления трансплантата. Ее отвергали при уровне вероятности $p < 0,05$.

Для факторного анализа из общего набора клинических данных были выбраны те, которые, по нашему мнению, могли повлиять на исход операции у детей. Следует подчеркнуть, что предположение об отрицательном влиянии того или иного фактора на исход операции носило характер гипотезы. В ходе дальнейшей статистической проверки оставалось убедиться в ее правомочности.

При определении фактора риска мы старались пользоваться однозначными, максимально формализованными выражениями, допускающими только двоякое толкование ситуации: да — фактор имеется или нет — фактор отсутствует.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Фактор грудного возраста являлся одним из признаков повышенного риска. Если на момент пересадки роговицы возраст ребенка составлял менее 1 года, его обозначали как грудной. Всего в хирургической выборке оказалось 68 детей (80 глаз) грудного возраста. Фактор пола: в качестве исходной гипотезы предположили, что мужской пол реципиента является фактором риска. Пересадка роговицы у мальчиков была выполнена в 148 (62 %) случаях. Фактор глаукомы учитывали, если до операции имелось указание на перенесенную в прошлом операцию по поводу глаукомы и/или прием хотя бы одного гипотензивного препарата на момент первого осмотра. Всего в хирургической выборке оказалось 18 (7,6 %) случаев СКП с глаукомой в анамнезе. Признаком глаукомы после операции считали повышение внутриглазного давления (ВГД), проведение антиглаукомной операции и/или назначение хотя бы одного гипотензивного препарата (профилактическое назначение бринзоламида в первую неделю после операции игнорировали). Всего глаукома после операции возникла в 25 (10,6 %) случаях пересадки роговицы. Под фактором неоваскуляризации роговицы понимали наличие сосудов, проникающих в роговицу на расстояние более 2 мм от лимба. Достаточным признаком неоваскуляризации роговицы считали наличие хотя бы одного глубокого сосуда и/или, по меньшей мере, трех поверхностных (залегающих субэпителиально) сосудов. Неоваскуляризация до операции отмечена в 48 случаях, в 34 случаях появилась в донорской роговице в разные сроки после операции. Фактор афакии оценивали следующим образом: если хрусталик был удален на этапе, предшествующем СКП, то подобное состояние считали потенциальным фактором риска. Всего СКП на фоне исходной афакии была выполнена в 56 (24 %) случаях. Фактор витреоретинальной патологии определяли, если при ультразвуковом исследовании до операции выявлялись изменения в стекловидном теле — преретинальные пленки, множественные плавающие и пленчатые помутнения. Такие образования обнаружены в 29 (12,4 %) случаях СКП. Фактор группового диагноза, приведенный к стандартам МКБ-10, рассматривался как один из потенциальных факторов риска. Фактор рекератопластики определяли как наличие любой по счету СКП, проведенной на глазу повторно. Всего в исследование вошло 38 случаев рекератопластики. Фактором длительного хранения донорского материала считали случаи, когда длительность хранения донорского материала от момента смерти донора до начала операции превышала 48 ч. Таковых во всей хирургической выборке оказалось 27 (11,4 %). Фактор большого диаметра трансплантата соответствовал

диаметру роговицы более 7,0 мм, а стандартным диаметром трансплантата в практике детской СКП считали 7,0 мм. Всего в хирургической выборке оказалось 78 (33 %) случаев СКП, при которых пересаживали трансплантат большого диаметра. Выполнение трех и более реконструктивных вмешательств (экстракция катаракты, синехиотомия, витрэктомия и/или пластика радужки) одновременно с СКП определяли как фактор реконструктивной кератопластики и считали признаком высокой травматичности хирургического вмешательства. В соответствии с этим критерием к высоко травматичным вмешательствам были отнесены 113 (47,9 %) наблюдений. Выполнение передней витрэктомии во время пересадки роговицы (без учета того, сочеталась ли она с другими реконструктивными вмешательствами или нет) считалось самостоятельным фактором риска. Всего передняя витрэктомия была выполнена в 58 (24,6 %) случаях СКП. Экстракция катаракты одновременно с кератопластикой была выполнена в 75 (32 %) случаях. Такое вмешательство также расценивалось как потенциальный фактор риска. Под фактором осложненного послеоперационного течения понимали появление в послеоперационном периоде хотя бы одного осложнения, которое потребовало дополнительного хирургического вмешательства или изменения в схеме стандартной медикаментозной терапии. Всего осложненное течение отмечено в 95 (40,3 %) случаях СКП. Под реакцией отторжения понимали развитие в послеоперационном периоде хотя бы одного криза отторжения. Всего реакция отторжения отмечена в 97 (41,1 %) наблюдениях. Фактор моноклональной гаммапатии в общем виде представляет собой повышение или понижение уровня какого-либо класса Ig (Ig A, Ig M, Ig G) в сыворотке крови и/или слезной жидкости. С учетом выявленных особенностей гуморального иммунитета у детей с помутнениями роговицы различного генеза и динамики иммунных показателей после операции в рамках факторного анализа учитывали те случаи, когда гаммапатия принимала форму гипогаммаглобулинемии и/или дефицита Ig A в слезной жидкости. Появление передних синехий после операции приняли как определение одноименного фактора. Всего передние синехии возникли в 56 (41 %) случаях после СКП. Если пациент в течение первого года после операции пропускал более двух осмотров, то данную ситуацию оценивали, как фактор неполноценного наблюдения (осмотра), что могло отразиться на результатах операции. Таких случаев во всей выборке оказалось 44 (18,6 %).

Анализ факторов риска помутнения трансплантата представлен в таблице 1. По сути, такой анализ представлял собой сравнение однолетней и двухлетней выживаемости

Таблица 1. Анализ риска помутнения донорской роговицы у детей после СКП

Table 1. Analysis of the risk of donor corneal opacity in children after penetrating keratoplasty (PK)

Фактор риска Risk factor	n	Выживаемость трансплантата, % Transplant survival, %		Уровень значимости p Significance level p
		1-летняя 1-year follow-up	2-летняя 2-years follow-up	
Мужской пол / Male gender Да / Yes Нет / No	142 91	87 72	51 63	0,2
Грудной возраст реципиента / Recipient's infancy Да / Yes Нет / No	68 165	56 72	34 57	0,003
Глаукома в анамнезе / History of glaucoma Имеется / Available Отсутствует / Absent	18 215	55 73	49 61	0,06

Фактор риска Risk factor	n	Выживаемость трансплантата, % Transplant survival, %		Уровень значимости p Significance level p
		1-летняя 1-year follow-up	2-летняя 2-years follow-up	
Афакия до СКП / Aphakia before PK Да / Yes Нет / No	56 177	63 72	48 54	0,5
Основной диагноз / Main diagnosis Врожденное помутнение роговицы congenital / Corneal opacity Другой / Another	68 165	65 74	45 62	0,07
Основной диагноз / Main diagnosis Рубцы и помутнение роговицы / Scars and corneal opacity Другой / Another	55 178	69 72	53 57	0,4
Основной диагноз / Main diagnosis Дистрофии роговицы / Corneal dystrophy Другой / Another	41 192	76 62	69 49	0,08
Витреоретинальная патология до СКП / Vitreoretinal pathology before PK Имеется / Available Отсутствует / Absent	29 204	58 74	41 60	0,04
Кератопластика / Keratoplasty Повторная / Repeated Первичная / Primary	23 210	36 74	36 58	0,01
Неоваскуляризация до СКП / Neovascularization before PK Имеется / Available Отсутствует / Absent	48 185	40 76	30 61	0,018
Гаммапатия до СКП / Gammopathy before PK Да / Yes Нет / No	16 217	55 70	46 55	0,3
Диаметр донорской роговицы / Donor cornea diameter Более 7,0 мм / More than 7.0 mm Менее 7,0 мм / Less than 7.0 mm	78 155	31 74	31 57	0,02
Высоко травматичная операция / Highly traumatic surgery Да / Yes Нет / No	113 120	63 79	47 63	0,03
Трансплантат хранился / The graft was stored Более 48 ч / More than 48 hours Менее 48 ч / Less than 48 hours	20 213	50 79	35 59	0,001
Витрэктомия при СКП / Vitrectomy with PK Проводилась / Performed Не проводилась / Not performed	58 175	53 88	31 72	0,0008
Экстракция хрусталика при СКП / Lens extraction with PK Проводилась / Performed Не проводилась / Not performed	55 178	69 76	50 63	0,08
Глаукома после операции / Glaucoma after surgery Да / Yes Нет / No	25 208	55 72	33 57	0,02
СКП после операции / PK after surgery Да / Yes Нет / No	112 121	66 74	49 64	0,09
Кризис отторжения после операции / Rejection crises after surgery 1 и более / 1 and more Отсутствуют / Absent	97 136	55 74	43 64	0,04
Неоваскуляризация после СКП / Neovascularization after PK Имеется / Available Отсутствует / Absent	43 199	41 77	28 60	0,005
Гаммапатия после СКП / Gammopathy after PK Имеется / Available Отсутствует / Absent	18 8	44 62	23 49	0,02
Послеоперационные осложнения / Postoperative complications 1 и более / 1 or more Отсутствуют / None	125 108	61 83	44 77	0,05
Неполноценное наблюдение / Defective observation Да / Yes Нет / No	24 209	44 75	31 59	0,002

трансплантата в группах пациентов с гипотетическим риском и без такового. Межгрупповую разницу в выживаемости трансплантата считали достоверной, если при проверке лог-ранговым критерием уровень значимости p составлял меньше 0,05.

Как показывают полученные результаты, среди всех показателей исходного состояния глаза риск помутнения трансплантата был связан с грудным возрастом реципиента, наличием витреоретинальной патологии, неоваскуляризацией роговицы и ее повторной пересадкой. Во всех этих случаях выживаемость трансплантата ко 2-му году наблюдения была достоверно меньшей, чем в остальной выборке. Почти двукратной была разница в выживаемости трансплантатов в случае рекератопластики (36 и 58 %, $p = 0,01$), в грудном возрасте (34 и 57 %, $p = 0,003$) и при исходной неоваскуляризации роговицы (30 и 60 %, $p = 0,018$).

Влиянием пола реципиента, глаукомы в анамнезе, афакии и исходных расстройств гуморального иммунитета можно было пренебречь. По крайней мере, вероятность того, что выживаемость трансплантата при этих обстоятельствах ниже, чем в остальной выборке, оказалась невысокой ($p > 0,05$). Не найдено также и явной зависимости биологического результата СКП от группового диагноза в терминах МКБ 10. Видимо, из-за того, что эти группы объединяли заболевания с принципиально разным прогнозом (например, болезнь трансплантата и кератоконус), чувствительность этого критерия оказалась недостаточной.

Из числа факторов, отражающих особенности хирургического вмешательства на исход операции, явное отрицательное влияние на выживаемость донорской ткани оказывали большой диаметр трансплантата, длительное время его хранения и комбинированный характер самой операции. При сочетании кератопластики с передней витрэктомией выживаемость трансплантата ко второму году наблюдения снижалась с 72 до 31 % ($p = 0,0008$). Экстракция катаракты такого влияния не оказывала.

Особенности послеоперационного периода оценивались в терминах осложненного течения, под которым понимали развитие одного и более послеоперационного осложнения без уточнения природы последнего. Оказалось, что в отсутствии осложнений выживаемость трансплантата составляла 83 % к первому году и 77 % ко второму году после операции, а при осложненном течении выживаемость не превышала 61 и 44 %, соответственно ($p = 0,05$). Анализ влияния на биологический результат операции отдельных осложнений — послеоперационной глаукомы, неоваскуляризации, передних синехий, реакции отторжения или гампатии, также показал существенное повышение риска несостоятельности трансплантата при этих обстоятельствах.

Еще один фактор, неблагоприятно влияющий на судьбу роговичного трансплантата — это качество послеоперационного наблюдения. Те пациенты, которые на длительный срок выбывали из-под наблюдения, имели существенно более высокий риск помутнения донорской ткани, чем те, кто придерживались рекомендованного графика контрольных осмотров ($p = 0,002$). Разница в выживаемости трансплантатов между ними была почти двукратной.

Таблица 2. Диагноз в категориях благоприятного и неблагоприятного прогноза
Table 2. Diagnosis in categories of favorable and unfavorable prognosis

Группа благоприятного прогноза (медиана выживаемости трансплантата больше средней) Favorable prognosis group (median graft survival is greater than average)	Группа неблагоприятного прогноза (медиана выживаемости трансплантата меньше средней) Poor prognosis group (median graft survival less than average)
Кератоконус Keratoconus Врожденная наследственная дистрофия роговицы Congenital hereditary corneal dystrophy Буллезная кератопатия Bullous keratopathy Слипчивая лейкома Adhesive leukoma Центральное помутнение роговицы Central corneal opacification	Химический ожог роговицы Chemical burn of the cornea Болезнь трансплантата Graft disease Аномалия Петерса Peter's anomaly Стафилома Staphyloma Склерокорнеа Sclerocornea

Для того, чтобы отобрать из достаточно большого списка факторов риска те, которые оказывают независимое и наиболее существенное влияние на исход операции, мы воспользовались множественными линейными регрессиями, а именно, моделью пропорциональных рисков Кокса [5]. В дополнение к 14 факторам риска, отобранным на предыдущем этапе, в анализ добавили также фактор диагноза в категории «благоприятного» и «неблагоприятного прогноза», заменив им понятие группового диагноза по МКБ-10 (табл. 2).

За критерий, дифференцирующий диагноз в зависимости от прогноза, приняли медиану выживаемости — срок после СКП, когда выживаемость трансплантата достигает 50%. Средняя медиана выживаемости для всей хирургической выборки составила 39,6 мес. Соответственно, те заболевания роговицы, при которых медиана выживаемости была больше этого срока, вошли в группу с относительно благоприятным прогнозом. В их числе оказались кератоконус, врожденные и наследственные дистрофии роговицы, буллезная кератопатия, а также центральные помутнения и слипчивая лейкома.

Другие болезни роговицы, при которых вероятность помутнения половины трансплантатов наступала раньше 39,6 мес после операции, составили группу с относительно неблагоприятным прогнозом. Это были болезнь трансплантата, ожоги и врожденные аномалии развития роговицы, а также первичная открытоугольная глаукома (ПОУГ).

Наиболее существенный риск несостоятельности трансплантата был связан с заболеваниями из группы неблагоприятного прогноза: ожог и врожденные аномалии развития роговицы и ПОУГ, болезнь трансплантата. При этих нозологиях риск помутнения донорской роговицы был в 4,21 раза выше, чем в случае дистрофических заболеваний или приобретенных рубцов/центральных помутнений роговицы. Если быть предельно точным, то истинная величина риска по этому показателю находится в интервале 1,83–8,53. Таким образом, биологический результат кератопластики у детей зависит от этиологии заболевания роговицы. Большая часть факторов, влияние которых обсуждалось выше, представляет собой неизбежное следствие диагноза.

Помимо этиологии заболевания, прямое (независимое) влияние на биологический результат СКП у детей оказывало еще несколько факторов, перечисленных ниже в порядке их значимости: рекератопластика ($RR = 2,83$), неоваскуляризация роговицы ($RR = 2,36$), развитие послеоперационной глаукомы ($RR = 2,06$), выполнение передней витрэктомии ($RR = 1,62$) и развитие реакции отторжения ($RR = 1,12$).

Таблица 3. Факторы риска низкого зрения при прозрачном приживлении трансплантата у детей и их численное выражение в модели Кокса
Table 3. Risk factors for low vision during transparent engraftment in children and their numerical expression in the Cox model

Фактор риска Risk factor	Определение Definition	RR	95 %-ный доверительный интервал 95 % confidence interval	
			нижний предел bottom limit	верхний предел top limit
Возраст появления депривации Age of deprivation onset	Возникла в возрасте до 1 года Occurred before the age of 1 year Возникла в возрасте старше 1 года Occurred over 1 year of age	6,34 1,00	2, 31	11,54
Длительность депривации Duration of deprivation	Существует более 3 лет Exists for more than 3 years Существует менее 3 лет Exists less than 3 years	3,17 1,00	2,01	5,11
Глаукома в анамнезе Glaucoma in the anamnesis	Да Yes Нет No	1,89 1,00	1,31	2,67
Афакия Aphakia	Да Yes Нет No	1,34 1,00	1,02	1,69

В нашем наблюдении в 85 (36,5 %) случаях СКП в первый год после операции в группе, где можно было провести визометрию, острота зрения (ОЗ) не превышала 0,05. При этом трансплантат в течение первого года после операции помутнел только в 35 случаях. Таким образом, у 50 пациентов прозрачному приживлению трансплантата в эти сроки сопутствовал низкий функциональный результат, что можно рассматривать как еще один фактор.

Как уже обсуждалось выше, несимметричность результатов кератопластики, когда ее функциональный результат не соответствует биологическому, считают едва ли не характерной для детского возраста. Причин множество: амблиопия, нистагм, косоглазие, афакия, помутнение стекловидного тела, патология зрительного нерва, отсутствие своевременного плеоптического лечения и/или афакической коррекции. Подобные выводы носят по большей части предположительный характер — объективных свидетельств в пользу влияния того или иного фактора на величину ОЗ после операции у детей не представлено.

В рамках одной из задач настоящего исследования — определение причин низкого зрения после кератопластики — оценена вероятность неблагоприятного функционального результата при следующих клинических обстоятельствах: групповом диагнозе в терминах МКБ-10, афакии, глаукоме, витреоретинальной патологии, длительном хранении донорского материала, комбинированном характере операции. В дополнение к этому списку учитывали фактор начала зрительной депривации, когда помутнение роговицы возникло на первом году жизни, и фактор длительности зрительной депривации, когда от момента помутнения роговицы до операции прошло 3 года и более.

Выявлено, что низкую ОЗ при прозрачном приживлении трансплантата следует ожидать в следующих ситуациях: в случаях, когда помутнение роговицы возникло в первый год жизни (RR = 6,34); когда зрительная депривация длилась более 3 лет (RR = 3,17); а также при сопутствующей глаукоме и афакии (RR 1,89 и 1,34 соответственно). Влиянием остальных факторов можно пренебречь. Таким образом, наиболее значимой причиной низкого зрения

при прозрачном приживлении трансплантата в детском возрасте является депривация, возникшая в первый год жизни (табл. 3).

ОБСУЖДЕНИЕ

Проблема СКП при врожденных помутнениях роговицы — это в первую очередь проблема выбора срока хирургического вмешательства. Чем раньше проведена операция, тем больше шансов на восстановление зрения. Опыт, накопленный в отделе патологии глаз у детей НМИЦ ГБ им. Гельмгольца, свидетельствует о том, что операции при врожденном помутнении роговицы эффективны в том случае, если они выполнены в течение первых 17–20 нед жизни ребенка. Мы полагаем, что в первые месяцы жизни существует латентный период, во время которого дети мало чувствительны к зрительной депривации. Вслед за ним наступает период, во время которого зрительные ограничения приводят к необратимой амблиопии. При врожденном помутнении роговицы первые месяцы жизни ребенка представляют собой оптимальный срок для проведения оптико-реконструктивного вмешательства [7, 8].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Каждый раз, планируя пересадку роговицы у ребенка, хирург вынужден обсуждать с родителями ребенка вопросы, точный ответ на которые он дать не в силах: приживется ли донорская роговица, и какое зрение будет получено в итоге? Прогнозирование результатов кератопластики носит обычно предположительный, субъективный характер, основанный по большей части на личном опыте хирурга и его интуиции. Развитие информационных технологий наряду с распространением принципов доказательной медицины сделали математические методы анализа элементом современного научно-клинического мышления. Эти методы позволяют обнаружить в многообразии клинической картины те факторы, которые критически влияют на исход операции. Эти же методы позволяют дать им числовую оценку и в итоге представить прогноз исхода операции в категориях статистически выверенной вероятности.

Литература/References

1. Anshu A, Lim LS, Htoon HM, Tan DT. Postoperative risk factor influencing corneal graft survival in the Singapore Corneal Transplantation Study. *Am J Ophthalmol*. 2011 Mar; 151 (3): 442–8.e1. doi: 10.1016/j.ajo.2010.09.002
2. Aasuri MK, Garg P, Gokhle N, Gupta S. Penetrating keratoplasty in children. *Cornea*. 2000; 19: 140–4. doi: 10.1097/00003226-200003000-00004
3. Aiken-O'Neill P, Mannis MJ. Summary of Corneal Transplant Activity. Eye Bank Association of America. *Cornea*. 2002 Jan; 21 (1): 1–3. doi: 10.1097/00003226-200201000-00001
4. Zaidman GW, Flanagan JK, Furey CC. Long-term visual prognosis in children after corneal transplantation surgery for Peters anomaly type 1. *Am J Ophthalmol*. 2007 Jul; 144 (1): 104–8. doi: 10.1016/j.ajo.2007.03.058
5. Гланц С. Медико-биологическая статистика. Москва. Практика; 1999. [Glanz S. Medical and biological statistics. Moscow. Practice; 1999 (In Russ.)].
6. Bewick V, Cheek L, Ball J. Statistic review 12: Survival analysis. *Crit Care*. 2004 Oct; 8 (5): 389–94. doi: 10.1186/cc2955
7. Плескова А.В., Катаргина Л.А. Современные аспекты сквозной кератопластики при различных помутнениях роговицы у детей. *Российский офтальмологический журнал*. 2011; 4 (2): 89–94. [Pleskova A.V., Katargina L.A. Modern aspects of penetrating keratoplasty for various corneal opacities in children. *Russian ophthalmological journal*. 2011; 4 (2): 89–94 (In Russ.)].
8. Плескова А.В., Катаргина Л.А., Хватова А.В. Врожденные помутнения роговицы. *Российская педиатрическая офтальмология*. 2010; 2: 46–50. [Pleskova A.V., Katargina L.A., Khvatova A.V. Congenital corneal opacities. *Russian pediatric ophthalmology*. 2010; 2: 46–50 (In Russ.)].

Вклад авторов в работу: А.В. Плескова — формулировка идеи, цели и задач исследования, редактирование и окончательное утверждение рукописи для публикации; Л.А. Катаргина — разработка концепции и дизайна исследования, интерпретация результатов; В.Р. Гетадарян — написание и финальная подготовка статьи к публикации.

Authors' contribution: A.V. Pleskova — formulation of the idea, purpose and objectives of the research, editing and final approval of the article for publication; L.A. Katargina — development of the concept and design of the research, interpretation of the results; V.R. Getadaryan — writing and final preparation of the article for publication.

Поступила: 15.02.2026. Переработана: 11.03.2026. Принята к печати: 12.03.2026
Originally received: 15.02.2026. Final revision: 11.03.2026. Accepted: 12.03.2026

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ/INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

ФГБУ «НМИЦ ГБ им. Гельмгольца» Минздрава России, Садовая-Черногрязская ул., д. 14/19, Москва, 105062, Россия

Алла Вячеславовна Плескова — д-р мед. наук, старший научный сотрудник отдела патологии глаз у детей, ORCID 0000-0002-4458-4605

Людмила Анатольевна Катаргина — д-р мед. наук, профессор, руководитель отдела патологии глаз у детей, ORCID 0000-0002-4857-0374

Востан Рафаелович Гетадарян — канд. мед. наук, научный сотрудник отдела патологии глаз у детей, ORCID 0000-0002-3250-4065

Для контактов: Востан Рафаелович Гетадарян,
vostan11@gmail.com

Helmholtz National Medical Research of Eye Diseases, 14/19, Sadovaya-Chernogryazskaya St., Moscow, 105062, Russia

Alla V. Pleskova — Dr. of Med. Sci., senior researcher, department of children's eye pathology, ORCID 0000-0002-4458-4605

Ludmila A. Katargina — Dr. of Med. Sci., professor, head of the department of children's eye pathology, ORCID 0000-0002-4857-0374

Vostan R. Getadaryan — Cand. of Med. Sci., researcher, department of children's eye pathology, ORCID 0000-0002-3250-4065

For contacts: Vostan Getadaryan,
vostan11@gmail.com

Комплексная диагностика внутриглазных лимфом: роль оптической когерентной томографии и тонкоигольной аспирационной биопсии

С.В. Саакян^{1,2}, Е.Б. Мякошина¹ ✉, М.Г. Жильцова¹, А.Ю. Цыганков^{1,2}

¹ ФГБУ «НМИЦ глазных болезней им. Гельмгольца» Минздрава России, ул. Садовая-Черногрозская, д. 14/19, Москва, 105062, Россия

² ФГБОУ ВПО «Российский университет медицины» Минздрава России, ул. Долгоруковская, д. 4, Москва, 127006, Россия

Цель работы — изучение возможностей оптической когерентной томографии (ОКТ) и тонкоигольной аспирационной биопсии (ТИАБ) в диагностике внутриглазной лимфомы. **Материал и методы.** Обследовано 9 больных в возрасте от 39 до 67 лет (в среднем $51,0 \pm 8,7$ года) с подозрением на внутриглазное новообразование. В комплекс обследований входили ОКТ, ТИАБ, цитологическое и иммуноцитохимическое (ИЦХ) исследование с использованием моноклональных антител CD19, CD20. **Результаты.** Офтальмоскопически диагностировали беспигментное светло-серое проминирующее диффузное образование с пигментированными гиперрефлективными мелкими фокусами. По данным ОКТ определены биомаркеры: волнообразное изменение хориоидального профиля, точечные гиперрефлективные скопления на уровне внутренней хориоидеи. Кроме того, диагностировали выраженную дезорганизацию ретинального пигментного эпителия и волнообразные изменения внутренних и наружных слоев сетчатки, обширную диффузную отслойку нейроэпителия, множественные гиперрефлективные фокусы на уровне слоя фоторецепторов, мелкие гиперрефлективные фокусы в задних слоях стекловидного тела, гиперрефлективные инфильтраты в наружных слоях сетчатки, диффузное расширение хориоидеи. Результаты органосохранной диагностики (ТИАБ и отпечатка) показали обилие диффузно расположенных лимфоидных элементов малых и средних размеров, среди которых преобладали малые лимфоциты, пролимфоциты, клетки с округлым ядром и характерной «пятнистостью» хроматина, узким ободком цитоплазмы. По данным ИЦХ выявлена положительная экспрессия специфических маркеров CD19 и CD20, проявляющаяся коричневой окраской цитоплазмы клеток, что подтверждало В-клеточную природу опухоли. **Заключение.** Среди всех клинико-инструментальных методов обследования решающее значение при внутриглазной лимфоме приобретают ОКТ и ТИАБ. В комплекс обследований необходимо включать, помимо ультразвукового исследования, ОКТ для выявления морфометрических биомаркеров лимфомы. При непрозрачных оптических средах органосохранная диагностика (ТИАБ и отпечаток) дает возможность получить диагноз лимфомы и определить ее принадлежность к наиболее злокачественному В-клеточному типу. Эти меры позволяют проводить раннюю маршрутизацию пациента к врачу-гематологу для определения дальнейшей тактики лечения.

Ключевые слова: внутриглазная лимфома; оптическая когерентная томография; тонкоигольная аспирационная биопсия
Конфликт интересов: отсутствует.

Прозрачность финансовой деятельности: никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

For citation: Саакян С.В., Мякошина Е.Б., Жильцова М.Г., Цыганков А.Ю. Комплексная диагностика внутриглазных лимфом: роль оптической когерентной томографии и тонкоигольной аспирационной биопсии. Российский офтальмологический журнал. 2026; 19 (2): 133-9. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2026-19-2-133-139>

Comprehensive diagnostics of intraocular lymphomas: the role of optical coherence tomography and fine-needle aspiration biopsy

Svetlana V. Saakyan^{1,2}, Elena B. Myakoshina¹✉, Marina G. Zhiltsova¹, Alexander Yu. Tsygankov^{1,2}

¹ Helmholtz National Medical Research Center of Eye Diseases, 14/19, Sadovaya-Chernogryazskaya St., Moscow, 105062, Russia

² Russian university of Medicine, 4, Dolgorukovskaya St., Moscow, 127006, Russia
myakoshina@mail.ru

Purpose of the study: to evaluate the capabilities of optical coherence tomography (OCT) and fine-needle aspiration biopsy (FNAB) in the diagnosis of intraocular lymphoma. **Material and methods.** 9 patients aged 39 to 67 (ave 51.0 ± 8.7) yrs with suspected intraocular neoplasm were examined. OCT, FNAB, cytologic and immunocytochemical (ICC) examination with the use of monoclonal antibodies CD19, CD20 were performed. **Results.** An amorphous light-gray protruding diffuse formation with pigmented hyperreflective small foci was diagnosed ophthalmoscopically. According to OCT data, were determined the following biomarkers: wave-like changes in the choroidal profile, point hyperreflective clusters at the level of the inner choroid. In addition, pronounced disorganization of the retinal pigment epithelium and wave-like changes in the inner and outer layers of the retina, extensive diffuse detachment of the neuroepithelium, multiple hyperreflective foci at the level of the photoreceptor layer, small hyperreflective foci in the posterior layers of the vitreous body, hyperreflective infiltrates in the outer layers of the retina were diagnosed. The results of organ-preserving diagnostics (FIAB and imprint) showed an abundance of diffusely located lymphoid elements of small and medium sizes, among which small lymphocytes, prolymphocytes, cells with a round nucleus and characteristic "spotting" of chromatin, a narrow rim of cytoplasm prevailed. According to the ICC data, positive expression of specific markers CD19 and CD20 was revealed, manifested by a brown color of the cell cytoplasm, which confirmed the B-cell nature of the tumor. **Conclusion.** Among all clinical and instrumental examination methods, OCT and FNAB are of decisive importance in intraocular lymphoma. In addition to ultrasound, the examination complex should include OCT to identify morphometric biomarkers of lymphoma. In opaque optical media, organ-preserving diagnostics (FNAB and imprint) makes it possible to obtain a diagnosis of lymphoma and determine its belonging to the most malignant B-cell type. The above measures allow for early patient referral to a hematologist to determine further treatment tactics.

Keywords: intraocular lymphoma; optical coherence tomography; fine needle aspiration biopsy

Conflict of interest: there is no conflict of interest.

Financial disclosure: no author has a financial or property interest in any material or method mentioned.

Для цитирования: Saakyan S.V., Myakoshina E.B., Zhiltsova M.G., Tsygankov A.Yu. Comprehensive diagnosis of intraocular lymphomas: the role of optical coherence tomography and fine-needle aspiration biopsy. Russian ophthalmological journal. 2026; 19 (2): 133-9 (In Russ.). <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2026-19-2-133-139>

Лимфома органа зрения — редкая опухоль, развивающаяся как в придаточном аппарате глаза, орбите, так и внутри глазного яблока [1–4]. Данная опухоль может проявляться как изолированно, так и в результате системного поражения [5, 6]. Лимфома является вариантом экстранодального поражения лимфоидной ткани (неходжкинские лимфомы) вследствие моноклональной экспансии В-, Т- или НК-клеточных лимфоцитов [7].

Впервые внутриглазная лимфома была определена как «ретикулоклеточная саркома глаза» [8]. Клинически лимфома внутриглазной локализации маскируется под витреит неясной этиологии, хронический диффузный хориоретинит, симулирует беспиgmentную увеальную меланому или метастатическую карциному хориоидеи [9, 10]. Среди неинвазивных методов диагностики доказала свою эффективность оптическая когерентная томография (ОКТ), являющаяся прижизненной биомикрометрией [11]. Существуют немногочисленные работы, описывающие морфометрическую картину внутриглазных лимфом [12, 13]. Однако интерпретацию изменений во всех оболочках глаза и анализ биомаркеров прогрессии опухоли до настоящего времени не проводили.

Полиморфность клинической картины требует клеточной идентификации процесса. Зарубежные авторы рекомендуют выполнять диагностическую витректомию с последующим иммуногистохимическим анализом [14]. Тонкоигольная аспирационная биопсия (ТИАБ) зарекомендовала себя как щадящий инвазивный метод, позволяющий получить клеточный материал в микроскопических дозах, сохранить глаз как функциональный орган и верифицировать диагноз [15, 16]. Несмотря на проведенные ранее работы по диагностике внутриглазной лимфомы, комплексный подход с использованием ОКТ и ТИАБ и включением иммуногистохимических (ИЦХ) исследований, остается мало освещенным в доступной литературе.

ЦЕЛЬ работы — изучение возможностей ОКТ и ТИАБ в диагностике внутриглазной лимфомы.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В период 2008–2024 гг. в отделе офтальмоонкологии и радиологии ФГБУ «НМИЦ ГБ им. Гельмгольца» Минздрава РФ обследовано 9 больных: 7 мужчин и 2 женщины в возрасте от 39 до 67 лет (в среднем $51,0 \pm 8,7$ года) с подозрением на внутриглазное новообразование. У троих пациентов отмеча-

ли билатеральное внутриглазное поражение, у остальных — монолатеральное.

Во всех случаях проведено стандартное и инструментальное обследование, включающее ультразвуковое исследование (УЗИ). ОКТ в режиме улучшенного глубокого изображения EDI выполняли при прозрачных оптических средах на ретиноангиотографе HRA + OCT (Heidelberg, Германия). Анализировали качественные характеристики хориоидеи, сетчатки и прилежащих отделов стекловидного тела. ТИАБ выполняли в операционной под контролем диафаноскопии и операционного микроскопа, используя стандартные сухие шприцы 5,0 мл и иглу-«бабочку». Забор пунктата со стороны склеры осуществляли в зоне проекции опухоли. Пунктат выдували на стерильное сухое предметное стекло, подсушивали на воздухе и окрашивали по Паппенгейму. Изучали цитогаммы в световом микроскопе «Asiostar» фирмы Carl Zeiss (увеличение 20, 40, 100). При удалении опухоли радужки и цилиарного тела выполняли отпечаток с опухолевой ткани. В 2 случаях проводили ИЦХ с использованием моноклональных антител CD19, CD20.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Клинико-диагностические характеристики пациентов, включенных в исследование, представлены в таблице 1.

Системное поражение внутренних органов (острый лейкоз и лимфома) до обращения в ФГБУ «НМИЦ ГБ им. Гельмгольца» Минздрава РФ выявлено у 2 больных. Все

пациенты предъявляли жалобы на снижение и потерю зрения, метаморфопсии. По данным тонометрии внутриглазное давление оказалось в норме у всех пациентов.

Офтальмоскопическая картина оказалась полиморфна. В случае поражения хориоидеи и цилиарного тела на глазном дне определяли беспигментное образование с неровными, нечеткими границами, с сопутствующей вторичной отслойкой сетчатки (3 случая). В ряде случаев (n = 5) диагностировали беспигментное светло-серое проминирующее диффузное образование (рис. 1) с пигментированными гиперрефлективными мелкими фокусами (рис. 2). При поражении радужки определяли диффузное беспигментное образование светлого цвета с неровными, нечеткими границами.

По данным эхографии определяли проминирующее образование с признаками кровотока, при поражении радужки и цилиарного тела — их утолщение.

По данным ОКТ в 6 случаях (9 глаз) определены биомаркеры: мелкие гиперрефлективные фокусы в задних слоях стекловидного тела, волнообразные изменения внутренних слоев сетчатки и точечные гиперрефлективные скопления на том же уровне.

Определена обширная диффузная отслойка нейрo-эпителия, выраженная дезорганизация ретинального пигментного эпителия, волнообразные изменения наружных слоев сетчатки, множественные гиперрефлективные фокусы на уровне слоя фоторецепторов и гиперрефлективные инфильтраты на уровне наружных ретинальных слоев.

Таблица 1. Клинико-диагностические характеристики пациентов с внутриглазной лимфомой
Table 1. Clinical and diagnostic characteristics of patients with intraocular lymphoma

Пациент, лет Patient, years	Пол Gender	Сопутствующий анамнез Associated medical history	Глаз Eye	Уровень поражения Level of lesion	Вторичная отслойка сетчатки Secondary retinal detachment	УЗБМ USBM	Эхография h/d, мм Echography h/d, mm	ОКТ OCT	ТИАБ отпечаток FNAB imprint
С., 47 S., 47	Ж F	Острый миелоидный лейкоз в стадии ремиссии за 5 лет до обследования Acute myeloid leukemia in remission 5 yrs before examination	OU	Хориоидея + ЦТ Choroid + CB	+	+	2,3/11,1	—	T F
Н., 39 N., 39	М M	Хроническая лимфома? Chronic lymphoma?	OD	ЦТ, аннулярный рост CB, annular growth	—	—	6/>21	—	O I
Р., 51	М M	—	OU	Хориоидея+ЦТ Choroid + CB	+	—	OD 4,5/>20	+	T F
Р., 53	М M	—	OD	Хориоидея+ЦТ Choroid + CB	+	—	6,2/18,6	—	O I
Л., 59	М M	—	OU	Радужка Iris	—	+	OD 1,46 OS 0,78	+	O I
В., 67	М M	Увеит? Uveitis?	OU	Хориоидея Choroid	—	—	Утолщение оболочек до 1 мм Thickening of the membranes up to 1 mm	+	T F
П., 52	М M	—	OS	Хориоидея Choroid	—	—	2,3/9,8	+	T F
М.,	М M	—	OD	Хориоидея Choroid	+	—	3,0/11,2	+	T F
Г.,	М M	—	OS	Хориоидея Choroid	—	—	1,8/6,9	+	—

Примечание. OD — правый глаз, OS — левый глаз, T — ТИАБ, O — отпечаток, ЦТ — цилиарное тело, М — мужчина, Ж — женщина, УЗБМ — ультразвуковая биомикроскопия.

Note. OD — right eye, OS — left eye, T — FNIB, O — imprint, CB — ciliary body, M — male, F — female, USBM — ultrasound biomicroscopy.



Рис. 1. Внутриглазная диффузная лимфома (обозначена синим кругом)
Fig. 1. Intraocular diffuse lymphoma (marked with a blue circle)

Рис. 2. Внутриглазная лимфома с гиперрефлективными мелкими фокусами
Fig. 2. Intraocular lymphoma with hyperreflective small foci

Таблица 2. Морфометрические биомаркеры внутриглазной лимфомы
Table 2. Morphometric biomarkers of intraocular lymphoma

Уровень поражения внутренних оболочек глаза Level of damage to the inner membranes of the eye	Морфометрические биомаркеры Morphometric biomarkers
Стекловидное тело Vitreous	Мелкие гиперрефлективные фокусы в задних слоях Small hyperreflective foci in posterior layers
Сетчатка Retina	
Внутренняя Inner	Волнообразные изменения, точечные гиперрефлективные скопления Wave-like changes, punctate hyperreflective clusters
Средняя Medium	Обширная диффузная отслойка нейроэпителия Extensive diffuse detachment of neuroepithelium
Наружная Outer	Выраженная дезорганизация ретинального пигментного эпителия, волнообразные изменения, множественные гиперрефлективные фокусы на уровне слоя фоторецепторов, гиперрефлективные инфильтраты Marked disorganization of retinal pigment epithelium, wave-like changes, multiple hyperreflective foci at the level of the photoreceptor layer, hyperreflective infiltrates
Хориоидальный профиль Choroidal profile	Волнообразный Wave-like
Хориоидея Choroid	
Внутренняя Inner	Точечные гиперрефлективные скопления Punctate hyperreflective clusters
Средняя Medium	Диффузное расширение Diffuse expansion

Диагностировано волнообразное изменение хориоидального профиля, точечные гиперрефлективные скопления на уровне внутренней хориоидеи, диффузное расширение хориоидеи (табл. 2, рис. 3).

С помощью ОКТ удалось провести динамический контроль за внутриглазным очагом через 6 мес после первичной диагностики. Определяли убедительное нарастание указанных симптомов. Так, отмечали увеличение высоты от-

слойки нейроэпителия, высоты волнообразной бугристости хориоидеи и расширение хориоидеи, что свидетельствовало о прогрессирующем характере поражения внутренних оболочек глаза (рис. 4).

Результаты органосохранной диагностики (ТИАБ и отпечатка) показали обилие лимфоидных элементов малых и средних размеров, диффузно расположенных, среди которых превалировали малые лимфоциты, пролимфоциты, клетки

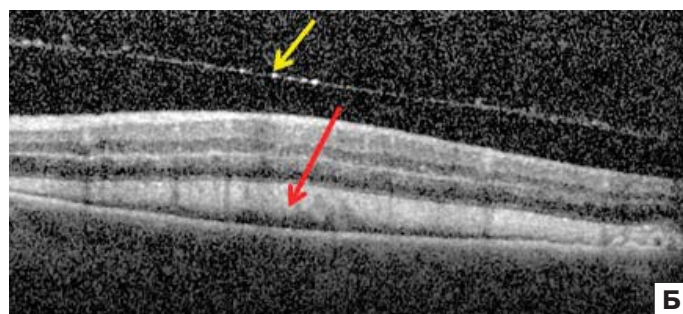
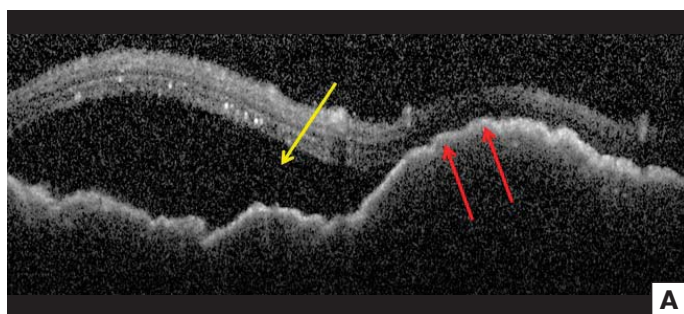


Рис. 3. ОКТ-скан внутриглазной лимфомы: А — волнообразные изменения внутренних слоев сетчатки (указаны красными стрелками), высокая отслойка нейроретина (желтая стрелка); Б — гиперрефлективный инфильтрат в наружных слоях сетчатки (красная стрелка), точечные гиперрефлективные скопления на уровне задних отделов стекловидного тела (желтая стрелка)

Fig. 3. OCT scan of intraocular lymphoma: A — wave-like changes in the inner layers of the retina (indicated by red arrows), high detachment of the neuroepithelium (indicated by the yellow arrow); Б — hyperreflective infiltrate in the outer layers of the retina (indicated by the red arrow), point hyperreflective accumulations at the level of the posterior vitreous body (indicated by the yellow arrow)

с округлым ядром и характерной «пятнистостью» хроматина, узким ободком цитоплазмы. Единичные разрозненные более крупные клетки — лимфобласты (рис. 5).

Для уточнения диагноза и определения принадлежности к Т- или В-клеточной линии лимфомы проведено ИЦХ-исследование. Выявлена положительная экспрессия специфических маркеров CD19 и CD20, проявляющаяся коричневой окраской цитоплазмы клеток, что подтверждало В-клеточную природу опухоли (рис. 6).

Все больные направлены на консультацию к гематологу.

ОБСУЖДЕНИЕ

Дифференциальная диагностика внутриглазных новообразований представляет значительные сложности в повседневной клинической практике врача-офтальмолога в связи со схожестью клинической картины и бессимптомностью течения. Именно беспигментные опухоли сосудистой оболочки глаза, такие как меланома, гемангиома, метастатическая карцинома вызывают трудности дифференциальной диагностики с внутриглазной лимфомой [17, 18]. По данным литературы, большинство первичных (интраокулярных) лимфом — опухоли высокой степени злокачественности [1, 2]. Учитывая диффузную инфильтрацию сосудистой оболочки, частично склеры и сетчатки глаза опухолевыми клетками типа иммунобластов [7], в последние десятилетия в диагностике внутриглазных опухолей стали использовать новые лабораторные методы исследования, такие как комбинированное цитологическое и ИЦХ-исследования, молекулярная полимеразная цепная реакция (ПЦР) [19], геномное секвенирование с выявлением мутаций в гене MYD88 и определение цитокинового статуса с акцентом на соотношение IL10/IL6 (при внутриглазной лимфоме) [16]. В нашем исследовании

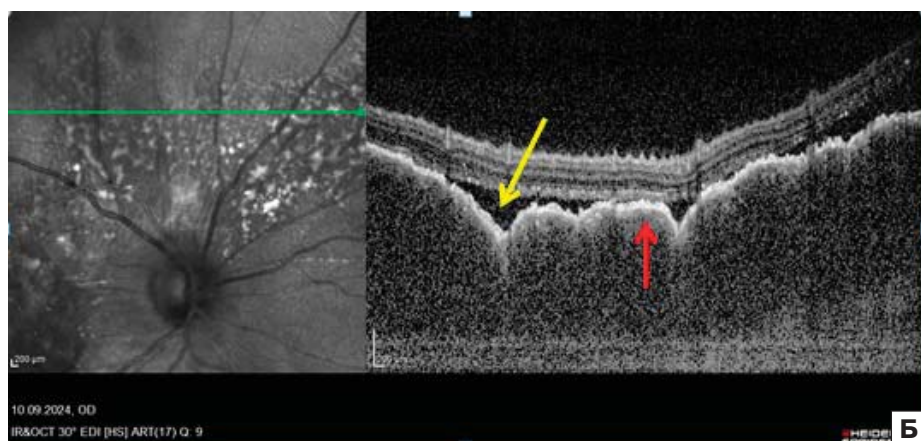
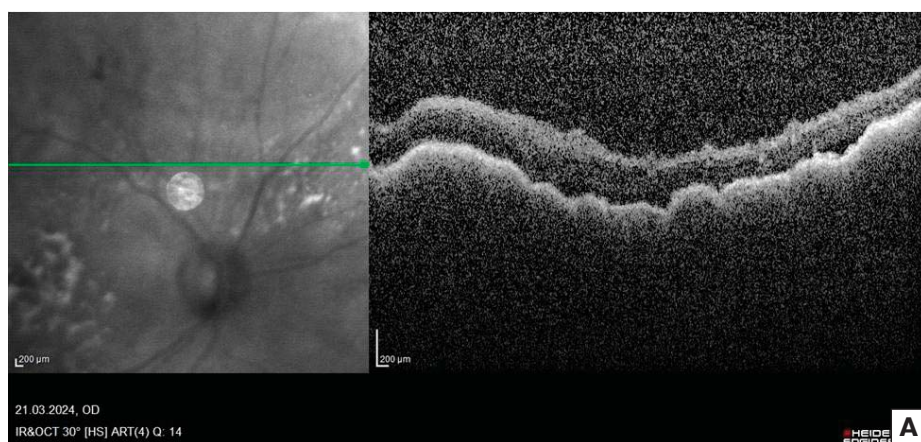


Рис. 4. ОКТ-сканы первичной (А) и в динамике через 6 мес (Б): увеличение отслойки нейроретина (красная стрелка), высоты волнообразных бугров (желтая стрелка) внутриглазной лимфомы

Fig. 4. OCT scans of primary (A) and dynamic 6-month follow-up (B): increase in neuroepithelial detachment (indicated by the red arrow), height of undulating tubercles (indicated by the yellow arrow) intraocular lymphoma

в качестве первичной диагностики с помощью комбинированного цитологического и ИЦХ-исследования доказана принадлежность внутриглазной опухоли к В-клеточной лимфоме во всех случаях.

Арсенал диагностических мероприятий, которым может воспользоваться врач-офтальмолог, достаточно широк. Однако, несмотря на многочисленные методы, диагноз

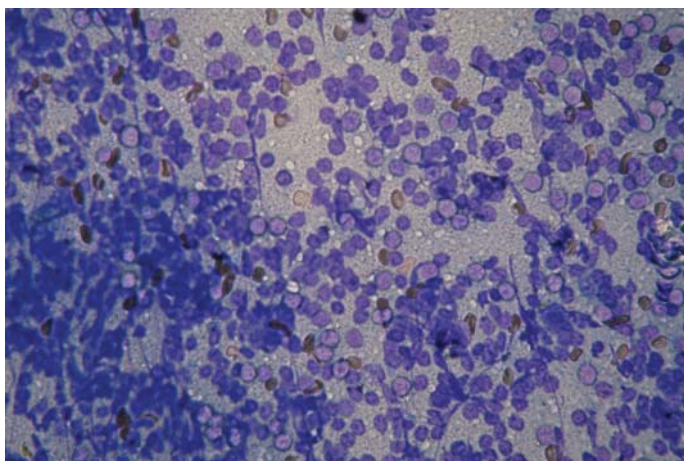


Рис. 5. Цитограмма внутриглазной лимфомы. Окраска по Паппенгейму, увеличение 20

Fig. 5. Cytogram of intraocular lymphoma. Papanicolaou staining, magnification 20

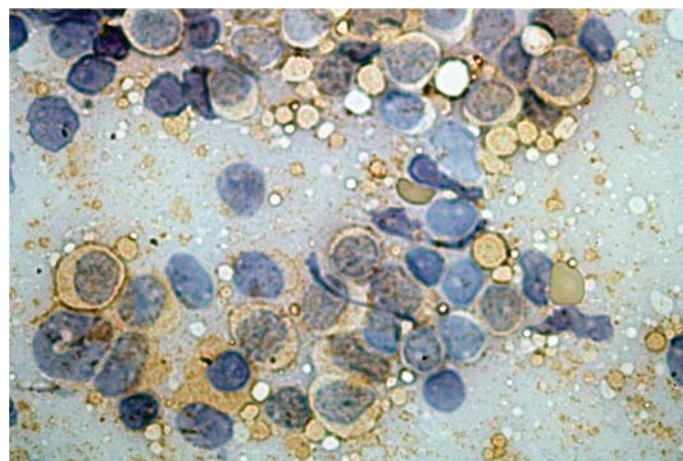


Рис. 6. Иммуноцитохимическое исследование внутриглазной лимфомы. Маркер CD 20. Окраска по Паппенгейму, увеличение 100

Fig. 6. Immunocytochemical study of intraocular lymphoma. CD 20 marker. Papanicolaou staining, magnification 100

внутриглазной лимфомы продолжает оставаться загадкой для исследования в связи с наличием так называемого маскарального синдрома [20]. В последние десятилетия появились высокоинформативные морфометрические методы исследования, позволяющие диагностировать внутриглазные опухоли различного генеза. Ранее нами были определены признаки, характерные для меланомы хориоидеи (дугообразное изменение хориоидального профиля, гиперрефлективная полоса на уровне внутренней хориоидеи, кистовидный ретиальный отек), гемангиомы хориоидеи (дугообразное изменение хориоидального профиля, сегментарные отслойки нейроэпителия и округлые полости на уровне внутренней хориоидеи) и метастаза в хориоидею (мелкобугристое изменение хориоидального профиля, отслойка ретиального пигментного эпителия и нейроэпителия и визуализация хорио-склерального интерфейса [21, 22]. В настоящей работе выявлены морфометрические особенности внутриглазных лимфом, позволяющие дифференцировать их от вышеуказанных опухолей сосудистой оболочки глаза.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Беспигментные внутриглазные опухоли неясного генеза должны настораживать врача-офтальмолога первичного звена в отношении наличия лимфомы. Следует отметить, что среди всех клинко-инструментальных методов обследования решающее значение при данной патологии приобретают ОКТ и ТИАБ. В комплекс обследований необходимо включать, помимо УЗИ, ОКТ для выявления морфометрических биомаркеров лимфомы. При непрозрачных оптических средах органосохранная диагностика (ТИАБ и отпечаток) дает возможность получить диагноз лимфомы и определить ее принадлежность к наиболее злокачественному В-клеточному типу. Перечисленные выше меры позволяют проводить раннюю маршрутизацию пациента к врачу-гематологу для определения дальнейшей тактики лечения.

Литература/References

1. Гришина Е.Е., Гузенко Е.С. Первичные неходжкинские лимфомы органа зрения. Влияние метода лечения на прогноз. *Офтальмология*. 2013; 10 (1): 41–6. [Grishina E.E., Guzenko E.S. Primary non-Hodgkins lymphoma of eye and adnexa. Effect of method of treatment for prognosis. *Ophthalmology in Russia*. 2013; 10 (1): 41–6 (In Russ.)]. doi: 10.18008/1816-5095-2013-1-41-46
2. Бровкина А.Ф., Гришина Е.Е. Злокачественная (неходжкинская) лимфома органа зрения. *Вестник офтальмологии*. 2009; 125 (1): 58–60.

- [Brovkina A.F., Grishina E.E. Malignant (non-Hodgkin's) lymphoma of the eye. *Vestnik oftal'mologii*. 2009; 125 (1): 58–60 (In Russ.)].
3. Саакян С.В., Амирян А.Г., Андреева Т.А. и др. Неходжкинская лимфома (случай сочетанного поражения глаз и орбиты). *Вестник офтальмологии*. 2015; 131 (3): 82–9. [Saakyan S.V., Amiryany A.G., Andreeva T.A., et al. Non-Hodgkin lymphoma (a case of simultaneous ocular and orbital involvement). *Vestnik oftal'mologii*. 2015; 131 (3): 82–9 (In Russ.)]. doi: 10.17116/oftalma2015131382-89
4. Саакян С.В., Вальский В.В., Мякошина Е.Б. и др. Неходжкинские лимфомы орбиты. *Опухоли головы и шеи*. 2012; 2: 45–7. [Saakyan S.V., Valsky V.V., Myakoshina E.B., et al. Orbital non-Hodgkin's lymphomas. *Head and neck tumors*. 2012; 2: 45–7 (In Russ.)]. doi: 10.17650/2222-1468-2012-0-2-45-47
5. Гришина Е.Е., Андриухина О.М., Рябцева А.А. и др. Изолированное поражение зрительного нерва и сетчатки как проявление рецидива MALT-лимфомы с трансформацией в диффузную В-крупноклеточную лимфому. *Вестник офтальмологии*. 2020; 136 (5): 109–14. [Grishina E.E., Andryukhina O.M., Ryabtseva A.A., et al. Isolated lesion of the optic nerve and retina as a relapse of MALT lymphoma transforming into diffuse B-large cell lymphoma. *Vestnik oftal'mologii*. 2020; 136 (5): 109–14 (In Russ.)]. doi: 10.17116/oftalma2020136051109
6. Cunningham ET, Miserocchi E, Smith JR, et al. Intraocular Lymphoma. *Ocul Immunol Inflamm*. 2021; 29 (3): 425–9. doi: 10.1080/09273948.2021.1941684
7. Tang LJ, Gu CL, Zhang P. Intraocular lymphoma. *Int J Ophthalmol* 2017; 10 (8): 1301–7. doi: 10.18240/ijo.2017.08.19
8. Goedbloed J. A case of retheliosarcoma with intraocular extension. *Ophthalmologica*. 1953; 126 (3): 184–5.
9. Sen HN, Bodaghi B, Hoang PL, Nussenblatt R. Primary intraocular lymphoma: diagnosis and differential diagnosis. *Ocul Immunol Inflamm*. 2009; 17 (3): 133–41. doi: 10.1080/09273940903108544
10. Kalogeropoulos D, Vartholomatos G, Mitra A, et al. Primary vitreoretinal lymphoma. *Saudi J Ophthalmol*. 2019; 33 (1): 66–80. doi: 10.1016/j.sjopt.2018.12.008
11. Huang D, Swanson EA, Lin CP, et al. Optical coherence tomography. *Science*. 1991; 254 (5035): 1178–81. doi: 10.1126/science.1957169
12. Тропинская О.Ф., Серова Н.К., Елисеева Н.М. Возможности оптической когерентной томографии в диагностике ретиальных лимфом. *Вестник офтальмологии*. 2022; 138 (6): 14–9. [Tropinskaya O.F., Serova N.K., Eliseeva N.M. Use of optical coherence tomography in diagnosis of retinal lymphomas. *Vestnik oftal'mologii*. 2022; 138 (6): 14–9 (In Russ.)]. doi: 10.17116/oftalma202213806114
13. Goto H, Umazume K, Usui Y, Nishikawa N. Clinical features and multimodal imaging of primary choroidal lymphoma. *Jpn J Ophthalmol*. 2024; 68 (6): 722–30. doi: 10.1007/s10384-024-01102-1
14. Kaya M, Öner FH, Lebe B, et al. Challenges in the diagnosis of intraocular lymphoma. *Turk J Ophthalmol*. 2021; 51 (5): 317–25. doi: 10.4274/tjo.galenos.2021.50607
15. Саакян С.В., Жильцова М.Г., Бородин Ю.И., Цыганков А.Ю. Комплексная клинко-цитологическая диагностика эпителиальных опухолей придаточного аппарата глаза. *Российский офтальмологический журнал*. 2024; 17 (2): 68–73. [Saakyan S.V., Zhiltsova M.G., Borodin Yu.I., Tsygankov A.Yu. Complex clinical and cytological diagnosis of eye adnexa epithelial tumors.

- Russian ophthalmological journal*. 2024; 17 (2): 68–73 (In Russ.)). <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2024-17-2-68-73>
16. Corrêa ZM, Augsburger JJ. Indications for fine needle aspiration biopsy of posterior segment intraocular tumors. *Am J Ophthalmol*. 2019; 207: 45–61. doi: 10.1016/j.ajo.2019.05.018
 17. Бровкина А.Ф. Дифференциальная диагностика меланомы хориоидеи. *Офтальмологические ведомости*. 2008; 1 (4): 68–76. [Brovkina A.F. Differential diagnosis of choroidal melanoma. *Ophthalmology reports*. 2008; 1 (4): 68–76 (In Russ.)].
 18. Мякошина Е.Б. Комплексная диагностика начальной меланомы хориоидеи. *Российский электронный журнал лучевой диагностики*. 2016; 6 (4): 19–28. [Myakoshina E.B. Complex diagnostics of early choroidal melanoma. *Russian electronic journal of radiology*. 2016; 6 (4): 19–28 (In Russ.)]. doi: 10.21569/2222-7415-2016-6-4-19-28
 19. Цыганков А.Ю., Саакян С.В., Мякошина Е.Б. и др. Минимально инвазивная дифференциальная диагностика меланоцитарных внутриглазных новообразований. *Российский офтальмологический журнал*. 2023; 16 (4): 105–12. [Tsygankov A.Yu., Saakyan S.V., Myakoshina E.B., et al. Minimally invasive differential diagnosis of melanocytic intraocular neoplasms. *Russian ophthalmological journal*. 2023; 16 (4): 105–12 (In Russ.)]. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2023-16-4-105-112>
 20. Залуцкий И.В., Науменко Л.В., Возмитель М.В. и др. Сложность диагностики злокачественных внутриглазных лимфом или «маскарадный синдром» в диагностике внутриглазных злокачественных лимфом. *Новости хирургии*. 2011; 19 (11): 122–4. [Zalutsky I.V., Naumenko L.V., Vozmitel M.V., et al. Diagnostic complexity of malignant intraocular lymphomas or the ‘masquerade syndrome’ in the diagnosis of intraocular malignant lymphomas. *Surgery news*. 2011; 19 (11): 122–4 (In Russ.)].
 21. Мякошина Е.Б., Саакян С.В. Оптическая когерентная томография в диагностике начальной меланомы хориоидеи. *Вестник офтальмологии*. 2020; 136 (1): 56–64. [Myakoshina E.B., Saakyan S.V. Optical coherence tomography in diagnostics of small choroidal melanoma. *Vestnik oftal'mologii*. 2020; 136 (1): 56–64 (In Russ.)]. doi: 10.17116/oftalma202013601156
 22. Бровкина А.Ф., Стоюхина А.С., Мусаткина И.В. Оптическая когерентная томография в диагностике начальных меланом хориоидеи. *Вестник офтальмологии*. 2016; 132 (5): 23–34. [Brovkina A.F., Stoiukhina A.S., Musatkina I.V. Diagnostic potential of optical coherence tomography for small choroidal melanomas. *Vestnik oftal'mologii*. 2016; 132 (5): 23–34 (In Russ.)]. doi: 10.17116/oftalma2016132523-34

Вклад авторов в работу: С.В. Саакян — концепция исследования, сбор данных, научное редактирование статьи; Е.Б. Мякошина, А.Ю. Цыганков — сбор и обработка данных, написание статьи; М.Г. Жильцова — проведение цитологических и иммуноцитохимических исследований, написание статьи.

Author's contribution: S.V. Saakyan — study concept, data collection, scientific editing of the article; E.B. Myakoshina, A.Yu. Tsygankov — data collection, writing of the article; M.G. Zhiltsova — performing cytological and immunocytochemistry study, writing of the article.

Поступила: 05.01.2026. Переработана: 06.02.2026. Принята к печати: 09.02.2026

Originally received: 05.01.2026. Final revision: 06.02.2026. Accepted: 09.02.2026

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ/INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

¹ ФГБУ «НМИЦ глазных болезней им. Гельмгольца» Минздрава России, ул. Садовая-Черногрозская, д. 14/19, Москва, 105062, Россия

² ФГБОУ ВПО «Российский университет медицины» Минздрава России, ул. Долгоруковская, д. 4, Москва, 127006, Россия

Светлана Владимировна Саакян — д-р мед. наук, профессор, член-корреспондент РАН, начальник отдела офтальмоонкологии и радиологии¹, заведующая учебной частью кафедры глазных болезней лечебного факультета НОИ Клинической медицины им. Н.А. Семашко², ORCID 0000-0001-8591-428X

Елена Борисовна Мякошина — д-р мед. наук, старший научный сотрудник отдела офтальмоонкологии и радиологии, доцент кафедры глазных болезней¹, ORCID 0000-0002-2087-7155

Марина Георгиевна Жильцова — канд. биол. наук, старший научный сотрудник отдела офтальмоонкологии и радиологии¹

Александр Юрьевич Цыганков — канд. мед. наук, научный сотрудник отдела офтальмоонкологии и радиологии¹, ассистент кафедры глазных болезней НОЦ НПО им. Н.Д. Юшук², ORCID 0000-0001-9475-3545

Для контактов: Елена Борисовна Мякошина, myakoshina@mail.ru

¹ Helmholtz National Medical Research Center of Eye Diseases, 14/19, Sadovaya-Chernogryazskaya St., Moscow, 105062, Russia

² Russian university of Medicine, 4, Dolgorukovskaya St., Moscow, 127006, Russia

Svetlana V. Saakyan — Dr. of Med. Sci., professor, corresponding member of RAS, head of ocular oncology and radiology department¹, head of the academic department of chair of eye diseases of N.A. Semashko National Research Institute of clinical medicine², ORCID 0000-0001-8591-428X

Elena B. Myakoshina — Dr. of Med. Sci., senior researcher of ocular oncology and radiology department, assistant professor, chair of eye diseases¹, ORCID 0000-0002-2087-7155

Marina G. Zhiltsova — Cand. of Biol. Sci., senior research of ocular oncology and radiology department¹

Alexander Yu. Tsygankov — Cand. of Med. Sci., researcher of ocular oncology and radiology department¹, assistant of chair of eye diseases², ORCID 0000-0001-9475-3545

Для контактов: Elena B. Myakoshina, myakoshina@mail.ru



<https://doi.org/10.21516/2072-0076-2026-19-2-140-144>

Новые возможности в диагностике увеитов

С.В. Сахарова^{1,2✉}, А.А. Измайлова¹, М.Н. Пономарева¹, И.М. Петров¹,
Н.А. Курлович¹, Д.И. Бояринцев¹, О.А. Любимцева¹, В.К. Куколева³

¹ ФГБОУ ВО «Тюменский государственный медицинский университет» Минздрава России, ул. Одесская, д. 54, Тюмень, 625023, Россия

² ГБУЗ ТО «Областная клиническая больница № 2», ул. Мельникайте, д. 75, Тюмень, 625039, Россия

³ ГАУЗ ТО «Городская поликлиника № 12», ул. Народная, д. 6/1, Тюмень, 625046, Россия

Цель работы — обосновать диагностическую ценность показателей общего анализа крови в диагностике этиологии увеитов. **Материал и методы.** Проспективно обследованы 88 пациентов с диагнозом «увеит», находившихся на стационарном лечении. Пациенты разделены на 3 группы, сопоставимые по полу и возрасту, в зависимости от этиологии: 1-я группа ($n = 28$) — с неясной этиологией, 2-я группа ($n = 28$) — с вирусной этиологией, 3-я группа ($n = 32$) — с установленным диагнозом «анкилозирующий спондилоартрит». **Результаты.** Обнаружена диагностическая информативность уровня лимфоцитов. Достоверная разница между 1-й и 2-й группами выявлена в содержании нейтрофилов ($p = 0,0000$) и тромбоцитов ($p = 0,0242$). Сравнение 1-й и 3-й групп показало различие уровня лейкоцитов ($p = 0,0020$), нейтрофилов ($p = 0,0000$) и размера эритроцитов ($p = 0,0446$). Достоверную диагностическую ценность в этиологии увеитов показали интегральные индексы: сдвиг лейкоцитов, соотношение нейтрофилов к лимфоцитам, системный воспалительный ответ адаптированный, маркер вирусных инфекций. Изучение интегральных индексов обнаружило ожидаемые и статистически значимые различия между группами. **Заключение.** Врачу-офтальмологу при назначении этиопатогенетического лечения увеальному пациенту необходимо ориентироваться не только на показатели клинического анализа крови, но и в большей степени на интегральные индексы периферической крови.

Ключевые слова: увеит; интегральные индексы; общий клинический анализ крови

Конфликт интересов: отсутствует.

Прозрачность финансовой деятельности: никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

Для цитирования: Сахарова С.В., Измайлова А.А., Пономарева М.Н., Петров И.М., Курлович Н.А., Бояринцев Д.И., Любимцева О.А., Куколева В.К. Новые возможности в диагностике увеитов. Российский офтальмологический журнал. 2026; 19 (2): 140-4. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2026-19-2-140-144>

New diagnostic opportunities for uveitis

Svetlana V. Sakharova^{1,2✉}, Anastasia A. Izmailova¹, Maria N. Ponomareva¹, Ivan M. Petrov¹,
Nikolay A. Kurlovich¹, Daniel I. Boyarintsev¹, Oksana A. Lyubimtseva¹, Varvara K. Kukoleva³

¹ Tyumen State Medical University of the Russian Ministry of Health, 54 Odesskaya St., Tyumen, 625023, Russia

² Regional Clinical Hospital No. 2, 75, Melnikayte St., Tyumen, 625039, Russia.

³ City Polyclinic No. 12, 6/1, Narodnaya St., Tyumen, 625046, Russia
saharova_sv72@mail.ru

Purpose — to substantiate the diagnostic value of general blood test indicators in the diagnosis of the etiology of uveitis. **Material and methods.** A total of 88 inpatients diagnosed with uveitis were prospectively examined. Patients were divided into three age- and gender-matched groups based on etiology. Group 1 ($n = 28$) included patients with unclear etiology. Group 2 ($n = 28$) included patients with viral etiology. Group 3 ($n = 32$) included patients with an established diagnosis of ankylosing spondylitis. **Results.** According to our study, lymphocytes play the most important role in providing information. A significant difference in the parameters between groups 1 and 2 was found for neutrophils ($p = 0.0000$) and platelets ($p = 0.0242$). When comparing groups 1 and 3, the parameters of leukocytes ($p = 0.0020$), neutrophils ($p = 0.0000$), and the size of erythrocytes, fl ($p = 0.0446$) were noted. The following integral indices showed significant diagnostic

value in the etiology of uveitis: leukocyte shift, neutrophil-to-lymphocyte ratio, adapted systemic inflammatory response, and a marker of viral infections. When studying the integral indices, the expected and statistically significant differences between the groups were recorded. **Conclusion.** When prescribing etiopathogenetic treatment for a uveal patient, an ophthalmologist should focus not only on the results of a clinical blood test, but also on the integral indices of peripheral blood.

Keywords: uveitis; integral indices; general clinical blood test

Conflict of interest: there is no conflict of interests.

Financial disclosure: no author has a financial or property interest in any material or method mentioned.

For citation: Sakharova S.V., Izmailova A.A., Ponomareva M.N., Petrov I.M., Kurlovich N.A., Boyarintsev D.I., Lyubimtseva O.A., Kukoleva V.K. New diagnostic opportunities for uveitis. Russian ophthalmological journal. 2026; 19 (2):140-4 (In Russ.). <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2026-19-2-140-144>

На протяжении многих лет офтальмологи сталкиваются с крайне сложной и упорной проблемой — увеитом. Увеит — это воспаление сосудистой оболочки глаза, имеющее широкий спектр этиологических факторов [1, 2]. Большинство случаев увеита (от 31,5 до 82,9 %) имеют неинфекционную природу, тогда как инфекционные формы встречаются реже (от 13,0 до 54,7 %). Установление точного диагноза требует тщательного анализа анамнеза, сопутствующих системных заболеваний, данных физикального осмотра, а также результатов лабораторных и инструментальных исследований. Однако, несмотря на прогресс в диагностике, в 30–50 % случаев причина увеита остается неустановленной после неинвазивных методов, что приводит к эмпирическому назначению лечения [3, 4]. Главная цель местного лечения неинфекционного увеита — подавить воспаление и предотвратить дальнейшее повреждение глаза, особенно при поражении переднего отдела. Однако, когда увеит затрагивает задние отделы глаза (срединный, задний или генерализованный), местное лечение редко бывает достаточным из-за ограниченного проникновения лекарств в ткани. Тем не менее оно остается важным дополнением к другим методам. Исключение составляют местные нестероидные противовоспалительные препараты (НПВП), например бромфенак 0,09 % (Броксинак®, Сентисс), которые показали способность достигать терапевтических концентраций в сетчатке после закапывания [5, 6]. Броксинак® благодаря его оптимально разработанной фармацевтической композиции показал пиковые концентрации в переднем и заднем отрезках глаза, превышающие таковые при применении содержащих бромфенак аналогов, зарегистрированных на рынке РФ. Современное лечение часто включает системные кортикостероиды, инъекции в глаз, имплантаты и иммуносупрессивную терапию. Несмотря на это, местная терапия остается ценным неинвазивным подходом, особенно для пациентов, которым противопоказаны системные или инвазивные методы. Врачи должны тщательно подбирать местное лечение, чтобы оно было максимально эффективным и безопасным [7, 8]. Актуальной задачей остается выявление в наиболее короткие сроки патологического агента, который может быть как непосредственной причиной инфекционного увеита, так и триггером для неинфекционного процесса [3]. Это является ключевым фактором эффективности проводимой терапии и профилактики осложнений данной патологии.

В настоящее время для диагностики заболеваний все чаще находят применение интегральные маркеры, рассчитываемые по показателям общего анализа крови (ОАК). Активно изучаются индексы: отношение нейтрофилов к лимфоцитам (ОНЛ), отношение тромбоцитов к лимфоцитам (ОТЛ), отношение моноцитов к лимфоцитам (ОМЛ). ОНЛ обладает прогностической ценностью при оценке риска возникнове-

ния сердечно-сосудистых заболеваний, определяет тяжесть сердечной недостаточности, может использоваться для определения эффективности терапии [9]. Для диагностики кризисных состояний у пациентов с хронической обструктивной болезнью легких применяются ОНЛ, ОТЛ, ОМЛ [10]. Согласно 23 проведенным исследованиям, ОНЛ и ОТЛ являются эффективными биомаркерами для определения степени активности воспалительных заболеваний кишечника и предоставляют ценную информацию для принятия клинических решений в отношении лечения пациентов [11]. Для диагностики ревматоидного артрита используются ОНЛ и ОТЛ, а на активность процесса указывает только ОНЛ [12]. ОНЛ и ОТЛ показали свою перспективность и при системной красной волчанке (СКВ). Эти параметры крови обладают высокой диагностической ценностью для определения наличия СКВ, выявления поражения почек (ОНЛ) и оценки активности заболевания (ОТЛ) [13]. Интегральные маркеры могут выступать и в роли предварительных индикаторов неблагоприятного исхода при сепсисе [14, 15].

ЦЕЛЬ работы — обосновать диагностическую ценность показателей гемограммы в диагностике этиологии увеитов.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В исследование вошли данные 88 пациентов, госпитализированных в офтальмологическое отделение в 2024 г. с клинически подтвержденным увеитом, которые дали информированное согласие на участие. Для выявления возможных очагов персистирующей инфекции все пациенты прошли комплексное обследование, включающее консультации офтальмолога, терапевта, ревматолога, специалиста по функциональной диагностике, инфекциониста, отоларинголога и стоматолога. Возраст пациентов, в том числе 52 (59,1 %) мужчины и 36 (49,9 %) женщины, составлял 47,17 [19; 90] года. В данное исследование не включались лица с травматическими повреждениями органа зрения; в послеоперационном периоде после офтальмохирургии; с активными инфекциями (туберкулез, токсоплазмоз, токсокароз, сифилис); саркоидозом; наследственными офтальмопатиями; с гемобластозом. Пациенты были распределены на три группы, сформированные таким образом, чтобы обеспечить сопоставимость по половому и возрастному составу (табл. 1).

Первая группа (n = 28) состояла из пациентов с увеитом неясной этиологии (включая возможный идиопатический), у которых методом ИФА получены отрицательные результаты на IgM к вирусам простого герпеса 1-го, 2-го типа, цитомегаловирусу и вирусу Эпштейна — Барр. Вторая группа (n = 28) включала пациентов с увеитом, у которых лабораторно (положительный ИФА на IgM) подтвержден активный вирус простого герпеса 1-го, 2-го типа. Третья группа (n = 32) сформирована из пациентов с диагнозом «анкилозирующий спондилоартрит» (СПА).

Офтальмологическое обследование включало визометрию (стандартное освещение), кинетическую периметрию, биомикроскопию переднего отрезка и придатков, офтальмоскопию (прямую и обратную) в условиях мириаза, биомикроскопию глазного дна с линзой 78D, тонометрию

Таблица 1. Сравнительная характеристика исследуемых групп (Me [Q₁; Q₃])
Table 1. Comparative characteristics of the study groups (Me [Q₁; Q₃])

Показатель Indicator	1-я группа 1 group n = 28	2-я группа 2 group n = 28	3-я группа 3 group n = 32	p
Возраст, лет Age, years	47,5 [20; 90]	50,75 [19; 77]	43,75 [20; 74]	p ₁₋₂ = 0,4844 p ₁₋₃ = 0,3757 p ₂₋₃ = 0,0623
Мужчины Men	15 (53,6 %)	14 (50,0 %)	23 (71,9 %)	p ₁₋₂ = 0,793 p ₁₋₃ = 0,1470 p ₂₋₃ = 0,0846
Койко-дни Bed days	10,82 [5; 28]	10,29 [6; 18]	9,03 [5; 14]	p ₁₋₂ = 0,6339 p ₁₋₃ = 0,0764 p ₂₋₃ = 0,0600

Примечание. n — количество пациентов.
Note. n — number of patients.

Таблица 2. Параметры клинического анализа крови, M ± m
Table 2. Parameters of the clinical blood test, M ± m

Анализируемый показатель The analyzed indicator	1-я группа 1 group n = 28	2-я группа 2 group n = 28	3-я группа 3 group n = 32	p
Эритроциты, ×10 ¹² /л Red blood cells, ×10 ¹² /l	4,868 ± 0,500	4,77 ± 0,54	4,814 ± 0,500	p ₁₋₂ = 0,5042 p ₁₋₃ = 0,6799 p ₂₋₃ = 0,7722
Гемоглобин, г/л Hemoglobin, g/l	142,8 ± 14,1	138,10 ± 15,23	144,0 ± 14,0	p ₁₋₂ = 0,2736 p ₁₋₃ = 0,6158 p ₂₋₃ = 0,0865
Тромбоциты, ×10 ⁹ /л Platelets, ×10 ⁹ /l	268,8 ± 74,7	319,70 ± 88,91	286,3 ± 79,8	p ₁₋₂ = 0,0242 p ₁₋₃ = 0,3858 p ₂₋₃ = 0,1391
Гематокрит, % Hematocrit, %	43,50 ± 4,36	42,50 ± 4,04	43,22 ± 4,07	p ₁₋₂ = 0,6400 p ₁₋₃ = 0,8778 p ₂₋₃ = 0,0599
Лейкоциты, ×10 ⁹ /л White blood cells, ×10 ⁹ /l	10,83 ± 3,70	9,51 ± 2,56	8,43 ± 1,87	p ₁₋₂ = 0,1270 p ₁₋₃ = 0,0020 p ₂₋₃ = 0,0630
Эозинофилы, % Eosinophils, %	1,81 ± 1,38	2,55 ± 1,80	2,93 ± 3,21	p ₁₋₂ = 0,0989 p ₁₋₃ = 0,0937 p ₂₋₃ = 0,0583
Базофилы, % Basophils, %	0,396 ± 0,180	0,50 ± 0,37	0,36 ± 0,18	p ₁₋₂ = 0,2649 p ₁₋₃ = 0,5898 p ₂₋₃ = 0,0603
Нейтрофилы, % Neutrophils, %	74,94 ± 9,83	59,12 ± 9,27	62,70 ± 9,24	p ₁₋₂ = 0,00001 p ₁₋₃ = 0,00001 p ₂₋₃ = 0,1182
Лимфоциты, % Lymphocytes, %	16,93 ± 7,52	31,89 ± 7,18	27,29 ± 8,27	p ₁₋₂ = 0,00001 p ₁₋₃ = 0,00001 p ₂₋₃ = 0,0465
Моноциты, % Monocytes, %	5,92 ± 2,39	6,59 ± 1,53	6,72 ± 2,24	p ₁₋₂ = 0,2320 p ₁₋₃ = 0,1940 p ₂₋₃ = 0,7862
Размер эритроцитов, фл Red blood cell size, fl	44,81 ± 4,72	46,81 ± 6,21	47,39 ± 4,97	p ₁₋₂ = 0,1808 p ₁₋₃ = 0,0446 p ₂₋₃ = 0,68
Размер эритроцитов, % Red blood cell size, %	13,09 ± 1,05	12,96 ± 1,05	13,12 ± 1,04	p ₁₋₂ = 0,6324 p ₁₋₃ = 0,9152 p ₂₋₃ = 0,6066

по Маклакову. Классификация увеитов проводилась по системе SUN (Standardization of Uveitis Nomenclature, 2005).

При поступлении в стационар всем пациентам был выполнен ОАК. На основе полученных данных рассчитывали интегральные индексы, позволяющие оценить различные аспекты состояния организма: маркер вирусных инфекций (МВИ), показатель иммунного ответа на вирусную инфекцию = лимфоциты % / моноциты %; индекс сдвига лейкоцитов (ИСЛ) = (эозинофилы % + базофилы % + палочкоядерные % + сегментоядерные % + миелоциты % + метамиелоциты %) / (моноциты % + лимфоциты %); индекс сдвига нейтрофильно-лимфоцитарный (ИСНЛ) — индикатор неспецифической защиты организма = нейтрофилы % / лимфоциты %; индекс тромбоцитарно-лимфоцитарный адаптированный (ИСТЛа) — индикатор неспецифической реактивности организма = тромбоциты (абсолютные цифры) / лимфоциты %; индекс системного воспалительного ответа адаптированный (ИСВОа) — биомаркер системной воспалительной реакции = (количество нейтрофилов % × количество моноцитов %) / количество лимфоцитов %; индекс системного иммунного воспаления адаптированный (ИСИВа) — показатель системного воспаления = количество нейтрофилов % × количество тромбоцитов (абсолютные цифры) / количество лимфоцитов %.

Исследование было одобрено этическим комитетом Тюменского ГМУ № 130 от 07 июня 2025 г.

Статистическая обработка данных проводилась с помощью программы STATISTICA (версия 10, лицензия № 4190051 от 05.03.2019).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Сравнение групп показало, что наиболее информативным показателем ОАК при увеитах является уровень лимфоцитов (табл. 2). Достоверная разница между 1-й и 2-й группами выявлена в содержании нейтрофилов (p = 0,0000) и тромбоцитов (p = 0,0242). При сравнении 1-й и 3-й групп отмечены различия в показателях лейкоцитов (p = 0,0020), нейтрофилов (p = 0,0000), в размере эритроцитов (p = 0,0446). Остальные показатели гемограммы не имели диагностической значимости.

Анализ интегральных индексов периферической крови обнаружил ожидаемые и статистически подтвержденные различия между исследуемыми группами (табл. 3).

При сравнении 2-й и 3-й групп не выявлено достоверных различий показателей МВИ (p = 0,4716), ИСТЛа (p = 0,4808) и ИСИВа (p = 0,4128) (табл. 3).

Неспецифические изменения в периферической крови часто отражают системные патологические процессы и служат количественным индикатором степени выраженности этих нарушений [9, 14, 16]. Информативность уровня лимфоцитов обусловлена их основной функцией — обеспечением специфического иммуните-

Таблица 3. Интегральные гематологические индексы, $M \pm m$
Table 3. Integral hematological indexes, $M \pm m$

Анализируемый показатель, норма The analyzed indicator, the norm	1-я группа 1 group n = 28	2-я группа 2 group n = 28	3-я группа 3 group n = 32	p
МВИ, $5,34 \pm 0,59$ MVI, $5,34 \pm 0,59$	$3,07 \pm 1,05$	$5,00 \pm 1,60$	$4,63 \pm 2,34$	$p_{1-2} = 0,00001$ $p_{1-3} = 0,0020$ $p_{2-3} = 0,4716$
ИСНЛ, $2,47 \pm 0,65$ у. е. NLSI, $2,47 \pm 0,65$ а. у.	$5,66 \pm 3,34$	$2,02 \pm 0,69$	$2,59 \pm 1,09$	$p_{1-2} = 0,00001$ $p_{1-3} = 0,00001$ $p_{2-3} = 0,022$
ИСТЛа, $63,15-191,34$ у. е. TLaI, $63,15-191,34$ а. у.	$23,94 \pm 8,78$	$10,99 \pm 4,86$	$11,66 \pm 5,70$	$p_{1-2} = 0,00001$ $p_{1-3} = 0,00001$ $p_{2-3} = 0,4808$
ИСВОба $< 0,86$ у. е. ISIRa $< 0,86$ а. у.	$28,39 \pm 13,45$	$13,21 \pm 5,32$	$16,96 \pm 8,42$	$p_{1-2} = 0,00001$ $p_{1-3} = 0,0001$ $p_{2-3} = 0,0472$
ИСИВа, $162-811$ у. е. ISIIa, $162-811$ а. у.	$1795,24 \pm 398,17$	$675,49 \pm 367,32$	$766,32 \pm 367,32$	$p_{1-2} = 0,00001$ $p_{1-3} = 0,00001$ $p_{2-3} = 0,4128$
ИСЛ, $1,9 \pm 0,3$ у. е. LSI, $1,9 \pm 0,3$ а. у.	$4,23 \pm 2,52$	$1,73 \pm 0,50$	$2,13 \pm 0,811$	$p_{1-2} = 0,00001$ $p_{1-3} = 0,00001$ $p_{2-3} = 0,0285$

Примечание. МВИ — маркер вирусных инфекций, ИСНЛ — индекс сдвига нейтрофильно-лимфоцитарный, ИСТЛа — индекс тромбоцитарно-лимфоцитарный адаптированный, ИСВОба — индекс системного воспалительного ответа адаптированный, ИСИВа — индекс системного иммунного воспаления адаптированный, ИСЛ — индекс сдвига лейкоцитов.
Note. MVI — marker of viral infections, NLSI — neutrophil-lymphocyte shift index, TLaI — thrombocyte-lymphocyte adapted index, ISIRa — index of systemic inflammatory response adapted, ISIIa — index of systemic immune inflammation adapted, LSI — leukocyte shift index.

та, отличающегося при разной этиологии процесса: бактериальной, вирусной и хронической аутоиммунной [12, 13]. Одной из функций тромбоцитов является регуляция местных воспалительных реакций и участие в иммунном ответе, в данном случае при воспалительном процессе в глазном яблоке (в 1-й и 2-й группах), и отсутствие данной взаимосвязи на фоне системного аутоиммунного заболевания СпА [14, 15].

Нейтрофилы являются частью врожденного иммунитета, их основная функция — фагоцитоз патогенных микроорганизмов (бактерий, грибов, простейших) [9, 15]. Увеличение абсолютного числа нейтрофилов при отсутствии подобной тенденции в других популяциях лейкоцитов является основанием для проведения более трудоемких исследований (прокальцитониновый тест) для обоснования бактериального происхождения воспалительного процесса. При подтверждении бактериального воспаления пациентам 1-й группы показана системная антибактериальная терапия, пациентам 2-й группы — системное противовирусное лечение. Пациентам с СпА необходима базисная терапия, и врачу-офтальмологу следует ориентироваться на показатели нейтрофилов, лимфоцитов, МВИ и ИСЛ для назначения этиопатогенетического лечения с момента постановки диагноза с целью профилактики хронизации увеального воспаления. Дополнительными критериями для назначения различных видов системной терапии могут служить показатели ИСНЛ, ИСВОба [11, 16]. Отсутствие достоверной разницы между 2-й и 3-й группой по МВИ связано с тем, что причиной увеального процесса на фоне хронического аутоиммунного воспаления может быть не только неэффективность базисной терапии основного заболевания, но и сопутствующая вирусная или иная инфекция [11, 12].

В формуле расчета ИСТЛа присутствуют тромбоциты (выражают активность воспалительного процесса)

и лимфоциты, количество которых увеличивается при наличии вирусной этиологии [13]. Вышеперечисленное свидетельствует о том, что неспецифическая реактивность организма значительно выше у пациентов, имеющих неясную этиологию увеального процесса, и практически не отличается у пациентов 2-й и 3-й группы, где присутствует вирусная этиология. Аналогичное изменение выявлено и по показателю системного воспаления.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование показало, что у пациентов, имеющих воспаление сосудистой оболочки глаза, наиболее информативным показателем клинического анализа крови является процентное содержание лимфоцитов. Их количество увеличивается при вирусной этиологии патологического процесса и достоверно отличается от групп пациентов с иной причиной заболевания. Врачу-офтальмологу при интерпретации показателей гемограммы сложно определить этиологию заболевания, особенно при наличии анкилозирующего спондилоартрита. Остальные показатели ОАК в сравниваемых группах менее информативны. Интеграль-

ные индексы крови, такие как МВИ, ИСЛ, ИСНЛ, ИСВОба, в большей степени обосновывают этиологию острого воспаления, особенности реактивности пациента, а также позволяют назначить системную антибактериальную или противовирусную терапию уже с момента госпитализации пациента.

Литература/References

1. Плеханов А.Н., Фомина А.С., Сверкунова О.П., Иванова Ю.В. Аутоиммунные увеиты. Обзор. Офтальмология. 2019; 16 (1): 5–11. [Plekhanov A.N., Fomina A.S., Sverkunova O.P., Ivanova Yu.V. Autoimmune uveitis. Review. *Ophthalmology*. 2019; 16 (1): 5–11 (In Russ.). doi: 10.18008/1816-5095-2019-1-5-11]
2. Чеснокова Н.Б., Катаргина Л.А., Павленко Т.А., Безнос О.В. Биомаркеры в слезной жидкости при увеите. Вестник офтальмологии. 2025; 141 (4): 88–95. [Chesnokova N.B., Katargina L.A., Pavlenko T.A., Beznos O.V. Biomarkers in tear fluid in uveitis. *Vestnik oftalmologii*. 2025; 141 (4): 88–95 (In Russ.). doi: 10.17116/oftalma202514104188]
3. Бойко Э.В., Гвазава В.Г., Панова И.Е. Эволюция методов диагностики инфекционных и неинфекционных увеитов. Обзор литературы. Офтальмология. 2022; 19 (2): 247–54. [Boyko E.V., Gvazava V.G., Panova I.E. Evolution of diagnostic methods for infectious and non-infectious uveitis. Literature review. *Ophthalmology in Russia*. 2022; 19 (2): 247–54 (In Russ.). doi: 10.18008/1816-5095-2022-2-247-254]
4. Дедов Е.И., Обедков Р.Н., Модестова А.В., Никитин И.Г. Ретроспективный анализ причин увеитов у пациентов офтальмологического отделения многопрофильной клиники: место гиперурикемии. Consilium Medicum. 2024; 26 (12): 864–7. [Dedov E.I., Obedkov R.N., Modestova A.V., Nikitin I.G. Retrospective analysis of the causes of uveitis in patients of the ophthalmology department of a multidisciplinary clinic: the place of hyperuricemia. *Consilium medicum*. 2024; 26 (12): 864–7 (In Russ.). doi: 10.26442/20751753.2024.12.202758]
5. Блинова Е.В., Лябушев П.А., Литвин Е.А. и др. Противовоспалительное действие и внутриглазная кинетика бромфенака при переднем увеите в зависимости от состава топической лекарственной формы. Российский офтальмологический журнал. 2024; 17 (4): 70–7. [Blinova E.V., Lyabushev P.A., Litvin E.A., et al. Anti-inflammatory action and intraocular kinetics of bromfenac in anterior uveitis depending on the composition of topical formulation. *Russian Ophthalmological Journal*. 2024; 17 (4): 70–7 (In Russ.). https://doi.org/10.21516/2072-0076-2024-17-4-70-77]

6. Balasubramaniam B, Chong YJ, Azzopardi M, Logeswaran A, Denniston AK. Topical anti-inflammatory agents for non-infectious uveitis: Current treatment and perspectives. *J Inflamm Res.* 2022; 15: 6439–51. doi: 10.2147/JIR.S288294
7. Ferreira LB, Farrall AL, Furtado JM, Smith JR. Treatment of noninfectious uveitis. *Arq Bras Oftalmol.* 2021; 84 (6): 610–21. doi:10.5935/0004-2749.20220094
8. Pan S, Xiang L, Cao Z, Yang Z, Cheng RJ. Beyond the joints: mechanistic insights and multidisciplinary strategies for spondyloarthritis-associated uveitis. *Front Immunol.* 2025; 16: 1715107. doi:10.3389/fimmu.2025.1715107
9. Zhang X, Li D, Du Y. Prognostic value of the neutrophil to lymphocyte ratio for cardiovascular diseases: research progress. *Am J Transl Res.* 2025; 17 (2): 1170–7. doi: 10.62347/KVCV7377
10. Cai C, Zeng W, Wang H, Ren S. Neutrophil-to-Lymphocyte Ratio (NLR), Platelet-to-Lymphocyte Ratio (PLR) and Monocyte-to-Lymphocyte Ratio (MLR) as biomarkers in diagnosis evaluation of acute exacerbation of chronic obstructive pulmonary disease: A retrospective, observational study. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis.* 2024; 19: 933–43. doi: 10.2147/COPD.S452444
11. Tan S, Yang X, Mu X, et al. The predictive role of peripheral serum inflammatory markers NLR, PLR, and LMR in ulcerative colitis and Crohn's disease: a systematic review and meta-analysis. *Front Immunol.* 2025; 16: 1623899. doi: 10.3389/fimmu.2025.1623899
12. Mangoni AA, Zinellu A. Diagnostic accuracy of the neutrophil-to-lymphocyte ratio and the platelet-to-lymphocyte ratio in rheumatoid arthritis: a systematic review and meta-analysis. *Clin Exp Med.* 2024; 24 (1): 207. doi: 10.1007/s10238-024-01478-x
13. Zinellu A, Paliogiannis P, Mangoni AA. A systematic review and meta-analysis of the diagnostic accuracy of the neutrophil-to-lymphocyte ratio and the platelet-to-lymphocyte ratio in systemic lupus erythematosus. *Clin Exp Med.* 2024; 24 (1): 170. doi: 10.1007/s10238-024-01438-5
14. Zhang Y, Peng W, Zheng X. The prognostic value of the combined neutrophil-to-lymphocyte ratio (NLR) and neutrophil-to-platelet ratio (NPR) in sepsis. *Sci Rep.* 2024; 14 (1): 15075. doi: 10.1038/s41598-024-64469-8
15. Li X, Chen Y, Yuan Q, et al. Neutrophil-to-lymphocyte ratio, monocyte-to-lymphocyte ratio, platelet-to-lymphocyte ratio associated with 28-day all-cause mortality in septic patients with coronary artery disease: a retrospective analysis of MIMIC-IV database. *BMC Infect Dis.* 2024; 24 (1): 749. doi: 10.1186/s12879-024-09516-5
16. Li YH, Chuang SH, Yang HJ. Systematic review and meta-analysis of peripheral blood inflammatory markers in hidradenitis Suppurativa. *J Dermatol.* 2025; 52 (4): 583–592. doi: 10.1111/1346-8138.17661

Вклад авторов в работу: С.В. Сахарова, А.А. Измайлова — сбор, анализ и статистическая обработка данных, написание статьи; М.Н. Пономарева — разработка концепции и дизайна исследования, интерпретация данных, редактирование и финальная подготовка статьи к публикации; И.М. Петров — научное редактирование; Н.А. Курлович — разработка концепции и дизайна исследования; Д.И. Бояринцев, О.А. Любимцева — интерпретация данных, редактирование статьи; В.К. Куколева — сбор данных.

Authors' contribution: S.V. Sakharova, A.A. Izmaylova — data collection, analysis and statistical processing, writing of the article; M.N. Ponomareva — development of the research concept and design, data interpretation, editing and final preparation of the article for publication; I.M. Petrov — scientific editing; N.A. Kurlovich — development of the research concept and design; D.I. Boyarintsev, O.A. Lyubimtseva — data interpretation and editing of the article; V.K. Kukoleva — data collection.

Поступила: 24.03.2026. Переработана: 09.04.2026. Принята к печати: 10.04.2026
Originally received: 24.03.2026. Final revision: 09.04.2026. Accepted: 10.04.2026

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ/INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

¹ ФГБОУВО «Тюменский государственный медицинский университет» Минздрава России, ул. Одесская, д. 54, Тюмень, 625023, Россия

² ГБУЗ ТО «Областная клиническая больница № 2», ул. Мельникайте, д. 75, Тюмень, 625039, Россия

Светлана Викторовна Сахарова — канд. мед. наук, доцент кафедры офтальмологии Института клинической медицины¹, заведующая офтальмологическим отделением², ORCID 0000-0001-8721-0956

Анастасия Александровна Измайлова — аспирант кафедры офтальмологии Института клинической медицины¹, ORCID 0000-0001-6212-316X

Мария Николаевна Пономарева — д-р мед. наук, доцент, заведующая кафедрой офтальмологии Института клинической медицины¹, ORCID 0000-0001-6522-3342

Иван Михайлович Петров — д-р мед. наук, доцент, заведующий кафедрой медицинской информатики и биологической физики Института общественного здоровья и цифровой медицины¹, ORCID 0000-0001-7766-1745

Николай Алексеевич Курлович — канд. мед. наук, доцент кафедры патологической физиологии Института фундаментальной медицины¹, ORCID 0009-0007-6351-7129

Даниэль Игоревич Бояринцев — канд. биол. наук, заведующий лабораторией метаболической и клеточной инженерии¹, ORCID 0000-0002-5605-1849

Оксана Анатольевна Любимцева — канд. мед. наук, доцент, доцент кафедры инфекционных болезней, аллергологии и иммунологии Института материнства и детства¹, ORCID 0000-0002-7360-2657

ГБУЗ ТО «Городская поликлиника № 12», ул. Народная, д. 6/1, Тюмень, 625046, Россия

Варвара Константиновна Куколева — врач-терапевт, ORCID 0000-0001-9591-7337

Для контактов: Светлана Викторовна Сахарова, saharova_sv72@mail.ru

¹ Tyumen State Medical University of the Russian Ministry of Health, 54, Odesskaya St., Tyumen, 625023, Russia

² Regional Clinical Hospital No. 2, 75, Melnikayte St., Tyumen, 625039, Russia

Svetlana V. Sakharova — Cand. of Med. Sci., associate professor of chair of ophthalmology, Institute of Clinical Medicine¹, head of the ophthalmological department², ORCID 0000-0001-8721-0956

Anastasia A. Izmaylova — PhD student of chair of ophthalmology, Institute of Clinical Medicine¹, ORCID 0000-0001-6212-316X

Maria N. Ponomareva — Dr. of Med. Sci., associate professor, head of chair of Ophthalmology, Institute of Clinical Medicine¹, ORCID 0000-0001-6522-3342

Ivan M. Petrov — Dr. of Med. Sci., associate professor, head of chair of medical informatics and biological physics, Institute of Public Health and Digital Medicine¹, ORCID 0000-0001-7766-1745

Nikolai A. Kurlovich — Cand. of Med. Sci., associate professor of chair of pathological physiology, Institute of Fundamental Medicine¹, ORCID 0009-0007-6351-7129

Daniel I. Boyarintsev — Cand. of Biol. Sci., head of the laboratory of metabolic and cellular engineering¹, ORCID 0000-0002-5605-1849

Oksana A. Lyubimtseva — Cand. of Med. Sci., associate professor, associate professor of chair of infectious diseases, allergology and immunology, Institute of Motherhood and Childhood¹, ORCID 0000-0002-7360-2657

City Polyclinic No. 12, 6/1, Narodnaya St., Tyumen, 625046, Russia

Varvara K. Kukoleva — general practitioner, ORCID 0000-0001-9591-7337

For contacts: Svetlana V. Sakharova,

saharova_sv72@mail.ru

<https://doi.org/10.21516/2072-0076-2026-19-2-145-151>

Динамика анатомо-оптических параметров глаза после отмены длительного использования ортокератологических линз

Е.П. Тарутта, С.В. Милаш, М.В. Епишина, Р.Р. Толорая, К.А. Рамазанова, А.Н. Бедретдинов, Н.А. Тарасова✉

ФГБУ «НМИЦ глазных болезней им. Гельмгольца» Минздрава России, ул. Садовая-Черногрозская, д. 14/19, Москва, 105062, Россия

Цель работы — оценка динамики анатомо-оптических параметров глаза после прекращения длительного ортокератологического (ОК) воздействия. **Материал и методы.** Обследованы 18 пациентов 11–22 лет (в среднем $15,6 \pm 4,2$ года) с исходной миопией слабой и средней степени (в среднем $-4,75 \pm 1,7$ дптр), носившие ортокератологические линзы (ОКЛ) от 3 до 11 лет (в среднем $6,7 \pm 3,8$ года). В 10 случаях ОКЛ сняли в связи с окончанием периода роста и подготовкой к эксимерлазерной коррекции, в 8 — ввиду увеличения переднезадней оси (ПЗО) глаза на 0,3 мм и более за год и подготовки к склеропластике. На 36 глазах (31 с отменой ОКЛ и 5 парных глаз на фоне продолжающегося ОК-воздействия) непосредственно перед отменой ОКЛ, через 2, 4 и 6 нед после отмены выполняли визометрию, рефрактометрию, кератометрию, пахиметрию, определяли длину ПЗО и поперечного диаметра (ПД) глаза, толщину хориоидеи (ТХ). **Результаты.** Перед отменой ОКЛ рефракция составила $-2,2 \pm 0,6$ дптр, через 2 нед после отмены — $-5,2 \pm 0,35$ дптр, через 4 нед — $-5,3 \pm 0,26$ дптр, через 6 нед — $-5,4 \pm 0,22$ дптр. Длина ПЗО через 2 нед после отмены ОКЛ увеличилась на 0,08 мм, через 4 нед — на 0,1 мм, через 6 нед — на 0,11 мм ($p < 0,05$). ТХ за первые 2 нед уменьшилась в среднем на 16 мкм, через 4 нед — на 19 мкм и через 6 нед — на 20 мкм ($p < 0,05$). **Заключение.** Отмена ОКЛ сопровождается усилением рефракции, увеличением центральной толщины роговицы, длины ПЗО, уменьшением ТХ. Более 90 % изменений происходят в первые 2 нед; к сроку 6 нед параметры практически стабилизируются.

Ключевые слова: миопия; ночная ортокератология; толщина хориоидеи; аксиальная длина глаза; поперечный диаметр**Конфликт интересов:** отсутствует.**Прозрачность финансовой деятельности:** никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.**Для цитирования:** Тарутта Е.П., Милаш С.В., Епишина М.В., Толорая Р.Р., Рамазанова К.А., Бедретдинов А.Н., Тарасова Н.А. Динамика анатомо-оптических параметров глаза после отмены длительного использования ортокератологических линз. Российский офтальмологический журнал. 2026; 19 (2): 145–51. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2026-19-2-145-151>

Dynamics of anatomical and optical parameters of the eye after discontinuation of long-term use of orthokeratological lenses

Elena P. Tarutta, Sergey V. Milash, Marina V. Epishina, Rusiko R. Toloraya, Kamila A. Ramazanova, Alexey N. Bedretdinov, Natalia A. Tarasova✉

Helmholtz National Medical Research Center of Eye Diseases, 14/19, Sadovaya-Chernogryazskaya St., Moscow, 105062, Russia tar221@yandex.ru

The purpose of the study was to evaluate the dynamics of the anatomical and optical parameters of the eye after the cessation of long-term orthokeratological exposure. **Material and methods.** The study included 18 patients aged 11–22 years (mean 15.6 ± 4.2 years) with initial low to moderate myopia (mean 4.75 ± 1.7 D) who had been wearing orthokeratological lenses (OKL) for 3 to 11 years (mean 6.7 ± 3.8 years).

In 10 cases, OKL were removed due to the end of the growth period and preparation for excimer laser correction, in 8 cases — due to an increase in the axial length (AL) of the eye by 0.3 mm or more over a year and preparation for scleroplasty. In 36 eyes (31 with OKL discontinuation and 5 fellow eyes with ongoing OKL exposure), visometry, refractometry, keratometry, pachymetry were performed, the AL, transverse diameter of the eye, and choroidal thickness (CT) were determined immediately before OKL discontinuation and 2, 4, and 6 weeks after discontinuation. Results. Before OKL discontinuation, the refraction was -2.2 ± 0.6 D. Two weeks after discontinuation, it was -5.2 ± 0.35 D, four weeks later, it was -5.3 ± 0.26 D, and six weeks later, it was -5.4 ± 0.22 D. The AL increased by 0.08 mm 2 weeks after OKL discontinuation, by 0.1 mm 4 weeks later, and by 0.11 mm 6 weeks later ($p < 0.05$). The TC decreased by an average of 16 μ m in the first 2 weeks, by 19 μ m after 4 weeks, and by 20 μ m after 6 weeks ($p < 0.05$). Conclusion. Discontinuation of the OKL wearing is accompanied by increased refraction, an increase in the central corneal thickness and AL, and a decrease in the CT. More than 90 % of changes occur in the first 2 weeks; by 6 weeks, the parameters have practically stabilized.

Keywords: myopia; night orthokeratology; choroidal thickness; axial length of the eye; horizontal diameter

Conflict of interests: there is no conflict of interests.

Financial disclosure: no author has a financial or property interest in any material or method mentioned.

For citation: Tarutta E.P., Milash S.V., Epishina M.V., Toloraya R.R., Ramazanov K.A., Bedretdinov A.N., Tarasova N.A. Dynamics of anatomical and optical parameters of the eye after discontinuation of long-term use of orthokeratological lenses. Russian ophthalmological journal. 2026; 19 (2): 145-51 (In Russ.). <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2026-19-2-145-151>

На сегодняшний день ортокератология (ОК) является одним из наиболее эффективных и распространенных методов коррекции и профилактики прогрессирования близорукости. По данным многочисленных рандомизированных клинических исследований, ОК-терапия замедляет темпы роста аксиальной длины глаза и значительно снижает риск быстрого прогрессирования миопии у детей младшего возраста. По разным сообщениям, ОК-линзы (ОКЛ) способны затормозить рост переднезадней оси (ПЗО) глаза у детей с близорукостью на 40–60 % по сравнению с монофокальными очками [1]. Точные механизмы, с помощью которых ОКЛ контролируют рост близорукости, до сих пор неизвестны. Большинство исследователей основную роль в этом процессе отводят эффектам, связанным с наведением периферического миопического дефокуса за счет изменения оптики глаза и структуры волнового фронта [2].

После начала ношения ОКЛ происходит запрограммированное изменение топографии передней поверхности роговицы с уплощением ее центральной части и выпячиванием (и усилением преломления) парацентральных отделов, формируется положительная сферическая аберрация. Эти изменения происходят главным образом благодаря ремоделированию толщины и профиля эпителия роговицы в соответствии с формой задней поверхности ОКЛ. В недавних исследованиях показано, что одним из ответов структур глаза на наведенный ОКЛ периферический миопический дефокус является изменение толщины хориоидеи (ТХ) в различные сроки после начала лечения, что отражается на данных оптической биометрии. В последнее время предлагают рассматривать изменение ТХ как перспективный биомаркер эффективности контроля миопии [3, 4].

Преимуществом ОК в сравнении с рефракционной хирургией является ее обратимость. По данным литературы, измененные ОК-коррекцией биометрические параметры восстанавливаются в различные сроки после отмены ОКЛ, в зависимости от длительности коррекции, исходной величины рефракции, возраста пациента и децентрации воздействия линз. Сообщают, что сроки в одну, 3 нед и даже месяц после отмены линз недостаточны для восстановления исходных параметров кератометрии и рефрактометрии [5–9].

В клиническом случае, описанном Р. Kang и Н. Swarbrick [10], у женщины, использовавшей ОКЛ в течение 13 лет, показатели кератометрии восстановились только через 408 дней после отмены ОК-коррекции, а ее субъективная рефракция так и не достигла исходных зна-

чений. При этом после недолгого, в течение только 1 мес, ношения ОКЛ исходные параметры восстанавливались уже через 2 нед после их отмены [11].

Помимо изменения кератометрических показателей, в ряде работ отмечено увеличение ПЗО глаза после отмены ОК-воздействия. В качестве объяснения данному феномену предлагают эффект «рикошета» после отмены лечения и восстановления параметров кератопахиметрии и ТХ, способных повлиять на данные биометрии. Так, в работе Z. Li и соавт. [12] первоначальное увеличение ТХ на фоне ОКЛ сохранялось на протяжении всего 12-месячного периода лечения; этот эффект исчез через 1 мес после прекращения ношения линз вместе с восстановлением других офтальмобиометрических параметров. Длина ПЗО глаза в этом исследовании увеличилась за месяц без ОКЛ на 0,06 мм, тогда как за весь период лечения (12 мес) — на 0,17 мм от исходных значений. В отдельных работах проводились попытки изучения динамики других показателей. В частности, X. Chen и соавт. [13] отметили снижение внутриглазного давления (ВГД) после подбора и в течение всего периода ношения ОКЛ и возвращение его к исходному уровню после отмены линз. Ранее Е.П. Тарутта и Т.Ю. Вержанская [14] также описывали снижение ВГД в первые месяцы после начала ОК-воздействия, однако давление возвращалось к исходному уровню к концу первого года ношения линз. По мнению авторов, жесткая ОКЛ, находящаяся в течение ночи под веками, осуществляет незначительную постоянную компрессию глазного яблока, способствующую вытеснению некоторого дополнительного объема внутриглазной жидкости, рефлекторному снижению её секреции и, таким образом, снижению ВГД. Очевидно, что в глазу с ненарушенной системой регуляции гидродинамики должна проявиться тенденция к восстановлению исходного уровня ВГД за счет повышения секреции водянистой влаги, что и приводит к возврату этого показателя к исходному уровню к концу первого года ОК-воздействия [14].

ОК связана с низким уровнем побочных явлений, случаи прекращения лечения очень редки. Пациенты, как правило, используют ОКЛ длительное время, до окончания периода роста и наступления стабилизации миопии. Клинически важно проследить процесс восстановления анатомо-оптических параметров после прекращения ОК-лечения, особенно в случаях длительного ношения линз. Этот вопрос приобретает особую важность в связи с тем, что большое количество пациентов в дальнейшем выбирают

в качестве метода коррекции рефракционную хирургию, и стабильность параметров является важнейшим условием дозирования вмешательства.

ЦЕЛЮ настоящего исследования явилась оценка динамики анатомо-оптических параметров глаза после прекращения длительного, более 3 лет, ношения ОКЛ.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Под наблюдением находились 18 пациентов (7 мужского пола, 11 женского) в возрасте от 11 до 22 лет (в среднем $15,6 \pm 4,2$ года) с исходной миопией слабой и средней степени (в среднем $-4,75 \pm 1,7$ дптр); длительность ношения ОКЛ колебалась от 3 до 11 лет (в среднем $6,7 \pm 3,8$ года). Из общей группы 10 пациентов сняли линзы в связи с окончанием периода роста и прогрессирования миопии и подготовкой к эксимерлазерной коррекции. У 8 пациентов на фоне ОК-терапии отмечалось увеличение ПЗО глаза на 0,3 мм и более за год, т. е. прогрессирование близорукости. Линзы сняли для определения рефракции и подготовки к склероукрепляющей операции. Пятеро из этих пациентов предпочли продолжать ОК-терапию на парном глазу, не подлежащем операции. Таким образом, всего в динамике обследовано 36 глаз (31 с отменой ОКЛ и 5 парных глаз на фоне продолжающегося ОК-воздействия): непосредственно перед отменой ОКЛ (31 глаз), через 2, 4 и 6 нед после отмены. Всем пациентам выполняли визометрию, рефрактометрию, кератометрию, пахиметрию, определяли ПЗО, поперечный диаметр (ПД) глаза, ТХ. Кератометрию, пахиметрию и ПЗО глаза измеряли на оптическом биометре AL Scan (Nidek, Япония). Измерение центральной толщины эпите-

лия (ЦТЭ) и центральной толщины роговицы (ЦТР) проводили на спектральном ОКТ Avanti RVue XR (Optovue Inc., Fremont, CA, USA). ТХ оценивали на ОКТ Mirante (Nidek, Япония) как среднее значение толщины в зоне диаметром 1 мм, центрированной в фовеа. ПД глаза измеряли двумя методами: в режиме ультразвукового А-сканирования по В.П. Можеренкову с определением среднего значения трех измерений и в режиме В-сканирования на аппарате GE Voluson E10 [15].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Как показано в таблице, рефракция по сферэквиваленту (СЭ) на фоне ношения ОКЛ составила в данной группе в среднем $-2,2 \pm 0,6$ дптр. Уже через 2 нед после прекращения ОК-воздействия этот показатель в среднем равнялся $-5,20 \pm 0,35$ дптр, изменяясь в дальнейшем незначительно: через 4 нед — $-5,30 \pm 0,26$ дптр, через 6 нед — $-5,40 \pm 0,22$ дптр. Длина ПЗО после отмены ОКЛ увеличивалась от исходной ($26,12 \pm 0,04$ мм): через 2 нед увеличение было наиболее выраженным — на 0,08 мм, что составило $26,20 \pm 0,06$ мм; через 4 нед ПЗО равнялась в среднем $26,22 \pm 0,05$ мм, через 6 нед — $26,23 \pm 0,03$ мм. За 6 нед с момента отмены ОКЛ ПЗО увеличилась на 0,11 мм, разница с исходными данными достоверна ($p < 0,05$). В строгом соответствии с динамикой аксиальной длины глаза, но в противоположном направлении происходили изменения ТХ: за первые 2 нед она резко уменьшилась, в среднем на 16 мкм, составив $302,00 \pm 9,07$ мкм. В последующем изменения имели ту же тенденцию, но были незначительными — на 3 мкм через 4 нед и еще на 1 мкм — через 6 нед.

Таблица. Динамика анатомо-оптических параметров глаз после отмены длительного ортокератологического воздействия
Table. Dynamics of anatomical and optical parameters of the eyes after discontinuation of long-term orthokeratology

Параметр Parameter	До отмены ОКЛ Prior to discontinuation of OKL wear	2 недели после отмены ОКЛ 2 weeks post-OKL discontinuation	4 недели после отмены ОКЛ 4 weeks post-OKL discontinuation	6 недель после отмены ОКЛ At 6 weeks post-OKL discontinuation
СЭ, дптр SER, D	$2,22 \pm 0,60$	$5,16 \pm 0,35^*$	$5,29 \pm 0,26^*$	$5,40 \pm 0,22^*$
ПЗО, мм AL, mm	$26,12 \pm 0,04$	$26,20 \pm 0,06$	$26,22 \pm 0,05$	$26,23 \pm 0,03^*$
ПД, мм (А-скан) HD, mm (A-scan)	$25,93 \pm 0,15$	$25,87 \pm 0,16$	$25,81 \pm 0,18$	$25,72 \pm 0,17$
ПД, мм (В-скан) HD, mm (B-scan)	$25,90 \pm 0,17$	$25,90 \pm 0,15$	$25,93 \pm 0,20$	$25,74 \pm 0,15$
SimK, дптр SimK, D	$40,40 \pm 0,21$	$42,45 \pm 0,23^*$	$42,62 \pm 0,20^*$	$43,11 \pm 0,30^*$
Сyl, дптр Cyl, D	$1,49 \pm 0,20$	$1,28 \pm 0,14$	$1,30 \pm 0,15$	$1,28 \pm 0,12$
ЦТР, мкм CCT, μm	$535,1 \pm 9,1$	$542,0 \pm 8,9$	$543,5 \pm 9,3$	$544,3 \pm 8,7$
ЦТР ОКТ, мкм CCT OCT, μm	$520,0 \pm 8,9$	$528,0 \pm 9,1$	$531,0 \pm 8,8$	$534,0 \pm 9,0$
ЦТЭ, мкм CET, μm	$50,2 \pm 1,8$	$58,2 \pm 2,1^*$	$57,2 \pm 2,7^*$	$59,1 \pm 2,5^*$
ТХ, мкм CT, μm	$318,50 \pm 7,01$	$302,00 \pm 9,07$	$299,0 \pm 8,4$	$298,0 \pm 6,7^*$

Примечание. * — $p < 0,05$ по сравнению с исходными значениями.

Note. SER — spherical equivalent, AL — axial length, HD — horizontal diameter, CCT — central corneal thickness, CET — central epithelial thickness, CT — choroidal thickness, * — $p < 0.05$ vs. baseline.

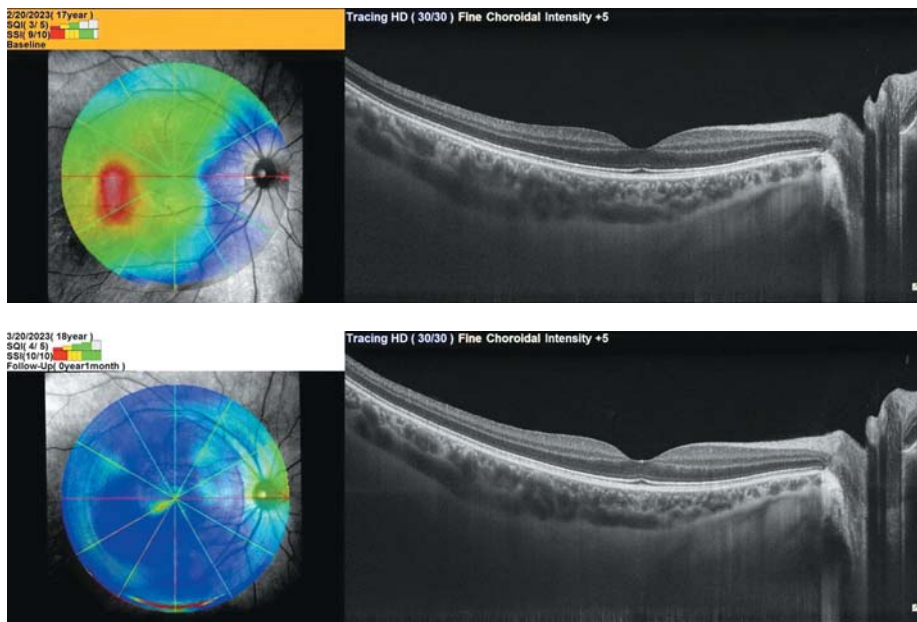


Рис. 1. Уменьшение толщины сосудистой оболочки через 1 мес после отмены ОКЛ
Fig. 1. A decrease in choroidal thickness at 1 month after discontinuation of orthokeratology lens wear

В целом уменьшение ТХ за 6 нед после отмены ОКЛ составило, в среднем, 20 мкм и было достоверным ($p < 0,05$) (рис. 1).

Динамика ПД изучена нами впервые. Согласно А-методу, в первые две недели поперечный размер снизился, в среднем на 0,06 мм, еще через 2 нед дополнительно на 0,06 мм и к сроку 6 нед еще на 0,09 мм. В целом через 6 нед после отмены ОКЛ величина ПД глаза снизилась на 0,21 мм. Поперечный размер глаза, по данным В-сканирования, отличался от результатов А-метода как в меньшую, так и в большую сторону, однако средние исходные данные полностью совпали: 25,6 мм. В первые две недели изменений не выявлено, в срок 4 нед в среднем отмечена тенденция к увеличению ПД на 0,03 мм, а к сроку 6 нед этот показатель уменьшился от исходного на 0,19 мм, т. е. тоже совпал с результатами А-метода. Однако эти изменения следует назвать тенденцией, поскольку, ввиду большого разброса данных, разница оказалась статистически недостоверной. Очевидно, следует увеличить число наблюдений для уточнения этого вопроса. Однако выявленная тенденция к уменьшению величины ПД после отмены ОКЛ

(разница не достигла достоверности, $p > 0,05$). В остальные контрольные периоды изменения ЦТР были минимальны.

Кривизна роговицы после отмены ОКЛ достоверно увеличивалась на всех контрольных осмотрах: через 2, 4 и 6 нед. Максимальное изменение кератометрических параметров произошло в первые 2 нед. Полученные нами данные о длительном восстановлении кривизны роговицы находят подтверждение в работах, где изучались эффекты отмены ОК-воздействия. Анализ литературы показывает, что продолжительность коррекции является ключевым фактором, определяющим скорость регресса. Так, в работе J. Варт и соавт. [5], впервые оценивших динамику рефракции после отмены ОКЛ у пациентов, использовавших линзы от 6 до 9 мес, показатели рефракции быстро возвращались к исходному уровню, однако 72 ч было недостаточно для полного восстановления.

Напротив, в другой работе, где продолжительность лечения до отмены ОКЛ составляла всего месяц, после 2-недельного перерыва кривизна роговицы и рефракция в основном вернулись к исходному уровню [10]. В то же

привлекла наше внимание в связи с опубликованными ранее наблюдениями об увеличении этого показателя после начала ОК-воздействия и других оптических средств, наводящих миопический дефокус на периферию сетчатки [16].

Основные изменения ЦТР произошли в первые 2 нед за счет увеличения толщины эпителия в ее центральной зоне (восстановления морфологии клеток эпителия). Как показывают карты толщины эпителия, после отмены ОК-воздействия происходят изменения толщины эпителиального слоя, обратные тем, что происходили при его начале (рис. 2, 3). ЦТЭ увеличилась за первые 2 недели на 8 мкм, еще через 2 недели недостоверно снизилась на 1 мкм, еще через 2 недели вновь слегка увеличилась. К сроку 6 недель после отмены ОКЛ ЦТЭ увеличилась на 8,9 мкм ($p < 0,05$). В том же режиме увеличивалась ЦТР; к концу 6-й недели наблюдения это увеличение составило 8,8 мкм — по данным оптической биометрии и 14 мкм — по данным ОКТ

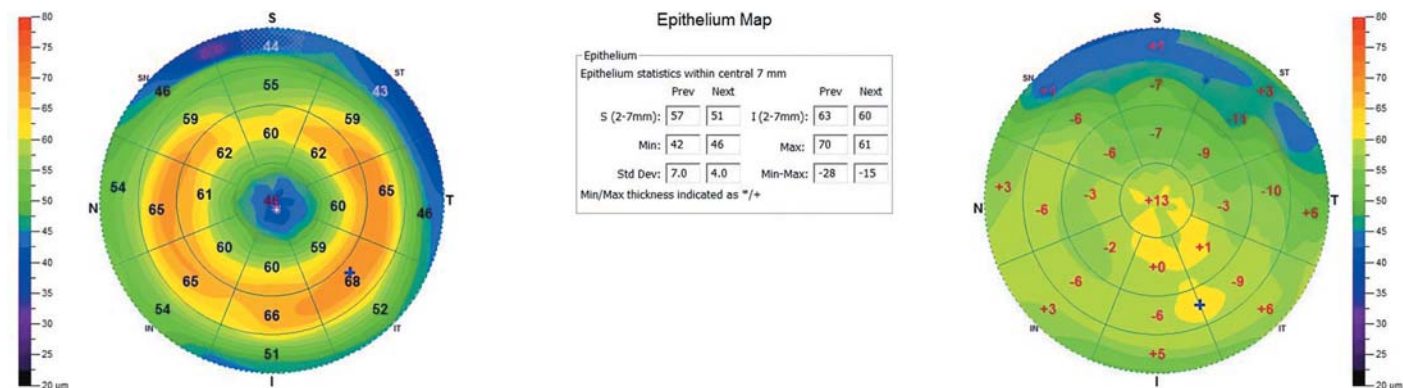


Рис. 2. Карта толщины эпителия на фоне и через 2 нед после отмены ОК-коррекции
Fig. 2. Epithelial thickness map before and 2 weeks after ortho-k cessation

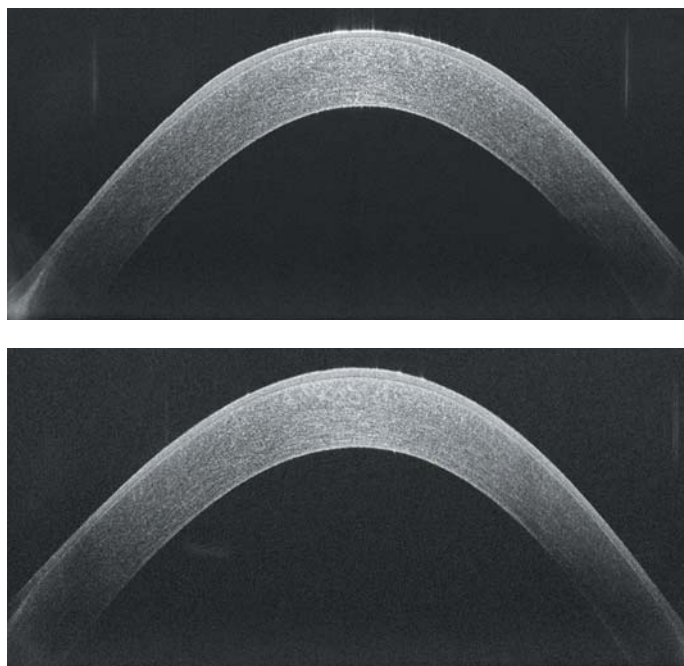


Рис. 3. Восстановление профиля толщины эпителия после отмены ОКЛ по данным ОКТ переднего отрезка

Fig. 3. Anterior segment OCT assessment of epithelial thickness profile recovery after orthokeratology lens cessation

время J. Santodomingo-Rubido и соавт. [6] сообщили, что влияние длительной ОК-коррекции (2 года) на показатели рефракции и кератометрии сохраняется даже через неделю после их отмены.

Роговичный астигматизм в нашем исследовании незначительно уменьшился через 2 недели и практически не менялся в сроки 4 и 6 нед ($p > 0,05$). Торичность роговицы, по данным литературы, может быть повышена на фоне долгосрочной ОК. Это подтверждается исследованиями с более длительным периодом наблюдения. R. Wu и соавт. [7], оценившие влияние 50-месячного ношения ОКЛ на кривизну роговицы у детей через 17 дней после прекращения ношения, обнаружили остаточное уплощение роговицы в плоском меридиане (Kf) по сравнению с исходным уровнем. Схожие выводы делают Z. Chen и соавт. [9]: у пациентов, использовавших ОКЛ в течение $37,4 \pm 11,9$ мес через месяц после прекращения ношения Kf был более плоским по сравнению с исходным уровнем, а также наблюдалось увеличение торичности роговицы. Учитывая эти данные, мы не можем быть уверены, что срок 6 нед достаточен для полного восстановления параметров передней кривизны роговицы после длительного использования линз обратной геометрии. На процесс восстановления топографии роговицы после прекращения воздействия ОКЛ могут влиять различные факторы: продолжительность коррекции, исходные данные рефракции и кривизны роговицы, децентрация линзы, возраст пациента и биомеханика роговицы [9, 10, 13].

Следует отметить, что при снятии ОКЛ с обоих глаз динамика всех перечисленных показателей на парных глазах была симметричной, без существенных различий.

Особого внимания заслуживает рассмотрение компенсации структур глаза на парных глазах в случаях прекращения ОК-воздействия только на одном глазу (рис. 4). Помимо понятной асимметрии в динамике рефракции и кератотопографических показателей в условиях отмены ОК-воздействия на одном глазу и его продолжения на другом, обращает

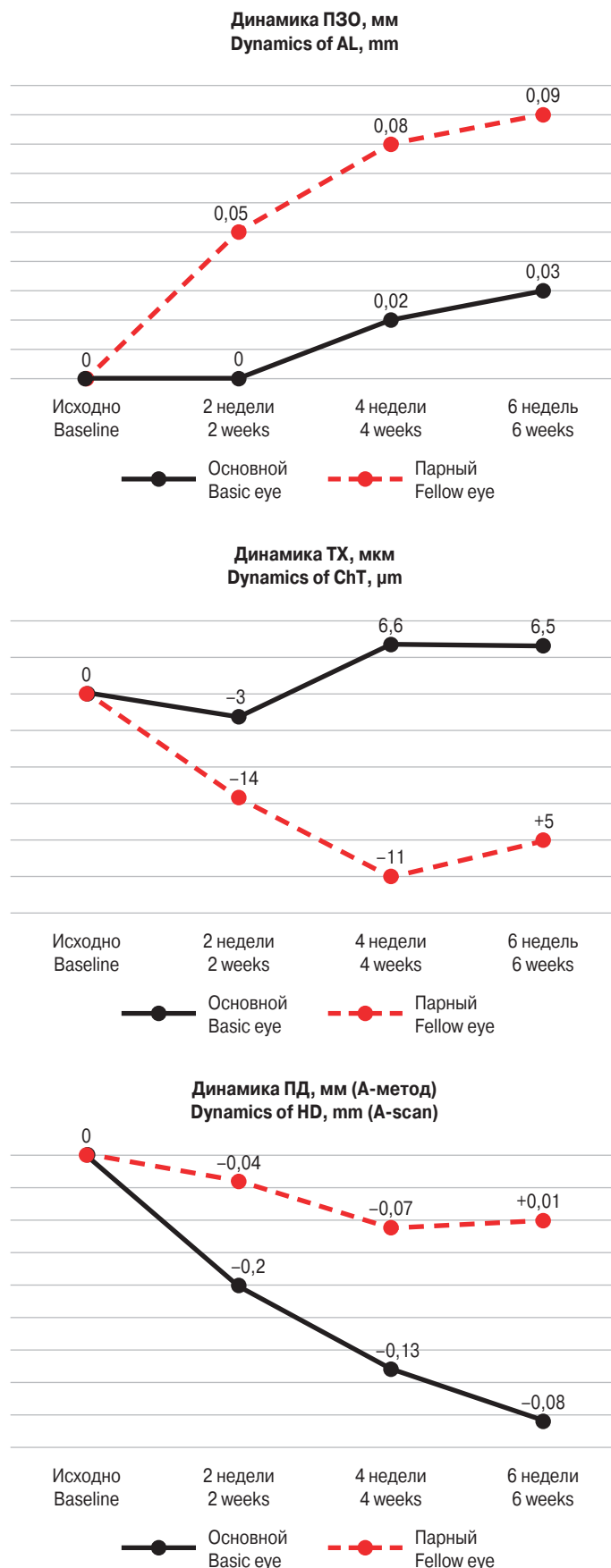


Рис. 4. Динамика анатомических параметров парных глаз после отмены ОК-воздействия на одном глазу

Fig. 4. Dynamics of anatomical parameters of the fellow eye after discontinuation of orthokeratology lens wear in the contralateral eye

на себя внимание «нелогичная» тенденция в динамике других параметров. Аксиальная длина глаза в течение 6 нед после отмены увеличилась на этом глазу на 0,03 мм, в то время как на парном (с продолжением ОК-воздействия!) — на 0,09 мм. Эта асимметрия была обусловлена, очевидно, столь же алогичной динамикой ТХ. На глазах после отмены ОКЛ через 2 нед ее толщина практически не изменилась (минус 3 мкм), в то время как на парных снизилась на 14 мкм; через 4 нед ТХ на глазах без ОКЛ даже увеличилась на 6 мкм, а на парных дополнительно снизилась на 11 мкм; к концу 6-й недели ТХ на глазах без линз больше не менялась, оставаясь слегка, на 3 мкм, повышенной по сравнению с исходным уровнем, а на парных глазах этот показатель также имел тенденцию к повышению на 5 мкм от предыдущего срока (4 нед), но оставался значительно, на 20 мкм, сниженным от исходного значения. Как известно, уменьшение ТХ приводит к увеличению длины ПЗО, измеряемой оптическим методом от эпителия роговицы до пигментного эпителия сетчатки. В то же время динамика ПД была логичной: на парных глазах этот показатель не менялся, на глазах после отмены ОКЛ постепенно уменьшился к сроку 6 нед на 0,08 мм. Учитывая описанное нами ранее [16] увеличение этого параметра после начала ОК-воздействия, обнаруженная в настоящей работе тенденция также может рассматриваться как возврат к исходным значениям, т. е. компенсация. Является ли это следствием динамики толщины периферических отделов хориоидеи, или изменения экваториальных размеров глазного яблока вследствие изменения натяжения цинновых связок, тонуса хрусталика, положения иридо-хрусталиковой диафрагмы, — предстоит изучить в дальнейшем.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, после прекращения использования ОКЛ происходит восстановление анатомо-оптических параметров глаза (компенсация): 1) усиление рефракции глаза — возврат миопии; 2) усиление рефракции роговицы; 3) увеличение ЦТЭ и ЦТР; 4) уменьшение роговичного астигматизма; 5) увеличение длины ПЗО глаза; 6) тенденция к уменьшению ПД; 7) уменьшение ТХ. При этом отмечена синхронность изменений на парных глазах.

Прекращение ОК-воздействия только на одном глазу нарушает синхронность изменений; «содружественная» реакция в компенсации воздействия может превышать прямую. Более 90 % изменений происходят в первые 2 нед; к сроку 6 нед параметры практически стабилизируются. В редких случаях компенсация индуцированного астигматизма требует более длительного наблюдения.

Литература/References

- Huang J, Wen D, Wang Q, et al. Efficacy comparison of 16 interventions for myopia control in children: A network meta-analysis. *Ophthalmology*. 2016 Apr; 123 (4): 697–708. <https://doi.org/10.1016/j.opthta.2015.11.010>

- Tarutta E.P., Verzhanskaya T.Yu. Возможные механизмы тормозящего влияния ортокератологических линз на прогрессирование миопии. *Российский офтальмологический журнал*. 2008; 1 (2): 26–30. [Tarutta E.P., Verzhanskaya T.Yu. Possible mechanisms of the inhibitory effect of orthokeratological lenses on the progression of myopia. *Russian ophthalmological journal*. 2008; 1 (2): 26–30 (In Russ.)].
- Aldakhil S. The effect of optical defocus on choroidal thickness: A Review. *Open Ophthalmol J*. 2021; 15: 283–7. <https://doi.org/10.2174/1874364102115010283>
- Wallman J, Wildsoet C, Xu A, et al. Moving the retina: choroidal modulation of refractive state. *Vision Res*. 1995 Jan; 35 (1): 37–50. [https://doi.org/10.1016/0042-6989\(94\)e0049-q](https://doi.org/10.1016/0042-6989(94)e0049-q)
- Barr JT, Rah MJ, Meyers W, Legerton J. Recovery of refractive error after corneal refractive therapy. *Eye Contact Lens*. 2004 Oct; 30 (4): 247–51. <https://doi.org/10.1097/01.icl.0000140234.85617.88>
- Santodomingo-Rubido J, Villa-Collar C, Gilmartin B, Gutiérrez-Ortega R. Short-term changes in ocular biometry and refraction after discontinuation of long-term orthokeratology. *Eye Contact Lens*. 2014 Mar; 40 (2): 84–90. <https://doi.org/10.1097/icl.0000000000000014>
- Wu R, Stapleton F, Swarbrick HA. Residual corneal flattening after discontinuation of long-term orthokeratology lens wear in Asian children. *Eye Contact Lens*. 2009 Nov; 35 (6): 333–7. <https://doi.org/10.1097/icl.0b013e3181bdc41f>
- Zhong Y, Chen Z, Xue F, Miao H, Zhou X. Central and peripheral corneal power change in myopic orthokeratology and its relationship with 2-year axial length change. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2015 Jul; 56 (8): 4514–9. <https://doi.org/10.1167/iows.14-13935>
- Chen Z, Zhou J, Xue F, Zhou X, Qu X. Increased corneal toricity after long-term orthokeratology lens wear. *J Ophthalmol*. 2018 Oct 23; 2018: 7106028. <https://doi.org/10.1155/2018/7106028>
- Kang P., Swarbrick H. Discontinuation of long-term orthokeratology lens wear and subsequent refractive surgery outcome. *Contact Lens and Anterior Eye*. 2017 Dec; 40 (6): 436–9. <https://doi.org/10.1016/j.clae.2017.07.001>
- Soni PS, Nguyen TT, Bonanno JA. Overnight orthokeratology: refractive and corneal recovery after discontinuation of reverse-geometry lenses. *Eye Contact Lens*. 2004 Oct; 30 (4): 254–62. <https://doi.org/10.1097/01.icl.0000140637.58027.9b>
- Li Z, Hu Y, Cui D, et al. Change in subfoveal choroidal thickness secondary to orthokeratology and its cessation: a predictor for the change in axial length. *Acta Ophthalmol*. 2019 May; 97 (3): e454–e459. <https://doi.org/10.1111/aos.13866>
- Chen X, Yang B, Wang X, Ma W, Liu L. The alterations in ocular biometric parameters following short-term discontinuation of long-term orthokeratology and prior to subsequent lens fitting: a preliminary study. *Ann Med*. 2023; 55 (2): 2282745. <https://doi.org/10.1080/07853890.2023.2282745>
- Tarutta E.P., Verzhanskaya T.Yu. Динамика показателей внутриглазного давления в процессе ношения ортокератологических линз. *Глаукома*. 2005; 3: 3–7. [Tarutta E.P., Verzhanskaya T.Yu. Dynamics of intraocular pressure parameters during orthokeratology lens wear. *Glaucoma*. 2005; 3: 3–7 (In Russ.)].
- Можеренков В.П. Форма глаза в зависимости от вида и степени рефракции по данным ультразвукового исследования. *Офтальмологический журнал*. 1974; 2: 127–30. [Mozherenkov V.P. Eye shape depending on the type and degree of refraction according to ultrasonic examination. *Oftalmologicheskii zhurnal*. 1974; 2: 127–30 (In Russ.)].
- Tarutta E.P., Иомдина Е.Н., Толорая Р.Р., Кружкова Г.В. Динамика периферической рефракции и формы глаза на фоне ношения ортокератологических линз у детей с прогрессирующей миопией. *Российский офтальмологический журнал*. 2016; 9 (1): 62–6. [Tarutta E.P., Iomdina E.N., Toloraya R.R., Kruzhkova G.V. The dynamics of peripheral refraction and eye shape in children with progressive myopia wearing orthokeratology lenses. *Russian ophthalmological journal*. 2016; 9 (1): 62–6 (In Russ.)]. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2016-9-1-62-66>

Вклад авторов в работу: Е.П.Тарутта — формулировка идеи, цели и задач исследования, написание и редактирование статьи; С.В. Милаш — сбор и интерпретация результатов, написание статьи; М.В. Епишина, Р.Р. Толорая, К.А. Рамазанова, А.Н. Бедретдинов — сбор и анализ данных; Н.А. Тарасова — сбор и обработка данных, подготовка статьи к публикации.

Authors' contribution: E.P. Tarutta — formulation of the idea, purpose and objectives of the study, writing and editing of the article; S.V. Milash — data collection and interpretation of results, writing of the article; M.V. Epishina, R.R. Toloraya, K.A. Ramazanova, A.N. Bedretdinov — data collection and analysis; N.A. Tarasova — data collection and processing, preparation of the article for publication.

Поступила: 23.10.2025. Переработана: 10.11.2025. Принята к печати: 11.11.2025

Originally received: 23.10.2025. Final revision: 10.11.2025. Accepted: 11.11.2025

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ/INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

ФГБУ «НМИЦ глазных болезней им. Гельмгольца» Минздрава России, ул. Садовая-Черногрозская, д. 14/19, Москва, 105062, Россия

Елена Петровна Тарутта — д-р мед. наук, профессор, начальник отдела патологии рефракции бинокулярного зрения и офтальмоэргномики, ORCID 0000-0002-8864-4518

Сергей Викторович Милаш — канд. мед. наук, старший научный сотрудник отдела патологии рефракции бинокулярного зрения и офтальмоэргномики, ORCID 0000-0002-3553-9896

Марина Викторовна Епишина — канд. мед. наук, научный сотрудник отдела патологии рефракции бинокулярного зрения и офтальмоэргномики

Русудан Руслановна Толорая — канд. мед. наук, научный сотрудник отдела патологии рефракции бинокулярного зрения и офтальмоэргномики

Камилла Ахмедовна Рамазанова — канд. мед. наук, заведующая отделением ультразвуковой диагностики

Алексей Наильевич Бедретдинов — канд. мед. наук, заведующий отделом патологии сетчатки и зрительного нерва

Наталья Алексеевна Тарасова — канд. мед. наук, старший научный сотрудник отдела патологии рефракции бинокулярного зрения и офтальмоэргномики, ORCID 0000-0002-3164-4306

Для контактов: Наталья Алексеевна Тарасова,
tar221@yandex.ru

Helmholtz National Medical Research Center of Eye Diseases, 14/19, Sadovaya-Chernogryazskaya St., Moscow, 105062, Russia

Elena P. Tarutta — Dr. of Med. Sci., professor, head of the department of refraction pathology, binocular vision and ophthalmoeconomics, ORCID 0000-0002-8864-4518

Sergey V. Milash — Cand. of Med. Sci., senior researcher of the department of refraction pathology, binocular vision and ophthalmoeconomics, ORCID 0000-0002-3553-9896

Marina V. Epishina — Cand. of Med. Sci., researcher of the department of refraction pathology, binocular vision and ophthalmoeconomics

Rusiko R. Toloraya — Cand. of Med. Sci., researcher of the department of refraction pathology, binocular vision and ophthalmoeconomics

Kamila A. Ramazanova — Cand. of Med. Sci., head of the unit of ultrasound diagnostics

Alexey N. Bedretdinov — Cand. of Med. Sci., head of the unit of the retina and optic nerve pathology

Natalia A. Tarasova — Cand. of Med. Sci., senior researcher of the department of refraction pathology, binocular vision and ophthalmoeconomics, ORCID 0000-0002-3164-4306

For contacts: Natalia A. Tarasova,
tar221@yandex.ru



<https://doi.org/10.21516/2072-0076-2026-19-2-152-157>

Assessment of refractive error by retinoscopy using fogging lens and cycloplegia in school aged children

Qurat Ul Ain , Maryam Najeeb, Sadaf Qayyum, Mussafa Khalid

Pakistan Institute of Ophthalmology, Al-Shifa Trust Eye Hospital, Rawalpindi, 4600, Pakistan
quratshah2021@gmail.com

Purpose. To compare the refractive error measurements obtained through cycloplegic retinoscopy and fogging retinoscopy in school-aged children with myopia and hyperopia. **Material and methods.** A comparative cross-sectional study was conducted using a non-probability consecutive sampling technique among school-age children. The study analyzed 240 readings in children aged 6 to 15 years, with a mean age of 10.64 ± 2.82 years, including 45% males and 55% females. Visual acuity was measured using a LogMAR chart. Two retinoscopic procedures were performed to assess refractive error: fogging retinoscopy with a high-power plus lens and cycloplegic retinoscopy with 1% cyclopentolate and 0.5% tropicamide. The readings were entered into SPSS version 26.0 and compared after converting them into spherical equivalents (SE) using the Wilcoxon Signed-Rank Test, as preliminary analysis indicated that the data did not follow a normal distribution. **Results.** Descriptive statistics revealed minimal differences in SE measurements between fogging retinoscopy (mean = -0.41, SD = 5.63) in hyperopes and (mean = -4.8, SD = 3.65) in myopes and cycloplegic retinoscopy (mean = -0.47, SD = 5.64) in hyperopes and (mean = -4.9, SD = 3.69) in myopes. Inferential analysis showed no significant difference between the two methods in low to moderate hyperopes and myopes ($p > 0.05$) and a significant difference between the two methods in high hyperopes and myopes ($p < 0.05$). **Conclusion.** The present results confirm that fogging retinoscopy when performed with proper protocols by an experienced clinician, gives accurate results and can be a good alternative to cycloplegic retinoscopy.

Keywords: refractive error; retinoscopy; fogging; cycloplegic agents

Conflicts of interests: there is no conflict of interests.

Financial disclosure: no author has a financial or property interest in any material or method mentioned.

For citation: Ul Ain Q., Najeeb M., Qayyum S., Khalid M. Assessment of refractive error by retinoscopy using fogging lens and cycloplegia in school aged children. Russian ophthalmological journal. 2026; 19 (2): 152-7. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2026-19-2-152-157>

Определение рефракции путем ретиноскопии с использованием линз с эффектом затуманивания и циклоплегии у детей школьного возраста

Курат Уль Айн , Марьям Наджиб, Садаф Каюм, Муссафа Халид

Пакистанский институт офтальмологии, Глазная больница Аль-Шифа Траст, Равалпинди, 4600, Пакистан

Цель работы — сравнить данные рефракции, полученные с помощью циклоплегической ретиноскопии и ретиноскопии с эффектом затуманивания, у детей школьного возраста с миопией и гиперметропией. **Материал и методы.** Проведено сравнительное поперечное исследование результатов измерений рефракции с использованием метода неслучайной последовательной выборки у 240 детей (45% мальчиков и 55% девочек) в возрасте от 6 до 15 лет (средний возраст $10,64 \pm 2,82$ года). Острота зрения измерялась с помощью таблицы LogMAR. Для оценки рефракции были выполнены две ретиноскопические процедуры: ретиноскопия с эффектом затуманивания зрения с использованием линзы с высоким положительным увеличением и циклоплегическая ретиноскопия с 1% циклопентолатом и 0,5% тропикамидом. Данные, обработанные с помощью программы SPSS,

версия 26.0. сравнивались после преобразования в сферические эквиваленты (СЭ) с использованием критерия Вилкоксона для парных выборок, поскольку предварительный анализ показал, что данные не соответствуют нормальному распределению. **Результаты.** Описательная статистика выявила минимальные различия в значениях СЭ между ретиноскопией с эффектом затуманивания зрения у пациентов с гиперметропией (среднее значение = -0,41, стандартное отклонение = 5,63) и миопией (среднее значение = -4,8, стандартное отклонение = 3,65) и циклоплегической ретиноскопией у пациентов с гиперметропией (среднее значение = -0,47, стандартное отклонение = 5,64) и миопией (среднее значение = -4,9, стандартное отклонение = 3,69). Анализ показал отсутствие существенной разницы между двумя методами у пациентов со слабой и средней степенью гиперметропии или миопии ($p > 0,05$) и небольшую, но статистически значимую разницу между двумя методами у пациентов с высокой гиперметропией или миопией ($p < 0,05$). **Заключение.** Полученные результаты подтверждают, что ретиноскопия с использованием метода «затуманивания» при выполнении по надлежащим протоколам опытным врачом дает точные результаты и может быть хорошей альтернативой циклоплегической ретиноскопии.

Ключевые слова: нарушения рефракции; ретиноскопия; затуманивание; циклоплегия

Конфликт интересов: отсутствует.

Прозрачность финансовой деятельности: никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

Для цитирования: Уль Айн К., Наджиб М., Каюм С., Халид М. Определение рефракции путем ретиноскопии с использованием линз с эффектом затуманивания и циклоплегии у детей школьного возраста. Российский офтальмологический журнал. 2026; 19 (2): 152-7. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2026-19-2-152-157>

Refractive error is a condition in which the eye fails to concentrate light on the retina, resulting in blurry vision [1]. Myopia, in which distant objects appear blurry [1, 2]; hyperopia, in which near objects appear blurry [1, 3]; astigmatism, in which both near and distance objects appear distorted and blurry [4]; and presbyopia, an age-related loss of the eye's ability to focus on near objects [5].

Refractive errors are the most common eye problem affecting both children and adults. Uncorrected refractive error contributes to fewer chances for employment and education, a lower standard of living, and a higher death rate [6]. Recent studies indicate that uncorrected refractive errors are the leading cause of visual impairment affecting 157 million individuals globally. In 2020, 3.7 million people were blind due to uncorrected refractive error. According to a review, these errors account for 57% of blindness worldwide. According to the World Health Organization (WHO), uncorrected refractive error accounts for 43% of all visual impairment globally, making it a critical public health issue [7].

Particularly myopia has become rather common worldwide; study suggest that by 2025 over half of people could be myopic [8]. Comparatively, hyperopia affects 10–20% of people globally; the prevalence varies according on age, ethnicity, and geography [9].

Retinoscopy, also known as skiascopy, is a key objective technique for assessing refractive error by neutralizing the retinal light reflex. It is particularly valuable in pediatric eye exams, as young children often cannot reliably communicate their visual needs or cooperate with subjective refraction. A 2019 study validated retinoscopy as an effective method for detecting refractive errors in children, especially when used alongside techniques such as fogging lenses and cycloplegia [10].

Cycloplegic retinoscopy is considered the gold standard for refraction in children due to their high degree of accommodation, as cycloplegic agents temporarily paralyze the ciliary muscle, ensuring fully relaxed accommodation. Cycloplegic agents include atropine, tropicamide, and cyclopentolate hydrochloride. The most effective medication for paralyzing accommodation is atropine; however, because of its prolonged half-life (up to two weeks), probable toxicity, and severe adverse effects, it is not recommended for use in treating cycloplegia in children. Tropicamide may not be able to sufficiently paralyze accommodation for the goal of refraction in young children despite having the fewest side effects and a 4–6-hour half-life. As the preferred cycloplegic medication

for children, cyclopentolate is just as successful in producing cycloplegia as atropine but with fewer adverse effects and a shorter half-life (24 hours) [11].

The fogging technique consists of adding positive spherical lenses so that the eye becomes slightly myopic, which blurs the vision temporarily and aids in relaxing accommodation [12]. A fogging lens is placed in front of eye to blur vision and make it harder for the eye to focus on close-up or far-off things. The blur image inhibits the accommodation reflex from activating, which, as results relax the ciliary muscle. Since children typically have a higher accommodative reflex, the fogging approach is beneficial for pediatric patients. With the fogging technique, one can carefully evaluate their refractive error without being influenced by accommodation [13].

This study focused to identify a safer and more comfortable alternative to cycloplegia, which is fogging technique for refractive error assessment in children, and to minimize adverse effects of cycloplegia on children's daily life. Fogging lenses provide a fast, easy, and non-invasive means of relaxing accommodation, particularly when cycloplegic medicines are unavailable or patients may not be able to take the usage of eye drops. It is quite helpful for young children whose strong accommodations would otherwise distort outcomes.

The **PURPOSE** of this study is to evaluate the effectiveness of using a fogging lens during retinoscopy for determining refractive error, and to assess how its findings compare to those obtained through cycloplegic retinoscopy.

MATERIAL AND METHODS

A Comparative Cross-Sectional Study was carried out to access “The Comparison of Refractive Error by Retinoscopy using Fogging Lens and Cycloplegia”. This study was conducted in Paediatric Department of Al-Shifa Trust Eye Hospital (Tertiary Care Hospital) and completed in 6 months, from July 2024 to December 2024. The sample size was 120 patients or 240 eyes which was calculated using the WHO calculator with a 95% Confidence level and 5% Level of significance. The Non-Probability Consecutive sampling technique was used to collect the data.

The study included children between the ages of 6 to 15 years of both genders, with no prior history of eye surgery. Participants were required to have any type of refractive error with a spherical equivalent (SE) of $\geq \pm 0.50$ D. Children were

excluded if they had a refractive error greater than ± 15 D, any ocular pathology, strabismus, amblyopia, systemic diseases with ocular manifestations, pseudophakic or aphakic lenses, or if they were handicapped or mentally unstable.

Data collection was conducted using various tools and instruments, including a clinical proforma, LogMAR chart, trial box, and a self-illuminated HEINE Beta 200 streak retinoscope. After obtaining the informed consent of the representative subsets and the ethical approval of the Paeds department, the data was collected. First, visual status of patient was taken by using a log MAR chart placed at 4 m from the patient. Based on present and previous history patient was selected for our study fulfilling the inclusion criteria. Then, Fogging Retinoscopy (FR) was performed on patient by using self-illuminated Heine Beta 200 Retinoscope at working distance of 2/3 m or 67 cm in semi-dark room. FR prescription was noted by subtracting compensation factor of 1.50 D. After that patient was instilled with cycloplegic drug, cyclopentolate 1% and mydriatic drug, tropicamide 0.5% three times with 10 minutes of interval. After 30 to 45 minutes, cycloplegic retinoscopy was performed on the patient in semi-dark room at working distance of 2/3 m or 67 cm and reading was noted by subtracting 2 D [1.5 D (2/3 meter into diopter) plus 0.5 D (tonic

allowance of cycloplegia)] from gross Cycloplegic Retinoscopic cross. The spherical equivalents (SE) of all readings were put into SPSS and analyzed.

The independent variables in this study include patient age, gender, the use of cycloplegia, and the application of a fogging lens. These factors are considered as influencing elements that may affect the outcome being measured. The dependent variable is the refractive status, which is the primary focus of observation and is expected to change based on the variations in the independent variables.

Data was coded and entered SPSS Version 26 on daily basis and then saved thereafter. Before data analysis, data was cleaned by generating frequencies and errors in the data were corrected by reconsidering the Proforma. Hard copy of data is secured by the researcher himself. Soft copy is also kept saved along with a password. Data was analyzed using SPSS version 26.0. Data was completed in two phases, descriptive analysis followed by inferential statistics. Descriptive statistics like frequencies and percentages was reported for categorical variables like age groups and gender. Mean $\pm$ standard deviation ($M \pm SD$) was reported for all continuous variables. Wilcoxon Signed-Rank test was used to evaluate the mean difference between FR and CR (Cycloplegic Retinoscopy) considering p-value < 0.05 as significant.

The study was conducted in accordance with the ethical principles outlined in the Helsinki Declaration. Approval for conducting this research was granted by Institutional Review Board, Head of Department of Optometry and Paeds. All the participants were included after taking a verbal consent by them or guardian. Moreover, a consent form attached with Proforma was presented to ensure that all the information related to participant would be kept confidential and collected data was used only for academic purpose.

RESULTS

1. Descriptive Results

1.1. Demographic Characteristics. A total of 240 eyes of 120 subjects participated in the study. The mean age of children was 10.64 ± 2.8 , ranging from 6 to 15 years. Both genders were included in this study out of which males 108 (45%) and females 132 (55%). There are 32 subjects (64 eyes, 26.7%) from age 6 to 8 years, 51 subjects (102 eyes, 42.5%) from age 9 to 12 years, and 37 subjects (74 eyes, 30.8%) from age 13 to 15 years.

1.2. Refractive Status Distribution. A comprehensive analysis of refractive status was conducted on 240 eyes, with 120 eyes classified as myopic and 120 as hyperopic. Myopia and hyperopia were further categorized as low (33.33%), moderate (33.33%), and high (33.33%) with 40 eyes in each category.

1.3. Visual Status. Visual acuity was measured by using Log MAR chart. Mean visual acuity unaided was 0.72 ± 0.45 (0.05–1.80) and best corrected visual acuity was 0.15 ± 0.25 (0.00–1.80).

1.4. Descriptive Statistics of Fogging Correction (Table 1)

1.5. Descriptive Statistics of Cycloplegic Correction (Table 2)

2. Inferential Results

Preliminary analysis of the data distribution revealed that it does not follow a normal distribution, as assessed by Shapiro-Wilk test, Q-Q plot, and visual inspection of histogram. The “Wilcoxon Signed-Rank Test” was conducted to compare refractive error measurements between fogging retinoscopy and cycloplegic retinoscopy for each category: low, moderate, and high hyperopia as well as low, moderate, and high myopia.

2.1. Hyperopia. In low hyperopia, SE measured with fogging retinoscopy and cycloplegic retinoscopy is observed as 1.35 ± 0.51 . The Wilcoxon Signed Ranked Test comparing fogging and cycloplegic retinoscopy yielded a p-value of > 0.05 , indicating no statistically significant difference. Results shows

Table 1. Descriptive statistics of fogging correction

Таблица 1. Описательная статистика коррекции путем ретиноскопии с использованием линз с эффектом затуманивания

n = 240	Mean	SD	Min	Max
Myopia Миопия				
Low Myopia	-1.58	0.59	-0.50	-2.75
Moderate Myopia	-3.85	0.92	-3.00	-6.00
High Myopia	-9.25	2.81	-6.25	-15.0
Миопия слабой степени				
Миопия средней степени				
Высокая миопия				
Hyperopia Гиперметропия				
Low Hyperopia	1.35	0.51	0.50	2.00
Moderate Hyperopia	3.01	0.77	2.25	4.75
High Hyperopia	7.81	2.56	5.25	15.0
Гиперметропия слабой степени				
Гиперметропия средней степени				
Гиперметропия высокой степени				

Note. Here and in the tables 2, 3, 4: n — number of eyes.

Примечание. Здесь и в таблицах 2, 3, 4: n — количество глаз.

Table 2. Descriptive statistics of cycloplegic correction

Таблица 2. Описательная статистика коррекции путем ретиноскопии с использованием циклоплегии

n = 240	Mean	SD	Min	Max
Myopia Миопия				
Low Myopia	-1.61	0.61	-0.50	-2.75
Moderate Myopia	-3.88	0.91	-3.00	-6.00
High Myopia	-9.35	2.85	-6.25	-15.5
Миопия слабой степени				
Миопия средней степени				
Высокая миопия				
Hyperopia Гиперметропия				
Low Hyperopia	1.35	0.51	0.50	2.00
Moderate Hyperopia	2.98	0.75	2.25	4.75
High Hyperopia	7.72	2.54	5.00	15.0
Гиперметропия слабой степени				
Гиперметропия средней степени				
Гиперметропия высокой степени				

that both techniques produce similar outcomes in assessing refractive error.

In moderate hyperopia, SE measured with fogging retinoscopy is observed as 3.01 ± 0.77 and SE measured with cycloplegic retinoscopy is observed as 2.98 ± 0.75 . The Wilcoxon Signed Ranked Test comparing fogging and cycloplegic retinoscopy yielded a p-value of > 0.05 , indicating no statistically significant difference. Results shows that both techniques produce similar outcomes in assessing refractive error.

In high hyperopia, SE measured with fogging retinoscopy is observed as 7.8 ± 2.56 and SE measured with cycloplegic retinoscopy is observed as 7.7 ± 2.54 . The Wilcoxon Signed Ranked Test comparing fogging and cycloplegic retinoscopy yielded a p-value of < 0.05 , indicating statistically significant difference. Results show that cycloplegic measurements are lower which means fogging overestimate the error in high hyperopes (Table 3).

2.2. Myopia. In low myopia, SE measured with fogging retinoscopy is observed as -1.5 ± 0.59 and SE measured with cycloplegic retinoscopy is observed as -1.6 ± 0.61 . The Wilcoxon Signed Ranked Test comparing fogging and cycloplegic retinoscopy yielded a p-value of > 0.05 , indicating no statistically significant difference. Results shows that both techniques produce similar outcomes in assessing refractive error.

In moderate myopia, SE measured with fogging retinoscopy is observed as -3.8 ± 0.92 and SE measured with cycloplegic retinoscopy is observed as -3.8 ± 0.91 . The Wilcoxon Signed Ranked Test comparing fogging and cycloplegic retinoscopy yielded a p-value of > 0.05 , indicating no statistically significant difference. Results shows that both techniques produce similar outcomes in assessing refractive error.

In high myopia, SE measured with fogging retinoscopy is observed as -9.3 ± 2.80 and SE measured with cycloplegic retinoscopy is observed as -9.4 ± 2.88 . The Wilcoxon Signed Ranked Test comparing fogging and cycloplegic retinoscopy yielded a p-value of < 0.05 , indicating statistically significant difference. Results show that cycloplegic measurements are higher which means fogging underestimate the error in high myopes (Table 4).

Table 3. Comparison between fogging and cycloplegic retinoscopy results in hyperopes

Таблица 3. Сравнение результатов ретиноскопии с использованием метода «затуманивания» и циклоплегической ретиноскопии у пациентов с гиперметропией

Refractive Error Category Вид рефракции	n	Median Difference Медианная разница	Z-value	p-value (asympt. sig. 2-tailed)*
Low Hyperopia Гиперметропия слабой степени	40	0.00	0.00	1.00
Moderate Hyperopia Гиперметропия средней степени	40	0.00	-1.63	0.10
High Hyperopia Высокая гиперметропия	40	-0.015	-2.58	0.01

Примечание. Здесь и в таблице 4: * — асимптотическая разница, двусторонняя.

Table 4. Comparison between fogging and cycloplegic retinoscopy results in myopes

Таблица 4. Сравнение результатов ретиноскопии с использованием метода «затуманивания» и циклоплегической ретиноскопии у пациентов с миопией

Refractive Error Category Вид рефракции	n	Median Difference Медианная разница	Z-value	p-value (asympt. sig. 2-tailed)*
Low Myopia Миопия слабой степени	40	0.00	-1.73	0.08
Moderate Myopia Миопия средней степени	40	0.00	-1.63	0.10
High Myopia Высокая миопия	40	0.05	-3.02	0.001

DISCUSSION

Results of fogging were compared with the cycloplegic technique of retinoscopy. Fogging and cycloplegic retinoscopy can be used as alternative in 6 to 15 years old children with varying levels of refractive errors, differentiating between low, moderate, and high in both myopic and hyperopic individuals, when working distance of 1.5 D is subtracting from fogging gross cross.

From low to moderate refractive errors, and high error ≤ 10.00 D in myopia and hyperopia, both techniques — fogging and cycloplegic retinoscopy showed no statistically significant differences. This indicated that in cases with minimal accommodative stimulus, FR provide results comparable to cycloplegic retinoscopy. Therefore, in clinical settings fogging can be a good alternative to cycloplegic retinoscopy, especially when considering factors like time, and patient comfort [14].

Compared to cycloplegic retinoscopy, FR overestimates refractive errors for high hyperopia ($p < 0.05$). Fogging cannot totally neutralize residual accommodation; hence cycloplegic treatments are needed. Cycloplegic refraction paralyzes accommodation, making measurements more accurate, especially for those with strong accommodative reflexes. This supports previous research showing cycloplegic refraction is more accurate for high hyperopic refractive errors because it paralyzes accommodation [15, 16].

In high myopia, FR underestimated refractive errors compared to cycloplegic retinoscopy ($p < 0.05$). Suboptimal corrective prescriptions might worsen visual strain and accelerate myopia progression due to underestimation. High myopia's restricted pupils make fogging less effective [16, 17].

These findings align with existing literature suggesting that FR is best suited for low to moderate refractive errors, while cycloplegic retinoscopy remains indispensable for high refractive errors. The choice of technique should consider patient-specific factors such as age, refractive error magnitude, and clinical setting constraints. In pediatric optometry, where cooperation can be challenging, the non-invasive nature of fogging retinoscopy is particularly advantageous [11].

Furthermore, the time efficiency of fogging retinoscopy is a significant benefit. Cycloplegic procedures often require prolonged waiting periods for drug efficacy, which can be burdensome in high-volume clinics. Additionally, fogging eliminates the side effects associated with cycloplegic agents, such as blurred vision, photophobia, and allergic reactions, thereby enhancing patient comfort and compliance. Additionally, fogging helps to enhance patient comfort while attaining best outcomes in correcting refractive errors [18].

These results have larger consequences that support the inclusion of FR into regular clinical practice. FR solves the main issues in pediatric optometry by offering a child-friendly, quick, non-invasive alternative. Clinics should still be alert to its restrictions in severe refractive errors and use cycloplegic techniques where more accuracy is necessary [8].

Future studies should investigate mixed methods combining the advantages of both approaches. To maximize diagnosis, using FR for first evaluations and verifying results with cycloplegic retinoscopy in

borderline or high-error situations could be useful. In summary, although both fogging and cycloplegic retinoscopy offer unique advantages, the clinical setting should dictate the technique choice so that patient treatment remains efficient and compassionate.

This study has several limitations. Conducting larger, multi-center studies involving a more diverse population would help produce more generalizable results and allow for exploration of demographic influences on refractive error assessments. Stratifying participants into narrower age groups could also help identify age-specific differences in the effectiveness of fogging lenses compared to cycloplegia. Additionally, this study primarily addresses low, moderate, and high refractive errors, without considering the impact of astigmatism or anisometropia. Future research should include detailed analyses of these conditions and their interactions with both fogging and cycloplegic techniques. Follow-up studies are also recommended to evaluate how accurate refractive correction influences visual outcomes, academic performance, and overall quality of life.

CONCLUSION

It was deduced that fogging and cycloplegic retinoscopy can be used as alternative in 6 to 15 years old children, when working distance of 1.5 D is subtracting from fogging gross cross in both hyperopes and myopes of ≤ 10.00 D. Furthermore, the Fogging technique reduces the waste of time considerably by subtracting the wait for the dilation of the pupil and relaxation of accommodation; post-cycloplegic retinoscopy is also friendly for children because they do not suffer from stinging or scorching effects in their eyes.

References/Литература

1. Dhaliwal DK. Overview of Refractive Error-Eye Disorders. 2026. <https://www.merckmanuals.com/home/eye-disorders/refractive-disorders/overview-of-refractive-disorders>
2. Wang Y, Huang C, Tseng Y, Zhong J and Li X. Refractive error and eye health: An umbrella review of meta-analyses. *Front Med*. 2021; 8: 759767. doi: 10.3389/fmed.2021.759767
3. Majumdar S, Tripathy K. Hyperopia. In: StatPearls Publishing; 2026 Jan. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK560716/>
4. Wong S-C, Kee C-S, Leung T-W. High prevalence of astigmatism in children after school suspension during the COVID-19 pandemic is associated with axial elongation. *Children (Basel)*. 2022 Jun 19; 9 (6): 919. doi: 10.3390/children9060919
5. McDonald MB, Barnett M, Gaddie IB, et al. Classification of presbyopia by severity. *Ophthalmol Ther*. 2022 Feb; 11 (1): 1–11. doi: 10.1007/s40123-021-00410-w

6. Vision Loss Expert Group of the Global Burden of Disease Study; GBD 2019 Blindness and Vision Impairment Collaborators. Global estimates on the number of people blind or visually impaired by Uncorrected Refractive Error: a meta-analysis from 2000 to 2020. *Eye (Lond)*. 2024 Aug; 38 (11): 2083–101. doi: 10.1038/s41433-024-03106-0
7. GBD 2019 Blindness and Vision Impairment Collaborators; Vision Loss Expert Group of the Global Burden of Disease Study. Causes of blindness and vision impairment in 2020 and trends over 30 years, and prevalence of avoidable blindness in relation to VISION 2020: the Right to Sight: an analysis for the Global Burden of Disease Study. *Lancet Glob Health*. 2021 Feb; 9 (2): e144–e160. doi: 10.1016/S2214-109X(20)30489-7
8. Holden BA, Fricke TR, Wilson DA, et al. Global prevalence of myopia and high myopia and temporal trends from 2000 through 2050. *Ophthalmology*. 2016 May; 123 (5): 1036–42. doi: 10.1016/j.ophtha.2016.01.006
9. Fricke TR, Tahhan N, Resnikoff S, et al. Global prevalence of presbyopia and vision impairment from uncorrected presbyopia: Systematic review, meta-analysis, and modelling. *Ophthalmology*. 2018 Oct; 125 (10): 1492–9. doi: 10.1016/j.ophtha.2018.04.013
10. Doyle LA, McCullough SJ, Saunders KJ. Cycloplegia and spectacle prescribing in children: attitudes of UK optometrists. *Ophthalmic Physiol Opt*. 2019 May; 39 (3): 148–61. doi: 10.1111/opo.12612
11. Doherty SE, Doyle LA, McCullough SJ, Saunders KJ. Comparison of retinoscopy results with and without 1% cyclopentolate in school-aged children. *Ophthalmic and Physiological Optics*. 2019 Jul; 39 (4): 272–81. doi: 10.1111/opo.12629
12. Turull-Mallofré A, García-Guerra CE, Mestre C, et al. Influence of power and the time of application of fogging lenses on accommodation. *Biomed Opt Express*. 2023; 14: 5488–98. <https://opg.optica.org/boe/fulltext.cfm?uri=boe-14-10-5488>
13. Peñaranda A, Torrado O, Márquez A, Baptista AM, Serra PM. The effect of cycloplegia in the accuracy of autorefractometry, keratometry and axial length using the Myopia Master. *BMC Ophthalmol*. 2024 Aug 1; 24 (1): 321. doi: 10.1186/s12886-024-03529-z
14. Yeotikar N.S, Bakaraju RC, Reddy PSR, Prasad K. Cycloplegic refraction and non-cycloplegic refraction using contralateral fogging: a comparative study. *Journal of Modern Optics*. 2007; 54 (9): 1317–24. <https://doi.org/10.1080/09500340600855346>
15. Rotsos T, Grigoriou D, Kokkolaki A, Manios N. A comparison of manifest refractions, cycloplegic refractions and retinoscopy on the RMA-3000 autorefractometer in children aged 3 to 15 years. *Clin Ophthalmol*. 2009; 3: 429–31. doi: 10.2147/opth.s5145
16. Hopkins S, Sampson GP, Hendicott P, Lacherez P, Wood JM. Refraction in children: a comparison of two methods of accommodation control. *Optom Vis Sci*. 2012 Dec; 89 (12): 1734–9. doi: 10.1097/OPX.0b013e318277182c
17. Morgan IG, Iribarren R, Fotouhi A, Grzybowski A. Cycloplegic refraction is the gold standard for epidemiological studies. *Acta Ophthalmol*. 2015 Sep; 93 (6): 581–5. doi: 10.1111/aos.12642
18. Sankaridurg P, He X, Naduvilath T, et al. Comparison of noncycloplegic and cycloplegic autorefractometry in categorizing refractive error data in children. *Acta Ophthalmol*. 2017 Nov; 95 (7): e633–e640. doi: 10.1111/aos.13569

Author's contributions: Q. Ul Ain, M. Najeeb — conception and design, data acquisition, analysis and interpretation, drafting; S. Qayyum — critical review, data analysis and interpretation; M. Khalid — conducting revisions and granting final approval of the work, responsible for all aspects of the project.
Вклад авторов в работу: К. Уль Айн, М. Наджиб — разработка концепции и дизайна, сбор данных, их анализ и интерпретация, подготовка статьи; С. Каюм — критический анализ и интерпретация результатов; М. Халид — редактирование и утверждение работы, руководство всеми аспектами работы.

Originally received: 25.05.2025. Final revision: 24.06.2025. Accepted: 25.06.2025
Поступила: 25.05.2025. Переработана: 24.06.2025. Принята к печати: 25.06.2025

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS/ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Pakistan Institute of Ophthalmology, Al-Shifa Trust Eye Hospital Rawalpindi, 4600, Pakistan

Qurat Ul Ain — B.Sc. (hons) Optometrist, ORCID 0009-0004-1015-4641

Maryam Najeeb — Internee Optometrist, ORCID 0009-0005-7755-5199

Sadaf Qayyum — Course Coordinator, Optometry and Orthoptics, ORCID 0000-0001-5445-943X

Mussafa Khalid — Senior Pediatric, ORCID 0009-0009-0468-9777

For contacts: Qurat Ul Ain,
quratshah2021@gmail.com

Пакистанский институт офтальмологии, Глазная больница Аль-Шифа Трост, Равалпинди, 4600, Пакистан

Курат Уль Айн — бакалавр наук в области оптометрии, ORCID 0009-0004-1015-4641

Марьям Наджиб — стажер-оптометрист, ORCID 0009-0005-7755-5199

Садаф Каюм — координатор курса оптометрии и ортоптики, ORCID 0000-0001-5445-943X

Муссафа Халид — старший педиатр, ORCID 0009-0009-0468-9777

Для контактов: Курат Уль Айн,
quratshah2021@gmail.com

<https://doi.org/10.21516/2072-0076-2026-19-2-158-163>



Изменения в субпопуляционном составе лимфоцитов периферической крови у пациентов с кератолизисом как предикторы исхода трансплантации роговицы по неотложным показаниям

Н.В. Балацкая, Е.В. Ченцова, К.В. Сироткина✉, И.Г. Куликова

ФГБУ «НМИЦ глазных болезней им. Гельмгольца» Минздрава России, ул. Садовая-Черногрозская, д. 14/19, Москва, 105062, Россия

Цель работы — изучение изменений в субпопуляционном составе лимфоцитов периферической крови у пациентов с лизисом собственной роговицы/трансплантата, госпитализированных для проведения кератопластики (КП) по неотложным показаниям. **Материал и методы.** КП по неотложным показаниям была проведена 30 пациентам в возрасте 18–76 лет. В зависимости от исхода оперативного вмешательства больные были ретроспективно разделены на две группы: 1-ю группу составили 10 человек с благоприятным исходом трансплантации роговицы, во 2-ю группу вошли 20 пациентов с лизисом кератотрансплантата. Материалом иммунологических исследований служили пробы цельной крови, взятой из локтевой вены натощак в утренние часы. Фенотипирование проводили методом проточной лазерной цитофлуориметрии с использованием системы моноклональных антител Multitest 6-Color TBNK Reagent в пробирках BD TruCount с обработкой в программе Santo. **Результаты.** До проведения КП в субпопуляционном составе лимфоцитов крови больных с лизисом собственной роговицы/трансплантата выявлены общие характерные сдвиги: повышение абсолютного числа лимфоцитов, достоверный рост абсолютного содержания CD3+ клеток, а также увеличение количества основных регуляторных популяций Т-лимфоцитарного звена по сравнению с нормой. Ретроспективный анализ показал, что отличительной особенностью группы с неблагоприятным исходом КП по неотложным показаниям явилось снижение как абсолютного, так и относительного количества Т-клеток (CD3+), обусловленного, главным образом, абсолютным числом Т-хелперов (CD3+CD4+) ($p < 0,05$). В крови пациентов данной группы обнаружено достоверное увеличение относительного и абсолютного числа NK-лимфоцитов по сравнению с таковыми у пациентов с благоприятным исходом КП ($p < 0,05$). **Заключение.** На основании ретроспективного анализа определены параметры клеточного иммунного статуса, которые возможно использовать для прогнозирования неблагоприятного приживления кератотрансплантата. Полученные данные представляются важными для понимания патогенеза литического повреждения кератотрансплантата и могут рассматриваться в качестве потенциальных маркеров прогнозирования исхода КП по неотложным показаниям для разработки дифференцированного подхода к ведению офтальмологических пациентов.

Ключевые слова: кератолизис; ургентная кератопластика; кровь (суб)популяции лимфоцитов; фенотипирование

Конфликт интересов: отсутствует.

Прозрачность финансовой деятельности: никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

Для цитирования: Балацкая Н.В., Ченцова Е.В., Сироткина К. В., Куликова И.Г. Изменения в субпопуляционном составе лимфоцитов периферической крови у пациентов с кератолизисом как предикторы исхода трансплантации роговицы по неотложным показаниям. Российский офтальмологический журнал. 2026; 19 (2):158-63. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2026-19-2-158-163>

Shifts in subsets of blood lymphocyte subpopulations in patients with keratolysis as predictors of the outcome of emergency corneal transplantation

Natalia V. Balatskaya, Ekaterina V. Chentsova, Ksenia V. Sirotkina✉, Irina G. Kulikova

Helmholtz National Medical Research Center of Eye Diseases, 14/19, Sadovaya-Chernogryazskaya St., Moscow, 105062, Russia
sirotkina.ksen8@yandex.ru

Purpose of the study: a detailed description of shifts in subsets of blood lymphocyte subpopulations associated with lysis of the native cornea/graft prior to emergency keratoplasty. **Material and methods.** We conducted immunological studies of 30 patients aged 18–76 with lysis of own cornea and keratograft. All patients underwent urgent keratoplasty. After the operation, patients received standard therapy. Depending on the outcome of the surgical intervention, the patients were divided into two groups. The 1st group consisted of 10 people with favorable engraftment of the keratoplasty; the 2nd included 20 patients with keratolysis. The study material was blood samples taken from the cubital vein on an empty stomach in the morning. Phenotyping was performed by flow laser cytometry on a BD FACS Canto II cytometer using the Multitest 6-Color TBNK Reagent monoclonal antibody system in BD TruCount tubes. For erythrocyte lysis and leukocyte fixation, BD FACS TM Lysing Solution is used. The relative and absolute content of lymphocyte populations and subpopulations is determined in the Canto program. **Results.** We have identified some common changes characteristic of patients before urgent keratoplasty, i.e., a decrease in the numbers CD45+, a significant increase absolute contents of the T-cell population CD3+, CD3+CD4+ subpopulation as compared with the control group. A statistically significant increase relative and absolute contents of the natural killer cells, significant reduction relative and absolute contents of the T-cell population, CD3+CD4+ subpopulation proved to be a distinctive feature of the group with keratograft lysis. **Conclusion.** Parameters of cellular immune status have been determined that can be used to predict unfavorable engraftment of keratograft. The obtained data are important for understanding pathogenesis of keratograft lysis, and should be taken into account when predicting and developing a differentiated approach to the treatment of this pathological process.

Keywords: lymphocytes; blood; phenotype; keratolysis; urgent keratoplasty

Conflict of interests: there is no conflict of interests.

Financial disclosure: no author has a financial or property interest in any material or method mentioned.

For citation: Balatskaya N.V., Chentsova E.V., Sirotkina K.V., Kulikova I.G. Shifts in subsets of blood lymphocyte subpopulations in patients with keratolysis as predictors of the outcome of emergency corneal transplantation. Russian ophthalmological journal. 2026; 19 (2): 158-63 (In Russ.). <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2026-19-2-158-163>

Кератолизис относится к ургентным патологиям в офтальмологической практике, примерами которого являются десцеметотеле, перфорация роговицы, расплавление кератотрансплантата. Данные состояния всегда требуют незамедлительного хирургического вмешательства, так как связаны с угрозой развития эндофтальмита, а значит, с возможной функциональной и анатомической гибелью глаза [1].

Расплавление кератотрансплантата является тяжелым осложнением пересадки роговицы по неотложным показаниям, возникающее у 18–36,6 % прооперированных пациентов [2, 3]. По данным литературных источников, кератолизис — это многофакторный процесс повреждения ткани роговицы или кератотрансплантата. Расплавление и разволокнение ее стромы обусловлено синергизмом действия ферментов локальной протеолитической системы глаза, активацией иммунокомпетентных клеток, а также токсинами микроорганизмов [2–4].

Как известно, благоприятный исход трансплантации роговицы обусловлен многокомпонентным механизмом иммунной привилегии (ИП) органа зрения, где особая роль отводится феномену ACAID (anterior chamber associated immune deviation) — иммунному отклонению, связанному с передней камерой глаза (ПК), который заключается в специфическом ингибировании системного Th1 зависимого (гиперчувствительности замедленного типа, ГЗТ) на вводимый в ПК

антиген [5, 6]. Полноценная реализация ACAID возможна при сохранении иммуносупрессивной емкости жидкости ПК и собственно ИП роговицы (ее аваскулярности, цельности и пр.) [5, 7–9].

Следует отметить, что кератопластика (КП) по неотложным показаниям проводится на воспаленном ложе для трансплантации, что способствует срыву ИП в переднем отделе глаза, развитию системной реакции тканевой несовместимости и относится к операциям высокого риска (КПВР).

Антитрансплантационный ответ организма-хозяина заключается в атаке и разрушении донорского материала эффекторными иммунокомпетентными клетками, рекрутируемыми и поддерживаемыми многочисленными воспалительными медиаторами с активацией протеолитических ферментов, что приводит к деградации коллагена базальной мембраны эпителия и стромы роговицы и способствует ее лизису [5, 10].

По сообщениям целого ряда авторов, исход КП в 70–80 % случаев зависит от предоперационного состояния иммунного статуса реципиента, в частности, отторжению трансплантата могут способствовать сдвиги в субпопуляционном составе лимфоцитов в периферической крови [8, 11–15], однако при ургентной КП данный вопрос специальному изучению не подвергался.

ЦЕЛЬ работы — провести исследование субпопуляционного состава лимфоцитов периферической крови у пациентов с лизисом собственной роговицы/трансплантата до проведения КП по неотложным показаниям; на основании ретроспективного анализа определить возможности использования параметров клеточного иммунного статуса для прогнозирования неблагоприятного приживления кератотрансплантата.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Иммунологические исследования проведены 30 пациентам (13 мужчин, 17 женщин) в возрасте от 18 до 76 лет (в среднем $52,6 \pm 3,7$ года), поступившим в отделение неотложной медицинской помощи НМИЦ глазных болезней им. Гельмгольца Минздрава РФ с лизисом собственной роговицы (первичные, $n = 12$) или кератотрансплантата (повторные, $n = 18$).

Всем пациентам была проведена КП по неотложным показаниям криоконсервированной роговицей. После операции пациенты получали стандартную антибактериальную, стероидную, кератопротекторную и противовоспалительную терапию.

В зависимости от исхода оперативного вмешательства больные были ретроспективно разделены на две группы: 1-ю группу составили 10 человек с благоприятным приживлением трансплантата; во 2-ю вошли 20 пациентов с кератолизисом.

Группа контроля сформирована из 18 практически здоровых людей без офтальмопатологии, сопоставимых по полу и возрасту с пациентами основных групп.

Материалом исследования служили пробы цельной крови, взятой из локтевой вены натощак в утренние часы (с 9.00 до 10.00 ч) при помощи вакуумных систем в стерильные пробирки Vacuette с EDTA. Фенотипирование про-

водили методом проточной лазерной цитофлуориметрии на цитометре BD FACS Canto II (Becton Dickinson, США) с использованием системы моноклональных антител Multitest 6-Color TBNK Reagent в пробирках BD TruCount (Becton Dickinson, США). Для лизиса эритроцитов и фиксации лейкоцитов использовали раствор BD FACS TM Lysing Solution (Becton Dickinson, США). Относительное и абсолютное содержание популяций и субпопуляций лимфоцитов определяли в программе Canto (Becton Dickinson, США) с выделением анализируемого региона по общей популяции, экспрессирующей CD45+ антиген, и по гранулярности клеток (CD45+ PerCP-Cy5,5*/SSC). Использовались меченные флуорохромами антитела kCD3+(FITC), CD4+(PE-Cy7*), CD8+(APCCy7*), CD16+/56+(PE), CD19+(APC*), позволяющие дифференцировать клетки: Т-лимфоциты (CD3+), Т-хелперы (CD3+CD4+CD8-), Т-цитотоксические (CD3+CD4-CD8+), Т-дубль-позитивные (CD3+CD4+CD8+), NK-клетки — натуральные киллеры (CD16+CD56+), В-лимфоциты (CD19+) и вычислить соотношение субпопуляций CD3+CD4+/CD3+CD8+, отражающее баланс Т-хелперов и цитотоксических Т-клеток (CD4+/CD8+).

Статистическая обработка данных и вариационный анализ выполнены в программах Biostatd, Exel (M — среднее значение, m — средняя ошибка средней арифметической), для определения достоверности различий (p) показателей двух независимых выборок использовали U-критерий Манна — Уитни, уровень статистической значимости считали при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты ретроспективного анализа сдвигов в субпопуляционном составе периферической крови пациентов основных клинических групп и контроля представлены в таблице и на рисунке.

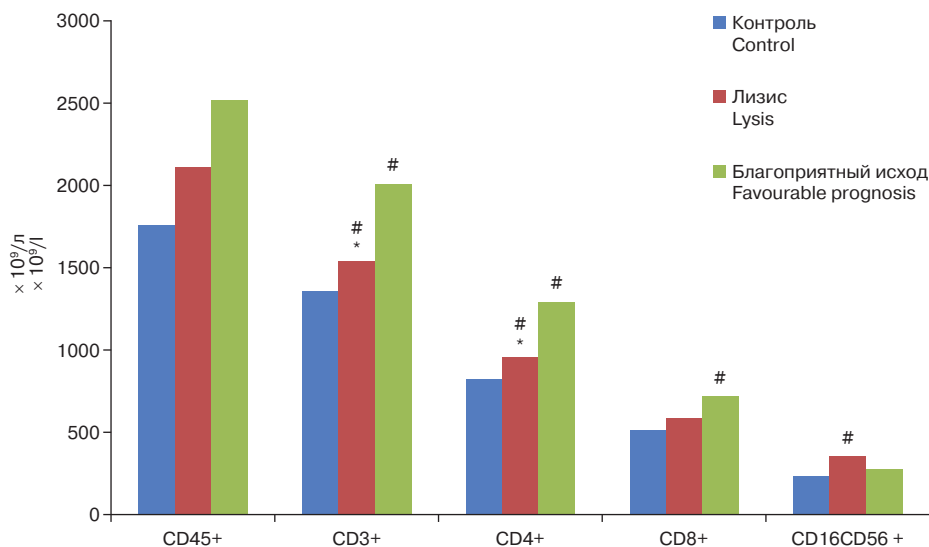


Рисунок. Значимые сдвиги в субпопуляционном составе лимфоцитов периферической крови пациентов с различным исходом кератопластики по неотложным показаниям. По оси ординат указано абсолютное количество лимфоцитов в периферической крови ($\times 10^9/\text{л}$), # — достоверность различий параметров у больных исследуемых групп по сравнению с группой контроля ($p < 0,05$), * — достоверность различий значений у пациентов с лизисом кератотрансплантата по сравнению с благоприятными исходами ($p < 0,05$)

Figure. Medium level of immunological parameters in patients with different results of urgent keratoplasty. The ordinate axis shows the absolute number of lymphocytes in the blood ($\times 10^9/\text{l}$), # — differences in values in study groups in comparison with control are significant ($p < 0.05$), * — differences in values in patients with keratograft lysis compared with favorable outcomes are significant ($p < 0.05$)

Как видно из таблицы и рисунка, до операции в крови всех пациентов определено повышение абсолютного числа лимфоцитов (CD45+) по сравнению с контролем, главным образом за счет увеличения абсолютного содержания Т-клеток (CD3+) ($p < 0,05$).

Анализ изменений количественного содержания популяции Т-клеток показал, что рост абсолютного числа CD3+ лимфоцитов в обеих клинических группах по отношению к контролю был обусловлен повышением абсолютного количества как Т-хелперов, так и Т-цитотоксических лимфоцитов ($p < 0,05$) (см. таблицу и рисунок). При этом в группе пациентов с благоприятным исходом КП, увеличение показателей (абсолютных значений) субпопуляций CD3+CD4+ и CD3+CD8+ лимфоцитов было более выраженным (и статистически значимым), чем в группе, где хирургическое лечение завершилось лизисом трансплантата в отдаленные сроки ($p < 0,05$) (см. таблицу и рисунок). В ходе анализа изменений процентного содержания указанных субпопуляций выявлены аналогичные сдвиги, но с достаточно выраженным снижением цитотоксических Т-лимфоцитов во 2-й клини-

Таблица. Субпопуляционный состав лимфоцитов периферической крови пациентов до проведения кератопластики по неотложным показаниям

Table. Subpopulation composition of blood lymphocytes in patients before urgent keratoplasty

Показатели Factors		Исследуемые группы Groups		
		контроль control group n = 18	исход трансплантации роговицы result of keratoplasty	
			1-я группа, благоприятное приживление 1 group, favourable prognosis n = 10	2-я группа, лизис трансплантата 2 group, graft lysis n = 20
Лимфоциты Lymphocytes CD45+	$\times 10^9/\text{л}$ $\times 10^9/\text{л}$	$1,76 \pm 0,68$	$2,52 \pm 0,23$	$2,11 \pm 0,13$
Т-лимфоциты T lymphocytes (total population) CD3+	%	$75,70 \pm 1,49$	$79,50 \pm 2,01^*$	$72,13 \pm 2,74^*$
	$\times 10^9/\text{л}$ $\times 10^9/\text{л}$	$1,30 \pm 0,06$	$2,01 \pm 0,19\#^*$	$1,53 \pm 0,09\#^*$
Т-хелперы T helpers CD3+CD4+	%	$46,3 \pm 0,00$	$49,69 \pm 2,23$	$46,04 \pm 1,17$
	$\times 10^9/\text{л}$ $\times 10^9/\text{л}$	$0,82 \pm 0,04$	$1,30 \pm 0,16^*\#$	$0,95 \pm 0,05^*\#$
Т-цитотоксические лимфоциты T cytotoxic CD3+CD8+	%	$29,20 \pm 1,13$	$30,08 \pm 2,56$	$26,83 \pm 2,93$
	$\times 10^9/\text{л}$ $\times 10^9/\text{л}$	$0,51 \pm 0,02$	$0,72 \pm 0,06\#$	$0,59 \pm 0,08$
Дубль-позитивные лимфоциты Double-positive lymphocytes CD3+CD4+CD8+	%	$0,56 \pm 0,05$	$0,96 \pm 0,15\#$	$1,18 \pm 0,35\#$
	$\times 10^9/\text{л}$ $\times 10^9/\text{л}$	$0,010 \pm 0,001$	$0,020 \pm 0,004\#$	$0,030 \pm 0,008\#$
В-лимфоциты B lymphocytes CD19+	%	$10,28 \pm 0,86$	$8,95 \pm 1,05$	$9,92 \pm 1,25$
	$\times 10^9/\text{л}$ $\times 10^9/\text{л}$	$0,18 \pm 0,02$	$0,23 \pm 0,04$	$0,21 \pm 0,03$
Натуральные киллеры Natural killers CD16+CD56+	%	$13,40 \pm 1,32$	$11,19 \pm 1,57^*$	$17,53 \pm 1,9^*$
	$\times 10^9/\text{л}$ $\times 10^9/\text{л}$	$0,23 \pm 0,03$	$0,27 \pm 0,04$	$0,36 \pm 0,05\#$
CD3+CD4+/ CD3+CD8+		$1,64 \pm 0,09$	$1,83 \pm 0,24$	$2,1 \pm 0,2\#$

Примечание. n — количество пациентов в исследуемой в группе; # — достоверность различия параметров у больных исследуемых групп по сравнению с группой контроля ($p < 0,05$), * — достоверность различия параметров между группами пациентов в зависимости от исхода кератопластики.

Note. n — number of experimental subjects in the group; # — the differences in study group in comparison with control are significant by $p < 0.05$; * — the differences in study group in comparison with the group with different results of keratoplasty.

ческой группе (с неблагоприятным исходом), что привело к изменению баланса регуляторных Т-клеток — значимому повышению соотношения CD3+CD4+/CD3+CD8+ по сравнению с таковым в группе контроля (см. таблицу).

Количественные сдвиги касались также и минорной субпопуляции Т-лимфоцитарного звена — двойных позитивных клеток CD3+CD4+CD8+, абсолютное и относительное содержание которых в крови пациентов основных клинических групп более чем в 2 раза превышало таковое в норме ($p < 0,05$) (см. таблицу).

В целом обнаруженные нами изменения в звене Т-лимфоцитов, а именно абсолютного и относительного количества общей популяции CD3+ в крови у пациентов с кератолизисом, поступающих на первичную/повторную КП по неотложным показаниям, ассоциирующиеся с воспалительным процессом наружной поверхности глаза, согласуются с данными литературы, где отмечается активация лимфоцитарного звена, в особенности, Т-клеток, при патологии роговицы инфекционного генеза (связанной

с активацией герпесвирусов), а также в условиях трансплантации [16, 17].

Однако несмотря на увеличение абсолютного числа Т-хелперов в крови пациентов обеих исследуемых групп, во 2-й группе, с неблагоприятным исходом, значения указанного показателя были значительно ниже и приближались к таковым в норме (см. таблицу и рисунок).

Следует отметить, что показатели иммунограммы, приближающиеся к значениям диапазона нормы или находящиеся в его пределах, у пациентов с тяжелым воспалительным поражением роговицы (в особенности, поступающих на ургентную КП), могут быть связаны с длительной медикаментозной терапией (антибиотиками, гормональными препаратами и пр.), вызывающей снижение иммунологической реактивности (вплоть до ареактивности), что, в свою очередь, является серьезным фактором риска присоединения инфекции и повреждения кератотрансплантата.

Интересные данные были получены при сравнительной оценке звена лимфоцитов — натуральных киллеров:

так, характерной особенностью группы пациентов, в которой после КП произошел лизис трансплантата (2-я группа), явилось статистически значимое ($p < 0,05$) увеличение доли относительного количества CD16+CD56+ клеток по сравнению с показателями группы с благоприятным исходом, а также достоверный рост ($p < 0,05$) абсолютного уровня CD16+CD56+ клеток и выраженная тенденция к повышению их относительного числа по отношению к норме ($p = 0,067$).

В настоящее время в научной литературе широко обсуждается участие NK-лимфоцитов в развитии и поддержании патологического процесса при сердечно-сосудистых, аутовоспалительных заболеваниях и пр., а также при трансплантации солидных органов и КП [7, 18, 19]. Так, показано повышение количества NK-клеток в крови пациентов при отторжении почечных трансплантатов, повторных КП, псориазе, осложнении инфекционного эндокардита и т. д. [8, 19–21].

Такая же картина наблюдалась и в нашем исследовании у пациентов с неблагоприятным исходом КП по неотложным показаниям. Значительный рост абсолютного числа CD16+CD56+ лимфоцитов в данной группе по отношению к норме (практически в 1,5 раза) позволяет думать об их активной эвакуации из кроветворных (лимфоидных) органов в систему циркуляции, а достоверное увеличение доли этих клеток в крови больных с неблагоприятным приживлением трансплантата по сравнению с данным показателем при благоприятном исходе может указывать на участие NK-субпопуляции в лизисе донорской роговицы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изменения в субпопуляционном составе лимфоцитов при кератоллизе, выявленные у пациентов до проведения КП по неотложным показаниям, характеризуются сдвигами преимущественно в Т-звене иммунитета и популяции натуральных киллеров. Выявленное увеличение абсолютного количества и доли NK-клеток и незначительные сдвиги абсолютного числа Т-хелперов в группе с неблагоприятным исходом кератопластики дают основание предполагать вовлечение клеточного звена иммунитета (как врожденного, так и адаптивного) в патологический процесс, приводящий к лизису кератотрансплантата на отдаленных сроках после КП по неотложным показаниям.

Мы полагаем, что показатели количественного состава Т-клеточного звена и натуральных киллеров могут рассматриваться в качестве потенциальных маркеров исхода КП по неотложным показаниям, что обосновывает необходимость дальнейших исследований их диагностической и прогностической значимости на выборках с большим количеством пациентов для коррекции тактики лечения и улучшения биологического результата приживления донорской ткани.

Литература/References

- Ченцова Е.В., Вериге Е.Н., Хазамова А.И. Дифференцированный подход к комплексному лечению язв роговицы. *Офтальмология*. 2018; 15 (3): 256–63. [Chentsova E.V., Verigo E.N., Hazamova A.I. A Differentiated approach to the complex treatment of cornea ulcers. *Ophthalmology in Russia*. 2018; 15 (3): 256–63 (In Russ.)]. doi: 10.18008/1816-5095-2018-3-256-263
- Бржеская И.В., Сомов Е.Е. Коллагенолитическая активность конъюнктивальной жидкости у здоровых людей и больных с асептической язвой роговицы различной этиологии. *РМЖ. Клиническая офтальмология*. 2018; 2: 77–80. [Brzhetskaya I.V., Somov E.E. Collagenolytic activity of conjunctival fluid in healthy people and patients with aseptic ulcer of the cornea of various etiologies. *RMJ Clinical ophthalmology*. 2018; 2: 77–80 (In Russ.)]. doi: 10.21689/2311-7729-2018-18-2-77-80

- Мороз З.И., Малюгин Б.Э., Горохова М.В., Ковшун Е.В. Результаты кератопластики при фистулах роговицы с использованием УФ-кроссликинга модифицированного донорского материала. *Офтальмохирургия*. 2014; 2: 29–32. [Moroz Z.I., Malyugin B.E., Gorochova M.V., Kovshun E.V. UV cross-linked donor corneas for penetrating keratoplasties in corneal perforations. *Fyodorov journal of ophthalmic surgery*. 2014; 2: 29–32 (In Russ.)].
- Чеснокова Н.Б., Безнос О.В. Гидролитические ферменты слезной жидкости в норме и при патологии. *Российский офтальмологический журнал*. 2012; 5 (4): 107–11. [Chesnokova N.B., Beznos O.V. Hydrolytic enzymes of tear fluid in normal and pathological conditions. *Russian ophthalmological journal*. 2012; 5 (4): 107–11 (In Russ.)].
- Нероев В.В., Балацкая Н.В., Ченцова Е.В., Шамхалова Х.М. Механизмы иммунорегуляции и трансплантационный иммунитет при пересадках роговицы. *Медицинская иммунология*. 2020; 22 (1): 61–76. [Neroev V.V., Balatskaya N.V., Chentsova E.V., Shamkhalova Kh.M. Mechanisms of immune regulation and transplantation immunity in corneal transplants. *Medical immunology (Russia)*. 2020; 22 (1): 61–76 (In Russ.)]. <https://doi.org/10.15789/1563-0625-MOI-1768>
- Chauhan SK, Dohlman TH, Dana R. Corneal lymphatics: Role in ocular inflammation as inducer and responder of adaptive immunity. *J Clin Cell Immunol*. 2014; 5: 1–5. doi: 10.4172/2155-9899.1000256
- Kaplan HJ, Streilein J.W. Immune response to immunization via the anterior chamber of the eye. II. An analysis of F1 lymphocyte-induced immune-deviation. *J Immunol*. 1978; 120 (3): 689–93.
- Peterson S, Kastelan M. Immunopathogenesis of psoriasis: focus on natural killer T cells. *J Eur Acad Dermatol Venereol*. 2009; 23 (10): 1123–7. doi: 10.1111/j.1468-3083.2009.03292.x
- Streilein JW, Niederkorn JY. Induction of anterior chamber-associated immune deviation requires an intact, functional spleen. *J Exp Med*. 1981; 153 (5): 1058–67. doi: 10.1084/jem.153.5.1058
- Zhu BB, Zhou J, Zheng J, et al. Corneal graft melting: a systematic review. *Int J Ophthalmol*. 2020; 13 (3): 493–502. doi: 10.18240/ijo.2020.03.19
- Куликова И.Г., Балацкая Н.В., Ковалева Л.А., Макаров П.В. Частота сдвигов от нормы в субпопуляционном составе крови у пациентов с центральной язвой роговицы. *Медицинская иммунология*. 2018; 20 (2): 263–70. [Kulikova I.G., Balatskaya N.V., Kovaleva L.A., Makarov P.V. Frequency of deviations from normal values in the blood subpopulations' profile in the patients with central corneal ulcers. *Medical immunology (Russia)*. 2018; 20 (2): 263–70 (In Russ.)]. doi: 10.15789/1563-0625-2018-2-263-270
- Нероев В.В., Балацкая Н.В., Ченцова Е.В., Куликова И.Г., Шамхалова Х.М. Клиническое значение оценки субпопуляционного состава лимфоцитов крови пациентов с инфекционным поражением роговицы при кератопластике высокого риска. *Российский офтальмологический журнал*. 2020; 13 (3): 30–5. [Neroev V.V., Balatskaya N.V., Chentsova E.V., Kulikova I.G., Shamkhalova H.M. Clinical significance of assessing the subpopulation composition of blood lymphocytes in patients with infectious corneal lesions in high-risk keratoplasty. *Russian ophthalmological journal*. 2020; 13 (3): 30–5 (In Russ.)]. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2020-13-3-30-35>
- Bosnar D, Dekaris I, Gabrić N, et al. Influence of interleukin-1alpha and tumor necrosis factor-alpha production on corneal graft survival. *Croat Med J*. 2006 Feb; 47 (1): 59–66. PMID: 16489698.
- Coster DJ, Williams KA. The impact of corneal allograft rejection on the long-term outcome of corneal transplantation. *Am J Ophthalmol*. 2005 Dec; 140 (6): 1112–22. doi: 10.1016/j.ajo.2005.07.024
- Roy R, Boisjoly HM, Wagner E, et al. Pretransplant and posttransplant antibodies in human corneal transplantation. *Transplantation*. 1992; 54 (3): 463–7. doi: 10.1097/00007890-199209000-00015
- Комак Ю.А., Мороз З.И., Борзенко С.А. Современное состояние проблемы повторной пересадки роговицы (обзор литературы). *Офтальмохирургия*. 1997; 1: 19–27. [Komakh Y.A., Moroz Z.I., Borzenok S.A. The current state of the problem of repeated corneal transplantation (literature review). *Fyodorov journal of ophthalmic surgery*. 1997; 1: 19–27 (In Russ.)].
- Куликова И.Г., Слепова О.С., Миронкова Е.А., Макаров П.В., Ковалева Л.А., Кугушева А.Э. Роль (суб)популяционного дисбаланса лимфоцитов крови в развитии системной органоспецифической сенсibilизации при воспалительной и посттравматической патологии глаз. *Российский офтальмологический журнал*. 2013; 6 (4): 71–5. [Kulikova I.G., Slepova O.S., Mironkova E.A., Makarov P.V., Kovaleva L.A., Kugusheva A.E. The role of (sub)populational imbalance of blood lymphocytes in development of systemic organ-specific sensitization in inflammatory and posttraumatic eye diseases. *Russian ophthalmological journal*. 2013; 6 (4): 71–5. (In Russ.)].
- Алексеева Л.А., Железникова Г.Ф., Жирков А.А. и др. Субпопуляции лимфоцитов и цитокины в крови и cerebrospinalной жидкости при вирусных и бактериальных менингитах. *Инфекция и иммунитет*. 2016; 6 (1): 33–44. [Alekseeva L.A., Zheleznikova G.F., Zhirkov A.A., et al. Lymphocyte subsets and cytokines in blood and cerebrospinal fluid in children

- with viral and bacterial meningitis. *Infektsiya i Immunitet*. 2016; 6 (1): 33–44 (In Russ.)). doi: 10.15789/2220-7619-2016-1-33-44
19. López-Botet M, Vilches C, Redondo-Pachón D, et al. Dual role of natural killer cells on graft rejection and control of cytomegalovirus infection in renal transplantation. *Front Immunol*. 2017. 8: 166. doi: 10.3389/fimmu.2017.00166
20. Ka MB, Gondo-Rey F, Ghigo E, et al. Imbalance of circulating lymphoid cells in Q fever endocarditis. *Pathog Dis*. 2015 Mar; 73 (2): 1–3. doi: 10.1093/femspd/ftu010
21. Schwartzkopf J, Schlereth SL, Berger M, et al. NK cell depletion delays corneal allograft rejection in baby rats. *Mol Vis*. 2010 Oct 2; 16: 1928–35. PMID: 21031017.

Вклад авторов в работу: Н.В. Балацкая — концепция и дизайн исследования, научное редактирование, подготовка текста статьи; Е.В. Ченцова — концепция и дизайн исследования, научное редактирование; К.В. Сироткина — проведение исследований, статистическая обработка данных, написание текста статьи, подготовка иллюстраций; И.Г. Куликова — проведение исследований, интерпретация данных, научное редактирование.

Author's contribution: N.V. Balatskaya — concept, research design, scientific editing, article writing; E.V. Chentsova — concept, research design; K.V. Sirotkina — data collection and processing, article writing, preparation of illustrations; I.G. Kulikova — research design, data collection and processing, scientific editing.

Поступила: 15.06.2025. Переработана: 19.06.2025. Принята к печати: 20.06.2025

Originally received: 15.06.2025. Final revision: 19.06.2025. Accepted: 20.06.2025

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ/INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

ФГБУ «НМИЦ глазных болезней им. Гельмгольца» Минздрава России, ул. Садовая-Черногрозская, д. 14/19, Москва, 105062, Россия

Наталья Владимировна Балацкая — канд. биол. наук, ведущий научный сотрудник отдела иммунологии и вирусологии, ORCID 0000-0001-8007-6643

Екатерина Валериановна Ченцова — д-р мед. наук, профессор, ведущий научный сотрудник отдела травматологии и реконструктивной хирургии, ORCID 0000-0002-8394-1038

Ксения Валерьевна Сироткина — врач-офтальмолог, аспирант отдела травматологии и реконструктивной хирургии, ORCID 0009-0007-5148-1712

Ирина Геннадьевна Куликова — старший научный сотрудник отдела иммунологии и вирусологии, ORCID 0000-0002-1005-5633

Для контактов: Ксения Валерьевна Сироткина, sirotkina.ksen8@yandex.ru

Helmholtz National Medical Research of Eye Diseases, 14/19, Sadovaya-Chernogryazskaya St., Moscow, 105062, Russia

Natalia V. Balatskaya — Cand. of Biol. Sci., leading researcher, department of immunology and virology, ORCID 0000-0001-8007-6643

Ekaterina V. Chentsova — Dr. of Med. Sci., professor, leading researcher, department of traumatology and reconstructive surgery, ORCID 0000-0002-8394-1038

Ksenia V. Sirotkina — ophthalmologist, PhD student, department of traumatology and reconstructive surgery, ORCID 0009-0007-5148-1712

Irina G. Kulikova — senior researcher, department of immunology and virology, ORCID 0000-0002-1005-5633

For contacts: Ksenia V. Sirotkina, sirotkina.ksen8@yandex.ru

<https://doi.org/10.21516/2072-0076-2026-19-2-164-169>



Пигментный эпителиальный дериватный фактор как возможный предиктор реакции отторжения трансплантата роговицы

А.М. Быстров^{1,2✉}, А.А. Кузнецов¹, Е.В. Давыдова^{1,2}, Т.В. Гаврилова³

¹ГБУЗ «Челябинская областная клиническая больница», ул. Воровского, д. 70, Челябинск, 454048, Россия

²ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный медицинский университет» Минздрава России, ул. Воровского, д. 64, Челябинск, 454141, Россия

³ФГБОУ ВО «Пермский государственный медицинский университет им. академика Е.А. Вагнера» Минздрава России, ул. Петропавловская, д. 26, Пермь, 614990, Россия

Кератопластика остается одним из самых эффективных методов восстановления зрения при заболеваниях и травмах глаза, приводящих к помутнению роговицы. Несмотря на успехи современной хирургии, реакция отторжения трансплантата роговицы является наиболее частой причиной неудачных операций. Пигментный эпителиальный дериватный фактор (PEDF) известен своими антиангиогенными и противовоспалительными свойствами, которые играют важную роль в поддержании иммунной привилегии глаза и делают его одним из значимых регуляторов интраокулярной среды. Целью работы явилось изучение концентрации PEDF в слезной жидкости (СЖ) в динамике после проведения сквозной кератопластики и оценка его роли в реализации реакции отторжения трансплантата роговицы. Материал и методы. В исследовании приняли участие 48 пациентов в возрасте 35–60 лет (в среднем $48,1 \pm 5,4$ года), в том числе 30 мужчин и 18 женщин. Подгруппу 1 ($n = 35$) составили пациенты, у которых в наблюдаемый период не зафиксирована реакция отторжения трансплантата роговицы, подгруппу 2 ($n = 13$) — пациенты, у которых в течение года после операции был эпизод реакции отторжения. В контрольную группу вошли 15 здоровых лиц без офтальмологической патологии. Уровень PEDF (нг/мл) в СЖ в течение послеоперационного периода определяли при помощи мультиплексного анализа на иммуноанализаторе Lumiplex Magpix 100 (США) с использованием тест-системы для мультиплексного анализа Bio-Rad (США). Состояние трансплантата оценивали с помощью биомикроскопии и оптической когерентной томографии с ангиографией переднего отрезка. Результаты. В течение года после операции выявлено значимое увеличение объема васкуляризации с максимальным нарастанием показателя на 360-е сутки в подгруппе 2. Концентрация PEDF в подгруппе 1 увеличилась до референсных значений на 120-е сутки с сохранением данного уровня к концу исследования. Напротив, в подгруппе 2 уровень PEDF до конца периода наблюдения оставался сниженным и значимо отличался от показателя контрольной группы, что, наряду с увеличением объема васкуляризации и прогрессивным снижением максимальной скорректированной остроты зрения, может свидетельствовать о нарушении контроля над процессами неоваскуляризации и способствовать отторжению трансплантата. Заключение. Полученные данные свидетельствуют о том, что снижение PEDF, играющего важнейшую роль в сдерживании процессов неоваскуляризации роговицы, можно рассматривать как предиктор развития реакции отторжения трансплантата.

Ключевые слова: кератопластика; роговица; пигментный эпителиальный дериватный фактор; слезная жидкость; отторжение; неоваскуляризация

Конфликт интересов: отсутствует.

Прозрачность финансовой деятельности: никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

Работа выполнена в рамках госзадания ИИФ УрО РАН, номер госрегистрации 122020900136-4.

Для цитирования: Быстров А.М., Кузнецов А.А., Давыдова Е.В., Гаврилова Т.В. Пигментный эпителиальный дериватный фактор как возможный предиктор реакции отторжения трансплантата роговицы. Российский офтальмологический журнал. 2026; 19 (2): 164–9. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2026-19-2-164-169>

Pigment Epithelium-Derived Factor as a possible predictor of corneal transplant rejection reaction

Aleksey M. Bystrov^{1,2}✉, Andrey A. Kuznetsov¹, Evgeniya V. Davydova^{1,2}, Tatyana V. Gavrilova³

¹The Chelyabinsk Regional Clinical Hospital, 70, Vorovskogo St., Chelyabinsk, 454048, Russia

²South-Ural State Medical University, 64, Vorovskogo St., Chelyabinsk, 454141, Russia

³Perm State Medical University named after Academician E.A. Wagner, 26, Petropavlovskaya St., Perm, 614990, Russia
highvision@bk.ru

*Keratoplasty remains one of the most effective methods of restoring vision in diseases and injuries of the eye that lead to the cornea opacity. Despite the success of modern surgery, corneal transplant rejection is the most common cause of unsuccessful operations. Pigmented epithelial derivative factor (PEDF) is known for its antiangiogenic and anti-inflammatory properties, which play an important role in maintaining the immune privilege of the eye and make it one of the important regulators of the intraocular environment. **Purpose** of the work was to study the concentration of PEDF in the tear fluid (TF) after penetrating keratoplasty and to evaluate its role in the development of the corneal transplant rejection reaction. **Material and methods.** 48 patients aged 35 to 60 years (average age of 48.1 ± 5.4) including 30 men and 18 women participated in the study. Subgroup 1 ($n = 35$) consisted of patients who had no episodes of corneal transplant rejection during the observed period, subgroup 2 ($n = 13$) consisted of patients who demonstrated an episode of rejection reaction during one year after surgery. The control group included 15 healthy individuals without ophthalmological pathology. The level of PEDF (ng/ml) in the TF was determined during postoperative period using multiplex analysis on a Luminex Magpix 100 immunoanalyzer (USA) by the Bio-Rad multiplex analysis test system (USA). The graft condition was assessed using biomicroscopy and optical coherence tomography with angiography of the anterior segment. **Results.** In postoperative period a significant increase in the volume of vascularization with a maximum increase on day 360 in subgroup 2 was revealed. The concentration of PEDF in subgroup 1 increased to reference values on day 120, while maintaining this level at the end of the study. On the contrary, in subgroup 2, the PEDF level remained reduced until the end of the follow-up period and significantly differed from the indicator of the control group, which, along with an increase in the volume of vascularization and a progressive decrease in maximally corrected visual acuity, may indicate a violation of control over the processes of neovascularization and contribute to graft rejection. **Conclusion.** Given the crucial role of PEDF in curbing corneal neoangiogenesis, its decrease can be considered as a predictor of the development of a graft rejection reaction, as evidenced by the data we have obtained.*

Keywords: keratoplasty; cornea; pigment epithelial derivative factor; tear fluid; rejection; neovascularization

Conflict of interests: there is no conflict of interests.

Financial disclosure: no author has a financial or property interest in any material or method mentioned

For citation: Bystrov A.M., Kuznetsov A.A., Davydova E.V., Gavrilova T.V. Pigment Epithelium-Derived Factor as a possible predictor of corneal transplant rejection reaction. Russian ophthalmological journal. 2026; 19 (2): 164-9 (In Russ.). <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2026-19-2-164-169>

Трансплантация роговицы является методом выбора в лечении широкого спектра офтальмологической патологии, к которой относятся эктазии, дистрофии, рубцовые помутнения, травматические повреждения роговицы в исходе кератита и другие состояния [1, 2]. Основными составляющими успешного исхода кератопластики являются сохранность иммунной толерантности внутренних сред глаза, качество и правильный подбор донорского материала и адекватное послеоперационное ведение пациента. Однако, несмотря на соблюдение оптимальных условий кератопластики, риск отторжения трансплантата остается высоким, составляя около 10–20 % случаев в течение первых пяти лет после операции [3, 4].

Ключевыми факторами, влияющими на риск развития реакции отторжения трансплантата, являются наличие провоспалительного фона и формирование зон неоваскуляризации, приводящих к нарушению оптических свойств роговицы и снижению функционального результата операции. Одним из наиболее значимых регуляторов ангиогенеза

внутренних сред глаза является фактор, вырабатываемый пигментным эпителием (Pigment epithelium-derived factor, PEDF), — гликопротеин, относящийся к суперсемейству ингибиторов сериновых протеаз, серпинам [5]. Впервые он был идентифицирован как фактор дифференцировки нейронов, выделяемый клетками пигментного эпителия сетчатки глаза человека, а затем было обнаружено, что он является самым мощным ингибитором патологического ангиогенеза в глазах млекопитающих. PEDF обладает выраженными антиангиогенными свойствами и способен ингибировать рост новообразованных сосудов, что делает его важным компонентом терапии различных заболеваний, связанных с патологическим ангиогенезом, включая диабетическую ретинопатию, возрастную макулярную дегенерацию и сосудистые опухоли. В контексте трансплантации роговицы PEDF приобретает особое значение благодаря своей способности подавлять реакцию отторжения трансплантата за счет ингибирования пролиферации и миграции эндотелиоцитов, что критически важно для поддержания аваскулярного состо-

яния роговицы. Кроме того, PEDF оказывает противовоспалительное действие, снижая экспрессию провоспалительных цитокинов и хемокинов, таких как интерлейкин-6 (IL-6), интерферон гамма (IFN- γ) и фактор некроза опухоли альфа (TNF- α), подавляет активацию Т-цитотоксических лимфоцитов и фибробластов роговицы путем регуляции экспрессии α -гладкомышечного актина (α -SMA), отличительного маркера зрелых миофибробластов, в целом снижая риск развития фиброзной пролиферации в зоне трансплантата [6]. Конститутивно клетки эпителия роговицы активно экспрессируют иммунорегуляторные молекулы, одной из которых является PEDF, что позволяет детектировать его в слезной жидкости (СЖ) [6]. Снижение концентрации PEDF в СЖ пациентов с высоким риском отторжения трансплантата после сквозной кератопластики (СК) может служить предиктором развития воспалительных процессов и неоангиогенеза, что повышает риск отторжения [7].

ЦЕЛЬ работы — изучение концентрации PEDF в СЖ в динамике после проведения СК и оценка его роли в реализации реакции отторжения трансплантата роговицы.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В нерандомизированном клиничко-иммунологическом исследовании участвовало 48 пациентов с патологией роговицы, которым на базе регионального офтальмологического центра ГБУЗ «Челябинская областная клиническая больница» с 2019 по 2023 г. проводилась СК. Среди пациентов было 30 (62,5 %) мужчин и 18 (37,5 %) женщин в возрасте от 35 до 60 лет, средний возраст составил $48,1 \pm 5,4$ года. Отбор пациентов для исследования осуществляли методом сплошной выборки. Всем пациентам проводилась СК по стандартной технологии с наложением непрерывного кругового шва [8].

Для получения референсных значений концентрации PEDF в СЖ в исследование включена контрольная группа, состоящая из 15 здоровых добровольцев (10 мужчин, 5 женщин) без офтальмологической патологии в возрасте $49,8 \pm 2,3$ года.

Начиная с 1-го дня послеоперационного периода все пациенты получали стандартную локальную антибактериальную и противовоспалительную терапию стероидными гормонами.

Период наблюдения за пациентами после проведения СК составил 12 мес. За это время зафиксировано 13 (27 %) случаев отторжения трансплантата. Ретроспективно, по факту наличия реакции отторжения, было сформировано две подгруппы: в 1-ю подгруппу ($n = 35$) вошли пациенты, у которых за наблюдаемый период не выявлено отторжения трансплантата роговицы, во 2-ю ($n = 13$) — пациенты с наличием подтвержденной клиническими и инструментальными методами реакции отторжения трансплантата роговицы в любой срок в течение года после операции.

Для иммунологического исследования в динамике послеоперационного периода проводили забор СЖ методом самотека без стимуляции в градуированные цилиндрические пробирки объемом 2 мл (Россия) ежемесячно в течение первого полугодия после операции, затем каждые 3 мес до конца срока наблюдения. Иммунологическое исследование концентрации PEDF (нг/мл) выполнено методом мультиплексного анализа на иммуноанализаторе Luminex Magpix 100 (США) с использованием тест-системы Bio-Rad (США).

Исследование одобрено решением этического комитета ФГБОУ ВО ЮУГМУ Минздрава России (протоколы № 8 от 02.10.2019, № 7 от 05.11.2024). От пациентов были

получены письменные информированные согласия на забор биологического материала.

Клиничко-функциональное исследование включало визометрию с определением максимальной корригированной остроты зрения (МКОЗ), оценку состояния переднего отрезка глаза методом биомикроскопии и диагностику неоваскуляризации трансплантата роговицы с помощью оптической когерентной томографии (ОКТ) в режиме ангиографии (ОКТА) с определением площади новообразованных сосудистых пучков (ОКТ Avanti с AngioVue и модулем адаптера для роговицы, Optovue Inc., Фримонт, Калифорния). Степень (объем) неоваскуляризации трансплантата оценивали как процентное соотношение площади неоваскуляризации к общей площади трансплантата в режиме *en face*.

Статистическая обработка результатов проводилась методами непараметрической статистики в рамках пакета прикладных программ Statistica v.10.0 for Windows. Значимость различий между показателем PEDF в динамике исследования оценивали с помощью непараметрических критериев Манна — Уитни и Вилкоксона для зависимых выборок с уровнем статистической значимости $p < 0,05$. Данные представлены как интерквартильный размах (Q_1 ; Q_3) и медиана (Me).

РЕЗУЛЬТАТЫ

За исследуемый период наблюдения в обеих подгруппах пациентов выявлены изменения клиничко-функциональных показателей, а также иммунологические сдвиги (PEDF) в СЖ.

Динамическое наблюдение за пациентами в течение года после СК в обеих подгруппах показало значимое увеличение объема васкуляризации по данным биомикроскопии и ОКТА уже на 30-е сутки в сравнении с показателем контрольной группы. За весь период наблюдения в подгруппе 1 зафиксировано нарастание объема васкуляризации от 30-х к 180-м суткам в 2,8 раза, к 270-м суткам — в 5,5 раза, к 360-м суткам — в 8,1 раза. В подгруппе 2 на 30-е сутки показатель объема васкуляризации превышал аналогичный в подгруппе 1 в 2,6 раза с нарастанием к 180-м суткам в 10,8 раза, к 360-м суткам — в 39 раз, что является отражением процессов неоангиогенеза у лиц с наличием клинически и инструментально подтвержденной реакции отторжения трансплантата. Величина МКОЗ в подгруппе 1 на 30-е сутки составила в среднем 0,11, к концу периода наблюдения увеличилась до 0,33; во 2-й подгруппе, напротив, с 30-х суток (0,10) значимо снизилась до 0,04 на 360-е сутки наблюдения, что свидетельствует о прогрессировании реакции отторжения (табл. 1).

Иная картина наблюдалась в подгруппе 2, где уровень PEDF на 30-е сутки и до конца периода наблюдения оставался сниженным и значимо отличался от показателя контрольной группы с 30-х суток и подгруппы 1 со 120-х суток, что, наряду с увеличением объема васкуляризации и снижением МКОЗ, может свидетельствовать о нарушении контроля над процессами неоваскуляризации и способствовать отторжению трансплантата. Концентрация PEDF в подгруппах 1 и 2 на 30-е сутки наблюдения была значимо ниже, чем в контрольной группе, оставаясь в подгруппе 1 на низком уровне до 90-х суток, с нарастанием показателя до нормальных значений к 120-м суткам, и регистрировалась в диапазоне нормы до конца периода наблюдения (табл. 2).

Детальный анализ биомикроскопической картины наблюдаемых пациентов показал, что у пациентов подгруппы 2 практически во всех случаях имеют место признаки воспаления в переднем отрезке глаза (рис. 1), в отличие от паци-

Таблица 1. Клинико-функциональные показатели в динамике наблюдения после сквозной кератопластики (Ме (Q₁; Q₃))
Table 1. Clinical and functional indicators in the dynamics of follow-up after end-to-end keratoplasty (Me (Q₁; Q₃))

Показатель Indicator	Группа контроля Control group n = 15	Подгруппа 1 без отторжения Subgroup 1 without rejection n = 35								Подгруппа 2 с наличием реакции отторжения Subgroup 2 with rejection reaction n = 13							
		сутки наблюдения day of observation								сутки наблюдения day of observation							
		30	60	90	120	150	180	270	360	30	60	90	120	150	180	270	360
Объем васкуляри- зации, % Volume of vasculari- zation, %	0,0 (0,0;0,0)	1,2 (0,9; 1,3)#	1,5 (1,1; 2,1)#	2,4 (2,1; 3,2)#	2,3 (1,1; 3,6)#	3,1 (1,7; 4,4)#	4,3 (2,9; 5,8)#	6,6 (3,1; 7,2)#	9,7 (4,2; 10,1)***	3,2 (1,2; 4,1)*#	4,7 (2,1; 6,6)*#	11,7 (8,5; 12,3)*#	21,6 (17,2; 25,6)*#	25,7 (20,4; 29,7)*#	34,2 (22,2; 39,6)*#	37,8 (24,6; 43,8)*#	47,2 (33,6; 54,6)***
МКОЗ, ед BCVA, un	0,97 (0,86; 1,0)	0,11 (0,08; 0,16) #	0,17 (0,09; 0,2) #	0,27 (0,12; 0,32) #	0,23 (0,15; 0,32) #	0,17 (0,11; 0,23) #	0,26 (0,19; 0,33) #	0,31 (0,21; 0,31) #	0,33 (0,27; 0,37)**	0,11 (0,09; 0,2) #	0,09 (0,08; 0,12)* #	0,08 (0,07; 0,09)* #	0,08 (0,07; 0,08)* #	0,07 (0,07; 0,08)* #	0,06 (0,05; 0,07)* #	0,06 (0,05; 0,07)* #	0,04 (0,03; 0,05)****

Примечание. Здесь и в таблице 2: # — статистически значимые ($p < 0,05$) различия с группой контроля; * — с подгруппой 1; ** — между 30-ми и 360-ми сутками.

Note. Here and in the table 2: # — statistically significant ($p < 0.05$) differences with the control group; * — with subgroup 1; ** — between 30 and 360 days.

Таблица 2. Содержание PEDF в слезной жидкости в динамике наблюдения после сквозной кератопластики (Ме (Q₁; Q₃))
Table 2. PEDF content in tear fluid in the dynamics of follow-up after penetrating keratoplasty (Me (Q₁; Q₃))

Показатель Indicator	Группа контроля Control group n = 15	Подгруппа 1 без отторжения Subgroup 1 without rejection n = 35								Подгруппа 2 с наличием реакции отторжения Subgroup 2 with rejection reaction n = 13							
		сутки наблюдения day of observation								сутки наблюдения day of observation							
		30	60	90	120	150	180	270	360	30	60	90	120	150	180	270	360
PEDF, нг/мл PEDF, ng/ml	15,9 (14,7;17,5)	8,90 (7,1; 10,2)#	9,67 (7,7; 10,8)#	10,34 (8,5; 11,6)#	15,5 (13,9; 16,6)	14,2 (12,7; 16,6)	17,2 (15,4; 18,9)	16,7 (14,7; 18,1)	17,5 (17,1; 19,6)**	7,9 (5,4; 9,2)#	6,9 (4,7; 8,3)#	5,7 (4,9; 7,2)*#	8,6 (7,2; 9,9)*#	8,3 (6,4; 10,2)*#	10,2 (8,6; 12,6)*#	9,7 (8,7; 11,2)*#	9,8 (10,5; 13,2)*#

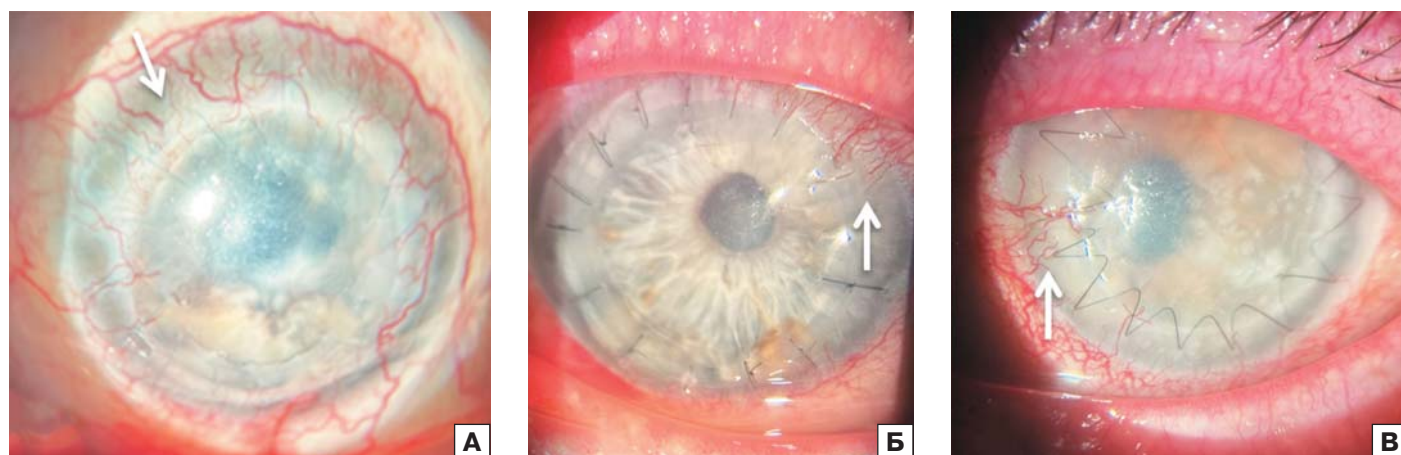


Рис. 1. Биомикроскопическая картина переднего отрезка глаза пациента Д. подгруппы 2. А (270-е сутки) — выраженная васкуляризация (стрелка), эрозированная поверхность трансплантата, рубцовые изменения; Б (120-е сутки) — начальная васкуляризация (стрелка), отек эпителия и стромы трансплантата; В (150-е сутки) — умеренная васкуляризация (стрелка), отек эпителия и стромы трансплантата, поверхность частично эрозирована, участки фиброобразования

Fig. 1. Biomicroscopic image of the anterior segment of the eye of patient D., subgroup 2. A (270th day) — pronounced vascularization (arrow), eroded surface of the transplant, cicatricial changes; Б (120th day) — initial vascularization (arrow), edema of the epithelium and stroma of the transplant; В (150th day) — moderate vascularization (arrow), edema of the epithelium and stroma of the transplant, the surface is partially eroded, areas of fibrosis

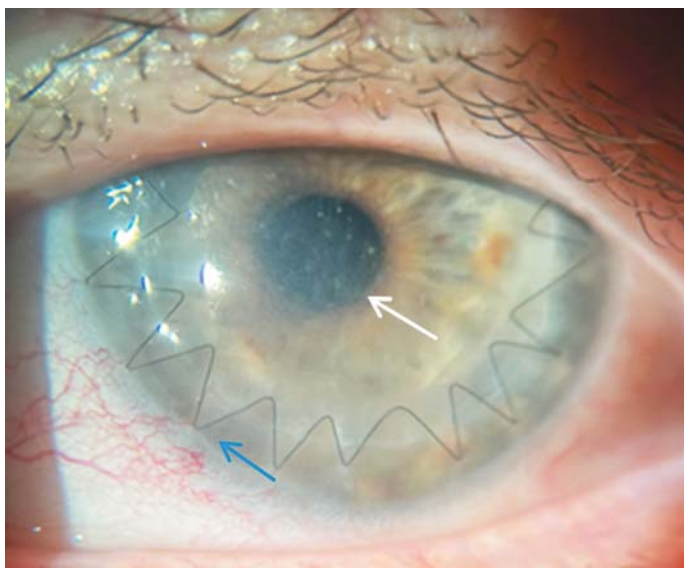


Рис. 2. Биомикроскопическая картина переднего отрезка глаза пациента С. подгруппы 2 (90-е сутки): преципитаты на эндотелии трансплантата (белая стрелка), васкуляризация на границе с трансплантатом (синяя стрелка), отек стромы и эпителия, умеренная инъекция

Fig. 2. Biomicroscopic picture of the anterior segment of the eye of patient S., subgroup 2 (90th day): precipitates on the endothelium of the transplant (white arrow), vascularization at the border with the transplant (blue arrow), edema of the stroma and epithelium, moderate injection

ентов подгруппы 1. Воспалительные явления представлены в виде смешанной инъекции, преципитатов на эндотелии трансплантата роговицы и опалесценции влаги передней камеры (рис. 2).

ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные нами в ходе исследования данные о содержании PEDF в СЖ пациентов с отторжением трансплантата указывают на смещение баланса в сторону проангиогенных факторов. Известно, что дисбаланс про- и антиангиогенных факторов лежит в основе неоваскуляризации роговицы [9, 10]. Пигментный эпителиальный дериватный фактор, снижение которого нами зафиксировано в подгруппе 2 на протяжении всего периода наблюдения, секретируется клетками пигментного эпителия сетчатки и является одним из ключевых ингибиторов, связанных с аваскулярным состоянием роговицы, стекловидного тела и внешнего слоя сетчатки глаза. Дисбаланс между PEDF и фактором роста эндотелия сосудов (VEGF) в клетках пигментного эпителия, индуцируемый окислительным клеточным стрессом, воспалением, травматизацией, может способствовать нарушению регуляции пролиферации эндотелиальных клеток [10, 11]. Сравнительно недавно было показано, что PEDF является не только ингибитором ангиогенеза, но также подавляет окислительный стресс и воспалительные реакции в эндотелиоцитах, Т-лимфоцитах, макрофагах, адипоцитах, обладает антитромботическими и антифибротическими свойствами [11].

Описано несколько механизмов взаимодействия PEDF в качестве конкурентного антагониста проангиогенных молекул и своих основных лигандов, к которым относятся липопротеиновый рецептор (LRP6), рецептор VEGF (VEGFR-1) и рецептор нейропилина-1 (NRP1) на поверхности эндотелиальных клеток [12, 13]. В результате взаимодействия PEDF

и LRP6 происходит активация сигнальных путей, которые блокируют пролиферацию и миграцию эндотелиальных клеток. LRP6 является корецептором в сигнальном пути Wnt/ β -катенин и его связывание с PEDF приводит к ингибированию данного пути путем блокировки фосфорилирования LRP6, необходимого для активации сигнального пути Wnt/ β -катенин, в результате чего резко снижается накопление β -катенина в цитоплазме и ядре клетки, что препятствует транскрипционной активности генов-мишеней, таких как циклин D1 и с-Мус, которые стимулируют клеточный цикл и пролиферацию эндотелиоцитов [14]. Связывание PEDF с VEGFR-1 (Flt-1) препятствует активации сигнального пути PI3K/Akt, предотвращая фосфорилирование Akt, через каскад реакций, включающий фосфатидилинозитол-3-киназу (PI3K). Вне активации Akt эндотелиальные клетки становятся менее устойчивыми к окислительному клеточному стрессу и могут подвергаться апоптозу [15]. NRP1 служит кофактором для VEGFR-2 и участвует в передаче сигналов от VEGF. Связывание PEDF с NRP1 нарушает передачу сигнала через митогенактивируемые протеинкиназы (MAPK), ингибируя фосфорилирование и активацию ERK1/2, что препятствует пролиферации и выживанию клеток. Кроме того, ERK1/2 участвует в регуляции экспрессии матричных металлопротеиназ (MMPs), необходимых для ремоделирования внеклеточного матрикса и миграции клеток. Блокировка этого пути приводит к снижению активности MMPs и уменьшению способности эндотелиальных клеток мигрировать и формировать новые сосуды. Отдельные данные свидетельствуют о том, что PEDF может влиять на сигнальный путь ядерного фактора каппа В (NF- κ B), подавляя его активацию, чем способствует уменьшению воспалительного ответа и повышению чувствительности клеток к апоптозу [16]. Показанное нами снижение концентрации PEDF в СЖ пациентов подгруппы 2 может служить вероятной причиной развития воспалительных изменений и избыточной васкуляризации роговицы, приводящих к отторжению аллотрансплантата.

В то же время ключевую роль в инициации воспаления в переднем отрезке глаза после кератопластики играет сеть новообразованных сосудов в изначально бессосудистой роговице, благодаря которым осуществляется приток иммуннокомпетентных клеток, таких как Т-лимфоциты, макрофаги и дендритные клетки, во внутренние среды глаза. Дендритные клетки, в свою очередь, захватывают антигены трансплантата и мигрируют в региональные лимфатические узлы, где презентуют антигены наивным Т-лимфоцитам [17]. Последние подвергаются активации, возвращаются в роговицу и иницируют процессы антигеленезависимой клеточной цитотоксичности. Активация инфламмасом посредством передачи сигнала с TLR приводит к экспрессии генов, в частности ядерного фактора транскрипции NF- κ B, отвечающих за синтез провоспалительных цитокинов IL-1 β , IL-18, IL-6, IL-8, прокаспазы 1, ряда хемокинов — CCL5, CXCL9, CXCL10, CXCL1 и матричных металлопротеиназ (MMP) 1, 12, 10, 3, 9; вазоактивных пептидов и факторов роста в заинтересованных тканях трансплантата роговицы, реализуя воспалительный каскад во внутренних средах глаза, что приводит к прогрессированию отторжения трансплантата и, как следствие, снижению показателя МКОЗ [18].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В последние годы становится все более очевидным, что понимание процессов иммунного реагирования в иммунопривилегированных бессосудистых регионах глаза является ключом к разработке превентивных и лечебных мер у пациентов, перенесших сквозную пластику аллотран-

сплантатом роговицы. Наши исследования подчеркивают важность оценки факторов, влияющих на процессы неоангиогенеза. Низкий уровень PEDF ассоциирован с повышенным риском развития неоваскуляризации и воспалительных изменений после кератопластики. Развитие воспалительного процесса во внутренних средах глаза во многом обусловлено неоангиогенезом в ранее бессосудистых зонах с привлечением иммунокомпетентных клеток и развитием отсроченных клеточных реакций с последующим отторжением трансплантата и прогрессивной потерей зрения.

Литература/References

1. Быстров А.М., Кузнецов А.А. Динамика показателей VEGF и TGF- β в слезной жидкости как предиктор реакции отторжения трансплантата роговицы. *Российский иммунологический журнал*. 2025; 28 (1): 103–8. [Bystrov A.M., Kuznetsov A.A. Dynamics of VEGF and TGF- β indices in tear fluid as a predictor of corneal transplant rejection. *Russian journal of immunology*. 2025; 28 (1): 103–8 (In Russ.).] doi: 10.46235/1028-7221-16977-DOV
2. Patnam M, Dommaraju SR, Masood F, et al. Lymphangiogenesis guidance mechanisms and therapeutic implications in pathological states of the cornea. *Cells*. 2023; 12 (2): 319. doi: 10.3390/cells12020319
3. Hori J, Yamaguchi T, Keino H, Hamrah P, Maruyama K. Immune privilege in corneal transplantation. *Prog Retin Eye Res*. 2019; 9 (72): 55–61. doi: 10.1016/j.preteyeres.2019.04.002
4. Schönberg A, Hamdorf M, Bock F. Immunomodulatory strategies targeting dendritic cells to improve corneal graft survival. *J Clin Med*. 2020; 5 (283): 1280. doi: 10.3390/jcm9051280
5. Major J, Foronczewicz B, Szaflik JP, Mucha K. Immunology and donor-specific antibodies in corneal transplantation. *Archivum Immunologiae et Therapiae Experimentalis*. 2021; 11 (69): 32. doi: 10.1007/s00005-021-00636-3
6. Ma B, Zhou Y, Liu R, et al. Pigment epithelium-derived factor (PEDF) plays anti-inflammatory roles in the pathogenesis of dry eye disease. *The ocular surface*. 2021; 20: 70–85. doi: 10.1016/j.jtos.2020.12.007
7. Mohan RR, Gupta S, Kumar R, et al. Tissue-targeted and localized AAV5-DCN and AAV5-PEDF combination gene therapy abrogates corneal fibrosis

- and concurrent neovascularization in rabbit eyes in vivo. *The Ocular Surface*. 2024; 32: 13–25. doi: 10.1016/j.jtos.2024.01.001
8. Мороз З.И. Кератопластика и кератопротезирование. В кн.: Аветисов С.Э., Егоров Е.А., Мошетьова Л.К., ред. Национальное руководство по офтальмологии. Москва: ГЭОТАР-Медиа; 2008: 472–4. [Moroz Z.I. Keratoplasty and keratoprosthesis. In: Avetisov S.E., Egorov E.A., Moshetova L.K., eds. National Guidelines for Ophthalmology. Moscow: GEOTAR-Media; 2008: 472–4 (In Russ.).]
 9. Chu X, Yin Y, Chen S, et al. Suppressive role of Pigment Epithelium-derived Factor in a rat model of corneal allograft rejection. *Transplantation*. 2024; 108 (10): 2072–83. doi: 10.1097/TP.0000000000005032
 10. Drzyzga Ł, Śpiewak D, Dorecka M, Wyględowska-Promieńska D. Available therapeutic options for corneal neovascularization: A review. *International Journal of Molecular Science*. 2024; 25 (10): 5479. doi: 10.3390/ijms25105479
 11. Yamagishi SI, Matsui T. Pigment epithelium-derived factor: a novel therapeutic target for cardiometabolic diseases and related complications. *Current Medicinal Chemistry*. 2018; 25 (13): 1480–500.
 12. Yeh SI, Yu SH, Chu HS, et al. Pigment epithelium-derived factor peptide promotes corneal nerve regeneration: an in vivo and in vitro study. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2021 Jan 4; 62 (1): 23. doi: 10.1167/jovs.62.1.23
 13. Maharana PK, Mandal S, Kaweri L, et al. Immunopathogenesis of corneal graft rejection. *Indian Journal of Ophthalmology*. 2023; 71 (5): 1733–8. doi: 10.4103/IJO.IJO_2866_22
 14. Mandal S, Maharana PK, Kaweri L, et al. Management and prevention of corneal graft rejection. *Indian Journal of Ophthalmology*. 2023; 71 (9): 3149–59. doi: 10.4103/IJO.IJO_228_23
 15. Patnam M, Dommaraju SR, Masood F, et al. Lymphangiogenesis guidance mechanisms and therapeutic implications in pathological states of the cornea. *Cells*. 2023; 12 (2): 319. doi: 10.3390/cells12020319
 16. Chen S, Barnstable CJ, Zhang X, et al. A PEDF peptide mimetic effectively relieves dry eye in a diabetic murine model by restoring corneal nerve, barrier, and lacrimal gland function. *Ocul Surf*. 2024; 32: 1–12. doi: 10.1016/j.jtos.2023.12.002
 17. Di Zazzo A, Gaudenzi D, Yin J, et al. Corneal angiogenic privilege and its failure. *Exp Eye Res*. 2021; 204: 108457. doi: 10.1016/j.exer.2021.108457
 18. Tarte S, Takeuchi O. Pathogen recognition and Toll-like receptor targeted therapeutics in innate immune cells. *Int Rev Immunol*. 2017; 6: 1–17. doi: 10.1080/08830185.2016.1261318

Вклад авторов в работу: А.М. Быстров — разработка дизайна исследования, сбор, анализ и обработка данных, написание статьи; А.А. Кузнецов — сбор и анализ данных; Е.В. Давыдова — разработка концепции и дизайна исследования, написание статьи; Т.В. Гаврилова — разработка дизайна исследования, написание статьи.

Authors' contribution: A.M. Bystrov — research design development, data collection, analysis and processing, writing of the article; A.A. Kuznetsov — data collection and analysis; E.V. Davydova — research concept and design development, writing of the article; T.V. Gavrilova — research design development, writing of the article.

Поступила: 09.02.2025. Переработана: 16.02.2025. Принята к печати: 17.02.2025

Originally received: 09.02.2025. Final revision: 16.02.2025. Accepted: 17.02.2025

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ/INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

¹ ГБУЗ «Челябинская областная клиническая больница», ул. Воровского, д. 70, Челябинск, 454048, Россия

² ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный медицинский университет» Минздрава России, ул. Воровского, д. 64, Челябинск, 454141, Россия

Алексей Михайлович Быстров — врач офтальмологического отделения № 1¹, старший лаборант кафедры медицинской реабилитации и спортивной медицины²

Андрей Александрович Кузнецов — канд. мед. наук, заведующий офтальмологическим центром¹

Евгения Валерьевна Давыдова — д-р мед. наук, доцент, заведующая отделением ранней медицинской реабилитации¹, профессор кафедры медицинской реабилитации и спортивной медицины²

ФГБОУ ВО «Пермский государственный медицинский университет им. академика Е.А. Важенера» Минздрава России, ул. Петровпавловская, д. 26, Пермь, 614990, Россия

Татьяна Валерьевна Гаврилова — д-р мед. наук, профессор, член-корреспондент РАН, заведующая кафедрой офтальмологии

Для контактов: Алексей Михайлович Быстров,

highvision@bk.ru

¹ The Chelyabinsk Regional Clinical Hospital, 70, Vorovskogo St., Chelyabinsk, 454048, Russia

² South-Ural State Medical University, 64, Vorovskogo St., Chelyabinsk, 454141, Russia

Aleksey M. Bystrov — researcher of the ophthalmology department¹, laboratory assistant at the department of medical rehabilitation and sports medicine²

Andrey A. Kuznetsov — Cand. of Med. Sci., head of the ophthalmology center¹

Evgeniya V. Davydova — Dr. of Med. Sci., associate professor, head of the department of early medical rehabilitation¹, professor of the department of medical rehabilitation and sports medicine²

Perm State Medical University named after Academician E.A. Wagner, 26, Petropavlovskaya St., Perm, 614990, Russia

Tatyana V. Gavrilova — Dr. of Med. Sci., professor, corresponding member of the Russian Academy of Sciences, head of the department of ophthalmology

For contacts: Aleksey M. Bystrov,

highvision@bk.ru

<https://doi.org/10.21516/2072-0076-2026-19-2-170-176>



Апокринная гидроцистома бульбарной конъюнктивы: наблюдение из практики

Е.А. Дроздова¹, Е.Л. Казачков¹✉, Т.Ю. Кожевникова², Д.Д. Воропаев^{1,2}

¹ ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный медицинский университет» Минздрава России, ул. Воровского, д. 64, Челябинск, 454092, Россия

² Офтальмологическая клиника ООО МО «Оптик-Центр», ул. 40-летия Октября, д. 15/1, Челябинск, 454007, Россия

Цель работы — представление клинического случая апокринной гидроцистомы (АГ) бульбарной конъюнктивы и особенностей клинко-морфологической диагностики данного заболевания. Женщина 55 лет обратилась с жалобами на безболезненное образование в назальном секторе бульбарной конъюнктивы левого глаза, существующее около 30 лет, которое не увеличивалось, сохраняло стабильную форму и окраску, но в последний год появился дискомфорт при моргании. При биомикроскопии со щелевой лампой в назальном секторе бульбарной конъюнктивы левого глаза на 9 ч на расстоянии 1,5 мм от лимба обнаружено приподнятое над поверхностью глаза желтовато-серое кистовидное образование до 3,5 мм в диаметре, безболезненное при пальпации, плотно связанное с конъюнктивой и легко смещаемое в пределах подлежащих тканей. Оптическая когерентная томография переднего отрезка глаза показала, что образование состоит из нескольких пузырьков, заполненных жидкостью средней рефлексивности, окружающих центральную зону с мелкоячеистой структурой и арелфлексивными зонами. Заподозрено наличие атипичной эпителиальной инклюзионной кисты бульбарной конъюнктивы. Под местной анестезией образование иссечено в пределах неизмененных окружающих тканей. Микроскопическое исследование обнаружило структурные изменения, характерные для АГ бульбарной конъюнктивы, включая ШИК-позитивную окраску содержимого полостей. Иммуногистохимический (ИГХ) анализ материала продемонстрировал экспрессию клетками выстилки кистозных образований SMA, CK7, CDGFP-15 и p63. Анализ результатов клинко-морфологического исследования и ИГХ-изучения тканевого материала позволил диагностировать многокамерную субэпителиальную АГ. При контрольном осмотре через 2 недели зарегистрирована реституция эпителия в проекции операционной раны с отсутствием признаков воспаления. **Заключение.** Современным стандартом диагностики АГ бульбарной конъюнктивы является морфологическое исследование удаленной опухоли, указывающее на происхождение новообразования из эпителиоцитов потовых желез. При обнаружении кистовидного образования в бульбарной конъюнктиве целесообразно включить в дифференциально-диагностический спектр АГ с последующим структурным анализом тканевого материала.

Ключевые слова: апокринная гидроцистома; бульбарная конъюнктивит; клинко-морфологические особенности

Конфликт интересов: отсутствует.

Прозрачность финансовой деятельности: никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

Для цитирования: Дроздова Е.А., Казачков Е.Л., Кожевникова Т.Ю., Воропаев Д.Д. Апокринная гидроцистома бульбарной конъюнктивы: наблюдение из практики. Российский офтальмологический журнал. 2026; 19 (2): 170-6. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2026-19-2-170-176>

Apocrine hydrocystoma of the bulbar conjunctiva: a case report

Elena A. Drozdova¹, Evgeny L. Kazachkov¹✉, Tatyana Yu. Kozhevnikova², Dmitry D. Voropaev^{1,2}

¹ South Ural State Medical University, 64, Vorovskogo St., Chelyabinsk, 454092, Russia

² "Optic-Center" ophthalmological clinic, 15/1, 40 let Oktyabrya St., Chelyabinsk, 454007, Russia
doctorkel@yandex.ru

The purpose of the study was to demonstrate a clinical case of apocrine hydrocystoma (AH) of the bulbar conjunctiva and the features of clinical and morphological diagnostics of this disease. Clinical observation. A 55-year-old woman complained of a painless lesion in the nasal sector of the bulbar conjunctiva of the left eye that had existed for about 30 years and that had not increased in size and retained a stable shape and color, but in the last year, discomfort appeared when blinking. Slit-lamp biomicroscopy revealed a yellowish-gray cystic lesion up to 3.5 mm in diameter, raised above the surface of the eye at 9 o'clock at a distance of 1.5 mm from the limbus. It was painless on palpation, tightly connected to the conjunctiva, and easily displaced within the underlying tissues. Optical coherence tomography (OCT) of the anterior segment of the eye showed that the lesion consisted of several vesicles filled with medium-reflectivity fluid surrounding a central zone with a fine-mesh structure and areflexive zones. An atypical epithelial inclusion cyst of the bulbar conjunctiva was suspected. Under local anesthesia, the lesion was excised within the intact surrounding tissues. Microscopic examination revealed structural changes characteristic of bulbar conjunctival AH, including PAS-positive staining of the cavity contents. Immunohistochemical (IHC) analysis of the material demonstrated expression of SMA, CK7, CDGFP-15 and p63 by the cells lining the cystic formations. Analysis of the results of the clinical and morphological examination and IHC study of the tissue material made it possible to diagnose multilocular subepithelial AH. During the control examination after 2 weeks, restitution of the epithelium in the projection of the surgical wound with no signs of inflammation was recorded. Conclusion. The modern standard for diagnosing AH of the bulbar conjunctiva is a morphological examination of the removed tumor, indicating the origin of the neoplasm from the epithelial cells of the sweat glands. If a cystic formation is detected in the bulbar conjunctiva, it is advisable to include AH in the differential diagnostic spectrum with subsequent structural analysis of the tissue material.

Keywords: apocrine hidrocystoma; bulbar conjunctiva; clinical and morphological features

Conflict of interest: none.

Financial disclosure: none of the authors has a financial interest in the materials or methods presented.

For citation: Drozdova E.A., Kazachkov E.L., Kozhevnikova T.Yu., Voropaev D.D. Apocrine hidrocystoma of the bulbar conjunctiva: a case report. Russian ophthalmological journal. 2026; 19 (2): 170-6 (In Russ.). <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2026-19-2-170-176>

Апокринная гидроцистома (АГ) — группа доброкачественных опухолей протоков потовых желез различного строения [1]. Эти кистозные новообразования встречаются на веках, зачастую в проекции их внутреннего канта (железы Моль), коже головы, шеи, туловища, пальцев, аногенитальной зоны [2, 3]. Среди опухолевых поражений глаза АГ бульбарной конъюнктивы встречается крайне редко, в литературе имеются описания единичных наблюдений [4, 5]. При этом следует отметить, что в Международной классификации опухолей глаз (МКО, ВОЗ, 2018) АГ бульбарной конъюнктивы в перечне новообразований нет [6]. В 5-м издании МКО глаз и орбиты (ВОЗ, 2023) данная ситуация сохраняется [7]. В Клинических рекомендациях 2024 г. «Доброкачественные опухоли век и конъюнктивы» [8] протоковые гидроцистомы век относят к доброкачественным опухолям придатков век, в то время как в перечне новообразований конъюнктивы гидроцистомы отсутствуют.

Диагноз АГ бульбарной конъюнктивы основывается на результатах исследований, которые включают сбор анамнеза, физикальный осмотр, визометрию, биомикроскопию, оптическую когерентную томографию (ОКТ), гистологическое и иммуногистохимическое (ИГХ) изучение удаленного новообразования с фоторегистрацией выявленных изменений [8, 9].

Учитывая уникальность локализации АГ в бульбарной конъюнктиве и единичные наблюдения, описанные в лите-

ратуре, считаем целесообразным описание и анализ каждого конкретного случая данной патологии.

ЦЕЛЬ работы — представление клинического случая АГ бульбарной конъюнктивы и особенностей клинкоморфологической диагностики данного заболевания.

Клиническое наблюдение. Пациентка С. 55 лет, неработающая, обратилась в офтальмологическую клинику с жалобами на образование в назальном секторе бульбарной конъюнктивы левого глаза. Со слов пациентки, образование появилось около 30 лет назад, не увеличивалось в размерах, сохраняло стабильную форму и окраску, однако в последний год стал возникать эпизодический дискомфорт при моргании. В анамнезе миопия слабой степени и артериальная гипертензия.

При биомикроскопии со щелевой лампой в назальном секторе бульбарной конъюнктивы левого глаза на 9 ч на расстоянии 1,5 мм от лимба обнаружено приподнятое над поверхностью глаза желтовато-серое кистовидное образование в виде полусферы до 3,5 мм в диаметре (рис. 1), флюктуирующее, эластическое, безболезненное при пальпации, плотно связанное с конъюнктивой и легко смещаемое в пределах подлежащих тканей.

С целью уточнения структуры образования выполнена ОКТ переднего отрезка глаза (рис. 2). Образование состояло из нескольких полупрозрачных пузырьков, заполненных жидкостью средней рефлексивности, которые окружали центральную зону с более плотной, мелкоячеистой структурой и арефлексивными зонами.

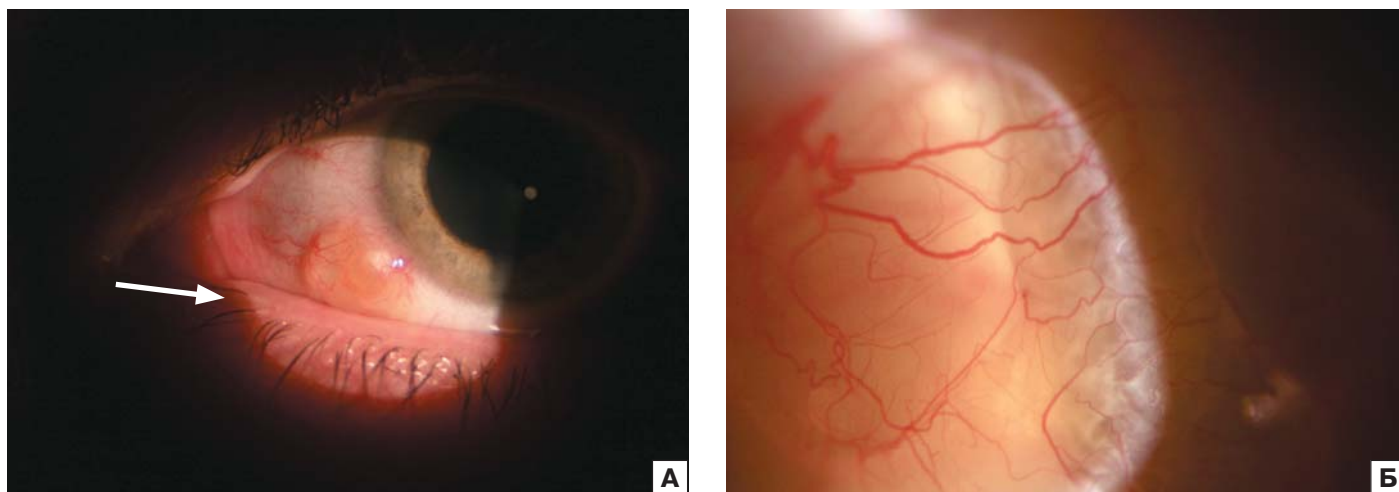


Рис. 1. Биомикроскопия со щелевой лампой апокринной гидроцистомы бульбарной конъюнктивы левого глаза пациентки С. 55 лет (описание в тексте). А — увеличение в 6 раз (стрелка); Б — деталь рисунка А, увеличение в 25 раз

Fig. 1. Slit-lamp biomicroscopy of apocrine hidrocystoma of the bulbar conjunctiva of the left eye of patient S., 55 years old (description in text). A — 6× magnification (indicated by arrow); Б — detail of Fig.1, A 25× magnification

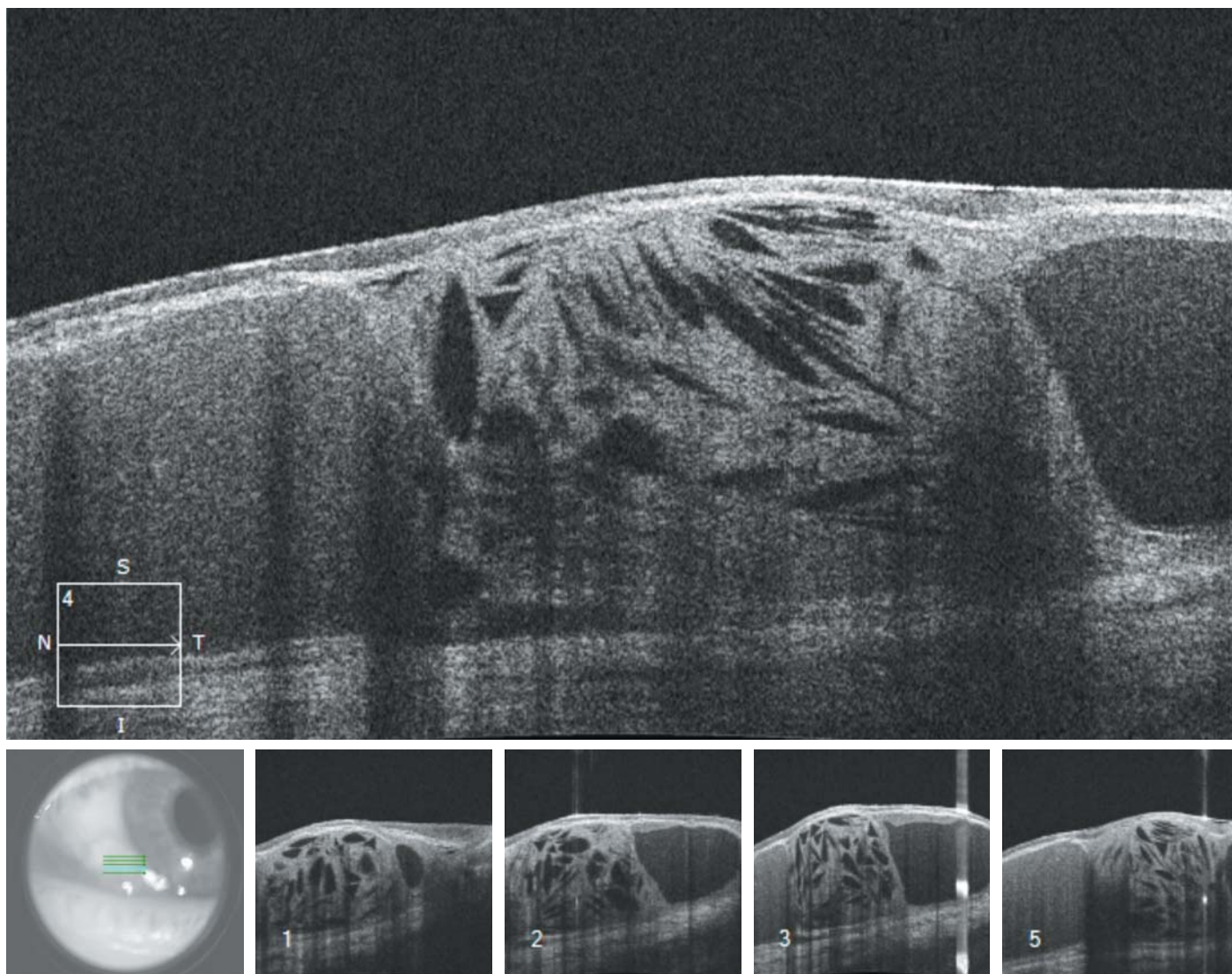


Рис. 2. Результаты оптической когерентной томографии переднего отрезка левого глаза пациентки С. 55 лет, с апокринной гидроцистомой бульбарной конъюнктивы (описание в тексте)

Fig. 2. Results of optical coherence tomography of the anterior segment of the left eye of patient S., 55 years old, with apocrine hidrocystoma of the bulbar conjunctiva (description in text)

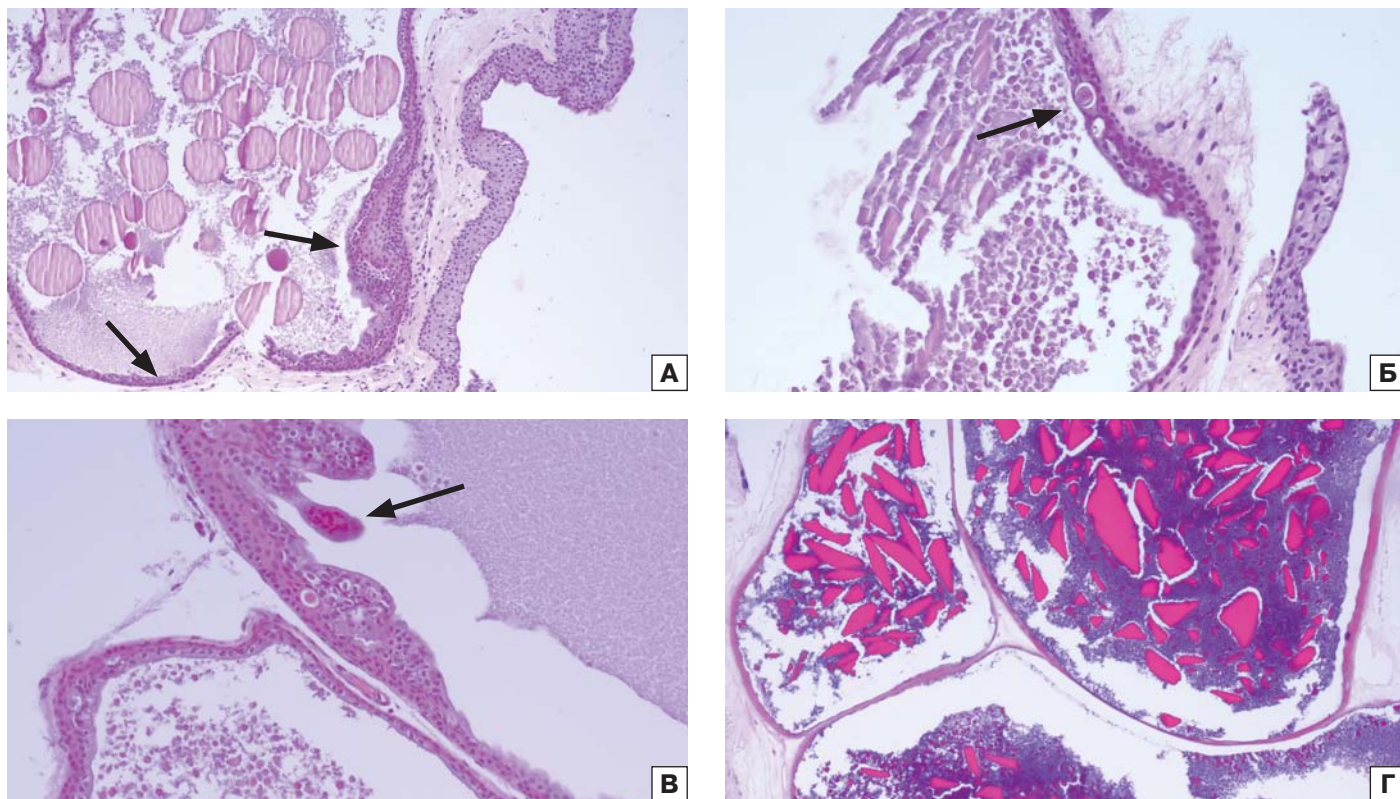


Рис. 3. Гистологическая характеристика апокринной гидроцистомы бульбарной конъюнктивы левого глаза пациентки С. 55 лет. А — одна из полостей мультилокулярного кистозного образования, выстланная одним либо двумя слоями кубических клеток (стрелки); Б — клетки эпителиальной выстилки стенок полостей с округло-овальными ядрами, эозинофильной цитоплазмой и внутриклеточными вакуолями (стрелка); В — мелкие папиллярные выросты в просвет кист, покрытые секреторным эпителием (стрелка); Г — округлые и полигональные продукты апокринной секреции с выраженной ШИК-позитивной реакцией среди слабобазофильного мелкозернистого материала. Окраска: А—В — гематоксилином и эозином, Г — ШИК-реакция; А, Г — $\times 100$; Б, В — $\times 200$

Fig. 3. Histological characteristics of apocrine hidrocystoma of the bulbar conjunctiva of the left eye of patient S., 55 years old. А — one of the cavities of the multilocular cystic formation, lined with one or two layers of cuboidal cells (indicated by arrows); Б — cells of the epithelial lining of the cavity walls with round-oval nuclei, eosinophilic cytoplasm and intracellular vacuoles (indicated by arrow); В — small papillary outgrowths into the lumen of the cysts, covered with secretory epithelium (indicated by arrow); Г — round and polygonal products of apocrine secretion with pronounced PAS-positive reaction among weakly basophilic fine-grained material. Staining: А—В — hematoxylin and eosin, Г — PAS-reaction; А, Г — $\times 100$; Б, В — $\times 200$

Пациентка проконсультирована офтальмоонкологом. С учетом клинических и инструментальных данных высказано предположение о наличии у женщины атипичной эпителиальной инклюзионной кисты бульбарной конъюнктивы левого глаза. Рекомендовано хирургическое удаление образования с последующим гистологическим исследованием. Операция выполнена под местной анестезией 0,4 % оксипрокаином. Образование иссечено в пределах неизмененных окружающих тканей, фиксировано в 10 %-ном растворе нейтрального забуференного формалина, маркировано и направлено в патолого-анатомическое отделение для морфологического исследования.

При микроскопическом исследовании под многослойным плоским неороговевающим покровным эпителием конъюнктивы определялось многокамерное кистозное образование, разновеликие полости которого выстланы одним, чаще двумя слоями цилиндрических либо кубических клеток (рис. 3, А), а в проекции крупных растянутых кист — уплощенными эпителиоцитами. Внутренний слой двухслойной эпителиальной выстилки состоял из кубических или цилиндрических клеток с округлыми или овальными ядрами и эозинофильной цитоплазмой (рис. 3, Б). В единичных полях зрения видны мелкие папиллярные выросты в просвет кист, покрытые секреторным эпителием (рис. 3, В).

В кистозных полостях определяются разновеликие округлые либо полигональные продукты апокринной секреции с ярко выраженной ШИК-позитивной реакцией среди слабобазофильного мелкозернистого материала (рис. 3, Г).

ИГХ-анализ состояния экспрессии ряда ИГХ-маркеров выполнен с использованием иммуногистохимического набора Dako Link48, системы визуализации Prime Vision (ПраймБиоМед, Россия) и контрокрашивания микропрепаратов гематоксилином Майера. Установлено, что внешний слой клеток, выстилающий кистозные полости, позитивно реагировал с SMA (Dako, clone 1A4, 1:1000; USA), т. е. образован вакуолизированными миоэпителиальными клетками (рис. 4, А). Кроме того, клеточные элементы выстилки кист экспрессировали маркеры CK7 (Cell Marque, clone OV-TL12/30, 1:150; USA) (рис. 4, Б), характерные для железистого и переходного эпителиев, метки CDGFP-15 (Rosch, clone EP1582Y, RTU; USA) (рис. 4, В), которые выявляются в апокринном метапластическом эпителии кист апокринных желез подмышечной области, вульвы, век и слухового прохода, а также маркер p63 (Rosch, clone 4A4, RTU; USA) (рис. 4, Г) — фактор транскрипции из семейства генов p53, участвующий в дифференцировке плоского эпителия.

При анализе результатов клинико-морфологического исследования и ИГХ-изучения тканевого материала сфор-

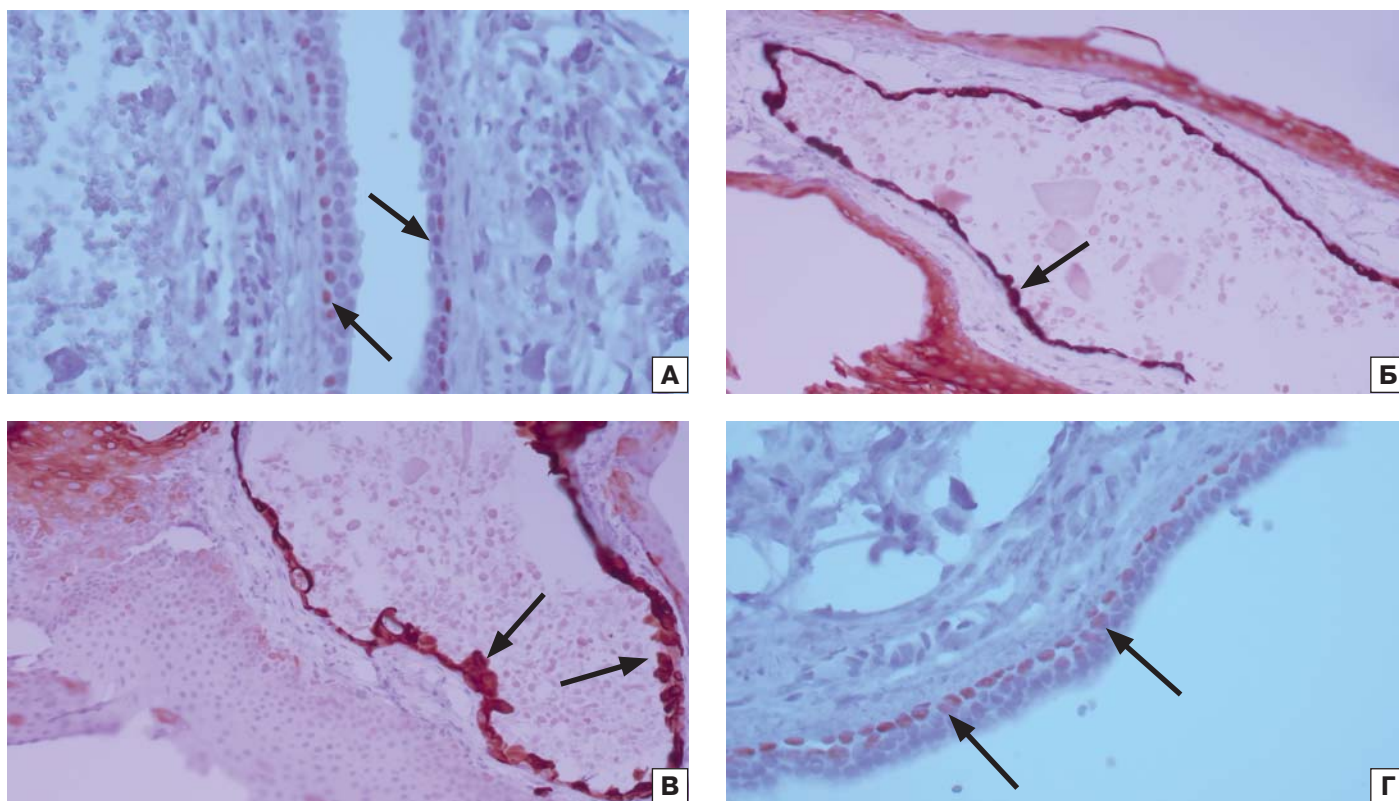


Рис. 4. Иммуногистохимическая характеристика апокринной гидроцистомы бульбарной конъюнктивы левого глаза пациентки С. 55 лет. А — клетки, выстилающие кистозные полости — миоэпителиоциты, позитивно реагирующие с маркером SMA (стрелки); Б — клеточные элементы выстилки кист экспрессируют маркеры CK7, характерные для железистого или переходного эпителия (стрелка); В — в клетках выстилки полостей экспрессия метки CDGFP-15, выявляющейся в апокринном эпителии потовых желез (стрелки); Г — экспрессия маркера p63 (стрелки) — фактора транскрипции, участвующего в дифференцировке плоского эпителия. Окраска: иммуногистохимическое исследование с полимерной тест-системой; А—Г — $\times 400$

Fig. 4. Immunohistochemical characteristics of apocrine hydrocystoma of the bulbar conjunctiva of the left eye of patient S., 55 years old. А — cells lining cystic cavities – myoepitheliocytes, positively reacting with the SMA marker (indicated by arrows); Б — cellular elements of the cyst lining express CK7 markers, characteristic of glandular or transitional epithelium (indicated by arrow); В — in the cells of the lining of the cavities, expression of the CDGFP-15 label, detected in the apocrine epithelium of the sweat glands (indicated by arrows); Г — expression of the p63 marker (indicated by arrows) — a transcription factor involved in the differentiation of squamous epithelium. Staining: immunohistochemical study with a polymer test system; А—Г — $\times 400$

мулировано следующее патоморфологическое заключение: «Код по МКБ-10 D31.0: многокамерная субэпителиальная апокринная гидроцистома назального сектора бульбарной конъюнктивы левого глаза 3,5 мм в диаметре на 7:30 в 1,5 мм от лимба».

В послеоперационном периоде назначены инстилляци: пиклоксидин 0,05 %, дексаметазон 0,1 %, декспантенол 5 %. Период заживления протекал без осложнений. При контрольном осмотре через 2 нед зарегистрирована реституция эпителия в проекции операционной раны с отсутствием признаков воспаления. Пациентка не предъявляла жалоб, отмечала полное исчезновение дискомфорта и была удовлетворена косметическим результатом лечения.

ОБСУЖДЕНИЕ

АГ глаза — одно- или многокамерное кистоподобное новообразование, которое может возникать на веках и бровях [10]. Опухоль нередко развивается из апокринных желез и обычно локализуется вблизи края века, что соответствует выходному отверстию желез Moll [11, 12] — видоизмененных потовых желез, выводные протоки которых находятся на ресничном крае век снаружи от выводных протоков мейбомиевых желёз. Функция желез Moll — выработка иммуноглобулинов, муцина и лизоцима, участвующих в иммунной

защите глаз от инфекции [13]. При этом показано, что железы Moll в бульбарной конъюнктиве отсутствуют.

Следует отметить, что АГ бульбарной конъюнктивы является уникальной опухолью, в литературе встречаются описания лишь отдельных наблюдений [5, 14]. В крупных обзорах последних лет, посвященных клинико-морфологической характеристике поражений конъюнктивы, частота регистрации АГ колеблется в пределах 0–1 % [15, 16]. В МКО глаз (2018) [6], в МКО глаз и орбиты (2023) [7], в Клинических рекомендациях (2024) «Доброкачественные опухоли век и конъюнктивы» [8] АГ бульбарной конъюнктивы упоминается лишь в контексте дифференциальной диагностики с инклюзионными кистами конъюнктивы.

В. Kim, N. Kang [17] предполагают, что развитие АГ в бульбарной конъюнктиве является следствием случайной имплантации секреторных клеток желез Moll из края века на конъюнктивальную поверхность глазного яблока в связи с привычным трением глаза и век пациентами, хотя в нашем наблюдении зуд и чувство «песка в глазу» пациентка не отмечала. Вместе с тем S. Karachrysafi и соавт. [18] считают, что в основе патогенеза АГ бульбарной конъюнктивы лежат механизмы развития новообразования из эктопических GCDFP-15-позитивных клеток апокринных желез *de novo*.

Клиническая картина АГ конъюнктивы неспецифична, основана на биомикроскопии со щелевой лампой и ОКТ. В приведенном наблюдении мы, как и другие авторы [17, 19], выявили приподнятое над поверхностью глаза желтовато-серое кистовидное образование в виде полусферы, внутреннее строение которого было визуализировано с помощью ОКТ переднего отрезка глаза. Кистовидное образование представлено группой полупрозрачных жидкостных пузырьков средней рефлексивности с более плотной арефлексивной центральной зоной. Подобные неспецифичные ОКТ-изменения в переднем отрезке глаза при АГ описывают и другие исследователи, хотя D. Koumaki и соавт. [2] указывают на преимущественно многокамерный характер данной опухоли.

Принято считать [2, 18], что верификация диагноза АГ должна базироваться исключительно на результатах морфологического и ИГХ-исследования операционного материала. При АГ обычно обнаруживают моно- либо многокамерные кисты, выстланные одним, двумя либо несколькими слоями кубических и/или цилиндрических эпителиоцитов с эозинофильной цитоплазмой с округло-овальными ядрами и признаками апокринной секреции [11, 17], что продемонстрировано в нашем наблюдении. Одно-, дву- и многоядрность эпителия с характерной формой эпителиоцитов позволяют диагностировать АГ и провести дифференциальную диагностику этих новообразований с инклюзионными ретенционными кистами конъюнктивы, которые зачастую выстланы одним рядом уплощенных клеток [9, 20].

В литературе имеются указания [19], что для АГ характерны позитивное окрашивание секретируемого материала реактивом Шиффа, а также ряд позитивных ИГХ-реакций эпителиоцитов опухоли с маркерами SMA, CD7, GCDPF-15 и p63, что убедительно подтверждено в нашем исследовании. Позитивное реагирование секретирующих клеток опухоли с реактивом Шиффа (ШИК-реакция), SMA, p63 и GCDPF-15 принято считать дифференциально-диагностическими критериями для определения принадлежности новообразования к группе АГ в отличие от эккринных гидроцистом, при которых результаты этих реакций негативны [2, 13].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

АГ бульбарной конъюнктивы является крайне редким новообразованием глаза. Результаты биомикроскопии со щелевой лампой и ОКТ переднего отрезка глаза неспецифичны, хотя обнаружение многокамерного кистовидного образования в толще бульбарной конъюнктивы позволяют заподозрить АГ. Современным стандартом диагностики данного новообразования является морфологическое исследование удаленной опухоли, в ходе которого выявляется апокринный характер продукции клетками секрета с положительной ШИК-реакцией, а также позитивное реагирование с маркерами GCDPF-15, SMA, p63 и CK7, указывающее на гистогенез АГ (эпителий секреторных спиралей потовых желез).

Таким образом, при обнаружении кистовидного образования в бульбарной конъюнктиве целесообразно включить в дифференциально-диагностический спектр АГ с последующим структурным анализом тканевого материала и идентификацией морфологических и/или ИГХ-маркеров этой редкой опухоли.

Литература/References

- Sanglieza OP, Cassarino DS, Glusac EJ, et al. Hydrocystoma/cystadenoma. In: Elder DE, Massi D, Scolyer RA, Willemze R, eds. WHO Classification of Skin Tumours. 4th ed. Lyon: IARC; 2018.
- Koumaki D, Papadakis M, Lagoudaki E, et al. Apocrine and eccrine hidrocystomas: a clinicopathological study. *Acta Dermatovenereologica Alpina, Pannonica et Adriatica Journal*. 2021; 30 (2): 53–6. <https://doi.org/10.15570/actaapa.2021.13>
- Cape HT, Mukit FA, Mukit M, et al. Apocrine hidrocystoma of the upper eyelid. *Eplasty*. 2022; 22: ic13.
- Charles NC, Panarelli AJ. Episcleral Apocrine hidrocystoma following strabismus surgery. *Ophthalmic Plastic & Reconstructive Surgery*. 2022; 38 (4): e112–e113. <https://doi.org/10.1097/IOP.0000000000002153>
- Lee CY, Kim SS. Apocrine hidrocystoma of bulbar conjunctiva. *Journal of the Korean Ophthalmological Society*. 2024; 65 (12): 795–8. <https://doi.org/10.3341/jkos.2024.65.12.795>
- Auw-Haedrich C, Eberhart CG, Grossniklaus HE, Iacob CE, Margo C. Tumour-like lesions of the conjunctive and caruncle. In: Grossniklaus HE, Eberhart CG, Kivela TT, eds. WHO Classification of Tumours of the Eye. 4th ed. Lyon: IARC; 2018.
- Milman T, Grossniklaus HE, Goldman-Levy G, et al. The 5th Edition of the World Health Organization Classification of Tumours the Eye and Orbit. *Ocular Oncology and Pathology*. 2023; 9 (3–4): 71–95. <https://doi.org/10.1159/000530730>
- Доброкачественные опухоли век и конъюнктивы. Клинические рекомендации. Общероссийская общественная организация «Ассоциация врачей-офтальмологов». 2024. (Электронный ресурс). Дата обращения 24.05.2025. [Benign tumors of the eyelids and conjunctiva. Clinical guidelines. All-Russian public organization "Association of ophthalmologists". 2024. (Electronic resource). Access date: 05.24.2025 (In Russ.)]. Available at: https://avo-portal.ru/documents/flkr/KR_DOVK_21_10.pdf
- Nurlistiyani DP, Lutfi D. The challenge in diagnosis and management of secondary conjunctival cysts. *Vision Science and Eye Health Journal*. 2024; 4 (1): 1–3. <https://doi.org/10.20473/vsehj.v4i1.2024.1-3>
- Brown H, De Zwaan S. Apocrine hidrocystoma appearing after Er:YAG laser treatment: a case report. *Journal of Cosmetic and Laser Therapy*. 2020; 29 (1): 73–5. <https://doi.org/10.5978/jslsm.20-CR-01>
- Belaldavar BP, Suranagi V, Kalakuntla M, Raj B, Tiwari A. Apocrine Hidrocystoma: A rare case report. *Indian Journal of Otolaryngology and Head & Neck Surgery*. 2019; 71 (Suppl 1): 59–61. <https://doi.org/10.1007/s12070-016-1012-2>
- Каган И.И., Каныков В.Н. Функциональная и клиническая анатомия зрения: руководство для офтальмологов и офтальмохирургов. 2-е изд. Издательство: Москва: ГЭОТАР-Медиа; 2023. [Kagan I.I., Kanyakov V.N. Functional and clinical anatomy of vision: a guide for ophthalmologists and ophthalmic surgeons. 2nd ed. Publisher: Moscow: GEOTAR-Media; 2023 (In Russ.)].
- Yanoff M, Sassani JW. Ocular Pathology. 8 ed. Elsevier Inc. 2020.
- Mirzania D, Jacobson A, McHugh J, Demirci H. Conjunctival Apocrine Hidrocystoma: A Case Report and Review of Literature. *Cornea*. 2024; 43 (11): 1431–5. <https://doi.org/10.1097/ICO.0000000000003598>
- Alkatan HM, Alshomar KM, Helmi HA, Alhothali WM, Alshalan AM. Conjunctival lesions: A 5-year basic demographic data and clinicopathological review in a tertiary eye care hospital. *Journal of Epidemiology and Global Health*. 2022; 12 (1): 25–39. <https://doi.org/10.1007/s44197-021-00017-1>
- Akatlia AN, Dikcib S. Clinicopathological analysis of conjunctival lesions: An experience from the eastern part of T rkiye. *Annals of Medical Research*. 2023; 30 (3): 382–8. <https://doi.org/10.5455/annalsmedres.2023.01.09>
- Kim B, Kang NY. Apocrine hidrocystoma of the conjunctiva. *International Journal of Ophthalmology*. 2012; 5 (2): 247–8. <https://doi.org/10.3980/j.issn.2222-3959.2012.02.26>
- Karachrysafi S, Fadel G, Kapourani V, et al. Histological study of eyelid hidrocystoma: A clinical case. *SAGE Open Medical Case Reports*. 2022; 10 (3): 2050313X221097770. <https://doi.org/10.1177/2050313X221097770>
- Igarashi T, Kase S, Suimon Y, Takakuwa E, Ishida S. Conjunctival cyst with apocrine hidrocystoma-like features: a case report. *International Journal of Ophthalmology*. 2023; 16 (3): 465–7. <https://doi.org/10.18240/ijo.2023.03.18>
- Lu J, Chu F, Chen K. Conjunctival Inclusion Cyst. *Hong Kong Journal of Emergency Medicine*. 2013; 20 (3): 184–5. <https://doi.org/10.1177/102490791302000311>

Вклад авторов в работу: Е.А. Дроздова — концепция исследования, редактирование статьи; Е.Л. Казачков — концепция исследования, анализ результатов, написание и редактирование статьи; Т.Ю. Кожевникова — сбор и анализ данных; Д.Д. Воропаев — сбор и анализ данных, написание статьи.

Author's contribution: E.A. Drozdova — research concept, editing of the article; E.L. Kazachkov — research concept, results analysis, writing and editing of the article; T.Yu. Kozhevnikova — data collection and analysis; D.D. Voropaev — data collection and analysis, writing of the article.

Поступила: 04.07.2025. Переработана: 30.07.2025. Принята к печати: 09.08.2025

Originally received: 04.07.2025. Final revision: 30.07.2025. Accepted: 09.08.2025

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ/INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

¹ ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный медицинский университет» Минздрава России, ул. Воровского, д. 64, Челябинск, 454092, Россия

² Офтальмологическая клиника ООО МО «Оптик-Центр», ул. 40-летия Октября, д. 15/1, Челябинск, 454007, Россия

Елена Александровна Дроздова — д-р мед. наук, профессор, заведующая кафедрой офтальмологии¹, ORCID 0000-0002-1799-211X

Евгений Леонидович Казачков — д-р мед. наук, профессор, заведующий кафедрой патологической анатомии и судебной медицины им. профессора В.Л. Коваленко¹, ORCID 0000-0002-2008-7671

Татьяна Юрьевна Кожевникова — врач-офтальмолог отделения диагностики², ORCID 0000-0001-5952-0762

Дмитрий Денисович Воропаев — клинический ординатор кафедры офтальмологии¹, врач-стажер отделения диагностики², ORCID 0000-0002-8873-6922

Для контактов: Евгений Леонидович Казачков,
doctorkel@yandex.ru

¹ South Ural State Medical University, 64, Vorovskogo St., Chelyabinsk, 454092, Russia

² "Optic-Center" ophthalmological clinic, 15/1, 40 let Oktyabrya St., Chelyabinsk, 454007, Russia

Elena A. Drozdova — Dr. of Med. Sci., professor, head of chair of ophthalmology¹, ORCID 0000-0002-1799-211X

Evgeny L. Kazachkov — Dr. of Med. Sci., professor, head of chair of pathological anatomy and forensic medicine named after professor V.L. Kovalenko¹, ORCID 0000-0002-2008-7671

Tatyana Yu. Kozhevnikova — ophthalmologist of the diagnostics department², ORCID 0000-0001-5952-0762

Dmitry D. Voropaev — clinical resident of the chair of ophthalmology¹, medical intern of the diagnostics department², ORCID 0000-0002-8873-6922

For contacts: Evgeny L. Kazachkov,
doctorkel@yandex.ru



<https://doi.org/10.21516/2072-0076-2026-19-2-177-181>

Low vision assessment and management in Stargardt disease: diagnostic approach and therapeutic strategies. Case report

Rabia Faheem¹✉, Muhammad Saad², Saif Ullah^{1,2}, Muqaddas Noor¹, Iffat Nasim¹

¹ Pakistan Institute of Ophthalmology, Al-Shifa Trust Eye Hospital, Rawalpindi, 4600, Pakistan

² Lincoln University College, Wisma Lincoln, 4730, Petaling Jaya, Selangor Darul Ehsan, Malaysia

rabiafahim3@gmail.com

A 19-year-old female presented to the outpatient department with reduced visual acuity and recurrent headaches. Initially recorded as 15 due to an oversight, her age was clarified, and her best-corrected visual acuity was measured at 6/60P logMAR bilaterally, with a prescription of -0.5 D. Cyclorefraction revealed -1.5 D bilaterally. Fundus examination demonstrated vascular tortuosity, bull's-eye maculopathy, and peripheral pigmentary retinopathy, leading to a diagnosis of Stargardt disease, confirmed through advanced imaging. She was referred to the low vision department for a specialized assessment to address her progressive vision loss and was also evaluated by neurology for recurrent headaches. A comprehensive low vision evaluation helped determine her specific visual needs, with recommendations aimed at enhancing her daily activities and managing her visual prognosis. This case underscores the essential role of low vision assessments in juvenile macular dystrophies like Stargardt disease, where early intervention and personalized visual aids can significantly improve functional vision and quality of life.

Keywords: stargardt disease; case report; ABCA4; low vision; fundus autofluorescence; optical coherence tomography

Conflicts of interests: there is no conflict of interests.

Financial disclosure: no author has a financial or property interest in any material or method mentioned.

Acknowledgments. Authors extend their sincere thanks to the staff of hospital who supported and contributed to the completion of this report.

For citation: Faheem R., Saad M., Ullah S., Noor M., Nasim I. Low vision assessment and management in Stargardt disease: diagnostic approach and therapeutic strategies. Case report. Russian ophthalmological journal. 2026; 19 (2): 177-81. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2026-19-2-177-181>

Оценка и лечение слабовидения при болезни Штаргардта: диагностический подход и терапевтические стратегии. Клинический случай

Рабия Фахим¹✉, Мухаммад Саад², Саиф Улла^{1,2}, Мукаддас Нур¹, Ифат Насим¹

¹ Пакистанский институт офтальмологии, офтальмологическая больница Аль-Шифа, Равалпинди, 4600, Пакистан

² Университетский колледж Линкольна, Висма-Линкольн, 4730, Петалинг-Джая, Селангор Дарул Эхсан, Малайзия

Девушка 19 лет обратилась в клинику с жалобами на снижение остроты зрения и рецидивирующие головные боли. Острота зрения каждого глаза с коррекцией -0,5 D составила 6/60P logMAR, циклоплегическая рефракция -1,5 D. Осмотр глазного дна выявил извитость сосудов, макулопатию типа «бычий глаз» и периферическую пигментную ретинопатию, что позволило диагностировать болезнь Штаргардта, подтвержденную с помощью современных методов визуализации. Пациентка была направлена в отделение слабовидения для специализированного обследования с целью решения проблемы прогрессирующей потери зрения,

а также обследована неврологом по поводу рецидивирующих головных болей. Комплексное обследование слабовидения помогло определить ее специфические зрительные потребности, были даны рекомендации, направленные на улучшение ее повседневной активности и прогноза зрения. **Заключение.** Данный случай подчеркивает важнейшую роль обследования людей с низким зрением при ювенильных макулярных дистрофиях, таких как болезнь Штаргардта, когда раннее вмешательство и индивидуально подобранные средства коррекции могут значительно улучшить функциональное зрение и качество жизни.

Ключевые слова: болезнь Штаргардта; клинический случай; ABCA4; слабовидение; аутофлуоресценция глазного дна; оптическая когерентная томография

Конфликт интересов: отсутствует.

Прозрачность финансовой деятельности: никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

Благодарности. Авторы выражают искреннюю благодарность сотрудникам больницы, которые оказали поддержку и внесли свой вклад в подготовку данного сообщения.

Для цитирования: Фахим Р., Саад М., Улла С., Нур М., Насим И. Оценка и лечение слабовидения при болезни Штаргардта: диагностический подход и терапевтические стратегии. Клинический случай. Российский офтальмологический журнал. 2026; 19 (2): 177-81. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2026-19-2-177-181>

By the World Health Organization (WHO) definition “a person with low vision is a one who has impairment of visual functioning even after treatment, surgery or standard refractive correction and has a visual acuity of less than 6/18 to light perception or a visual field of $< 10^\circ$ from the point of fixation, in the better eye but who is potentially able to use vision for the planning and execution of a task” [1]. Stargardt disease is typically inherited as an autosomal recessive condition caused by missense and null mutations in the adenosine triphosphate-binding cassette transporter alpha 4 (ABCA4) gene located on chromosome 1 [2]. While the exact incidence is unclear, the prevalence is estimated to range between 1 in 8,000 and 1 in 10,000 [3]. Funduscopically, the disease progresses through distinct stages as described by G. Fishman [4]. In Stage 1, yellowish “flecks” appear in the parafoveal area. Stage 2 is characterized by the presence of these flecks throughout the posterior pole. Stage 3 involves extensive flecking that undergoes resorption, and Stage 4 is marked by retinal pigment epithelium (RPE) atrophy [4]. Currently, there are no Food and Drug Administration (FDA)-approved treatments or cures for Stargardt’s macular dystrophy (SMD). Research efforts are focused on nutritional supplementation, drug therapies [5], and gene therapy [6]. In the absence of approved treatments, management of Stargardt’s disease primarily emphasizes low vision rehabilitation. This case report discusses the diagnostic process, low vision assessment, and management strategies for a young patient diagnosed with Stargardt disease, highlighting the importance of specialized low vision support and genetic counseling.

Case Report. A 19-year-old female presented to the outpatient department with complaints of reduced visual acuity, photophobia and headaches at her first visit. Her age was recorded as 15 due to an error by her uncle, who accompanied her instead of her parents. Best corrected visual acuity (BCVA) at presentation was 6/60p logMAR in both eyes, and she was using -0.5 D in her glasses. Cyclorefraction was performed, resulting in a prescription of -1.5 D bilaterally.

Informed consent was obtained from the patient at the time of assessment. Full fundus examination revealed a clear cornea, a formed and quiet anterior chamber, and a cup-to-disc ratio (CDR) of 0.2 bilaterally. Intraocular pressure (IOP) measured 12 mmHg bilaterally via Goldmann Applanation Tonometry (GAT). Additional findings included vascular tortuosity and bull’s-eye maculopathy with peripheral pigmentary retinopathy in both eyes. Advanced diagnostic procedures, including fundus photography through Optos, and fundus autofluorescence (FAF), optical coherence tomography (OCT) of the macula, OCT of retinal nerve fiber layer (RNFL) were conducted (Fig. 1, A, B, Fig. 2, Fig. 3).

Based on these reports, the attending doctor confirmed a diagnosis of Stargardt disease (fundus dystrophy).

The patient was subsequently referred to the low vision department and a neurologist for further assessment and prognosis. Two days after the initial checkup, a low vision assessment was conducted, where a thorough ocular and medical history was taken. She reported no history of ocular trauma or surgery and indicated no mobility issues indoors but experienced some difficulties with mobility outdoors and in unfamiliar settings. Her family history revealed that she was the only daughter of her parents, who had a consanguineous marriage. The patient reported difficulties with distance tasks, including recognizing faces, watching television, and reading bus or tempo numbers, which were exacerbated by a language barrier that necessitated her uncle’s assistance during the visit.

During the low vision assessment, BCVA with her new glasses prescription (-1.5 D bilaterally) was re-evaluated and was 6/60 logMAR in both eyes as measured with the ETDRS chart at 4 meters. Subjective refraction yielded no improvement in visual acuity. A monocular clip-on telescope with 2.8x magnification was tried, slightly improving her visual acuity to 6/48 logMAR bilaterally, although stronger telescopes, such as a 3.5x, offered no additional improvement. Near vision was measured at 1.6 M using the Lighthouse Near Vision Assessment Chart. Contrast sensitivity was assessed with Mars Letter Contrast Sensitivity, showing 1.35 logMAR units bilaterally with corrective lenses. Color vision, tested with the Ishihara Color Vision Chart/Plates, was defective bilaterally.

Visual field testing using the Humphrey Field Analyzer was attempted but yielded unreliable results due to the patient’s headaches, despite several attempts. Confrontation visual field testing was performed, where the patient and examiner sat face-to-face, with the patient covering one eye and the examiner covering the corresponding eye. The examiner then presented moving targets in different areas of the patient’s peripheral vision, starting from the periphery and moving inward, while the patient indicated when they could see the target. This method showed the patient’s visual field to be within normal limits.

The patient reported increased comfort in reduced lighting conditions and under fluorescent lamps, with significant photophobia, particularly in sunlight and car headlights. Testing with a yellow filter during daylight provided improved visual comfort and acceptance. She had no ocular preference between her eyes and denied any history of bumping into objects. The patient experienced challenges with mobility and orientation, particularly in low-light and high-glare conditions, impacting daily activities.

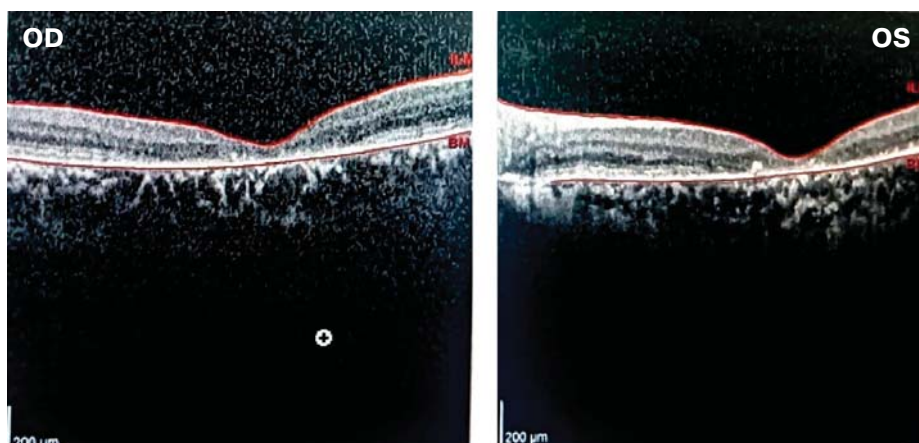
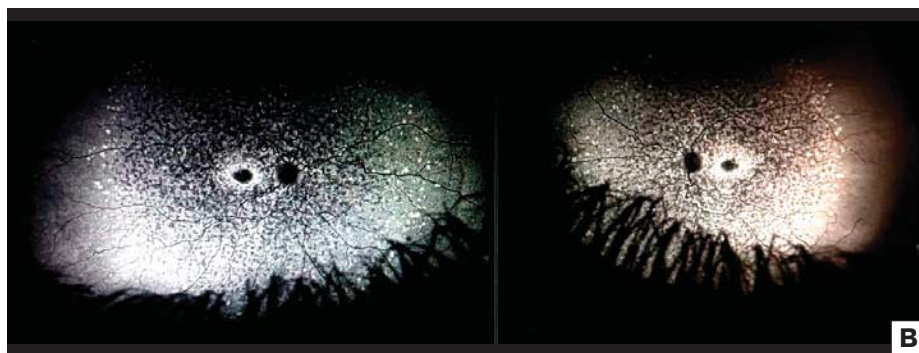
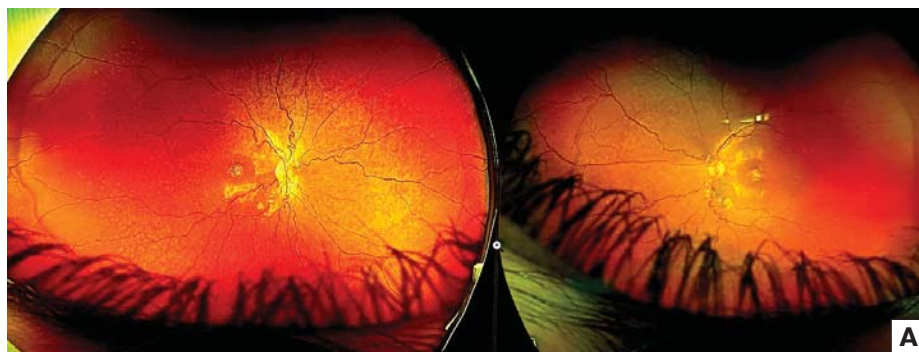


Fig. 1. A — optos wide-field color fundus photograph of both eyes, revealing characteristic yellowish flecks in the posterior pole, indicative of Stargardt disease. These deposits are a hallmark of this macular dystrophy. B — fundus autofluorescence (FAF) images of both eyes highlighting regions of hyperautofluorescence, representing areas of active lipofuscin accumulation, and hypoautofluorescence, indicating atrophic zones where the retinal pigment epithelium (RPE) has degenerated, consistent with disease progression

Рис. 1. А — широкопольная цветная фотография глазного дна обоих глаз, полученная с помощью Optos, демонстрирует характерные желтоватые пятна в заднем полюсе, указывающие на болезнь Штаргардта. Эти отложения являются характерным признаком данной макулярной дистрофии. В — изображения аутофлуоресценции глазного дна обоих глаз, выделяющие области гиперфлуоресценции, представляющие собой зоны активного накопления липофусцина, и гипофлуоресценции, указывающие на атрофические зоны, где произошла дегенерация пигментного эпителия сетчатки, что соответствует прогрессированию заболевания

Fig. 2. Spectral-domain Optical Coherence Tomography (SD-OCT) Scans. OD — OCT scan showing retinal thinning, loss of the ellipsoid zone, and disruption of the retinal pigment epithelium (RPE) layers. OS — OCT scan demonstrating similar findings, including loss of outer retinal architecture and RPE irregularities

Рис. 2. SD-OCT сканирование. OD — истончение сетчатки, потеря эллипсоидной зоны и нарушение слоев пигментного эпителия сетчатки (ПЭС). OS — аналогичные изменения, включая потерю наружной архитектуры сетчатки и неровности ПЭС

To address this, training with a white cane was provided to enhance independence and safety.

For the time being, she was referred to a medical specialist for headache relief. The doctor recommended Tab Flexin 250 mg as a painkiller and referred her to a neurologist for further assessment.

She was advised to use low vision aids, specifically a 2.8x telescope, to assist with academic activities, while magnifiers were not necessary as her near vision was functional. Additional recommendations included maintaining a healthy diet, using sun protection (umbrella and avoiding direct sun exposure), and scheduling follow-up with a neurologist for her migraines. Vitamin A supplements were specifically avoided, as they could worsen the progression of the disease. Genetic counseling was also recommended to prevent future consanguineous marriages. A follow-up visit was planned in two months.

Patient Perspective. The patient expressed satisfaction with the personalized low vision aids, including the yellow filter and telescope, which significantly improved visual comfort and functionality.

DISCUSSION

Stargardt disease type 1 (STGD1) is caused by mutations in the ABCA4 gene, which encodes the ABCA4 protein, an ATP-binding cassette transporter located in the outer segment discs of rods and cones. This protein facilitates the transport of retinoids from photoreceptors to the retinal pigment epithelium (RPE) during the visual cycle. Dysfunctional ABCA4 leads to the accumulation of toxic retinoid byproducts, including A2E, a major component of lipofuscin. This buildup results in RPE damage, atrophy, and subsequent photoreceptor loss [7].

Other forms of Stargardt disease, such as STGD3 and STGD4, are associated with autosomal dominant mutations in the ELOVL4 and PROM1 genes, respectively. These mutations disrupt photoreceptor membrane integrity and function, leading to retinal degeneration. However, this article focuses on STGD1 [8].

M. Abalem et al. [9] studied 65 patients with ABCA4 Stargardt disease (STGD), demonstrating that greater disease extent on ultra-widefield fundus autofluorescence (UWF-FAF) correlated with more constricted peripheral visual fields, worse

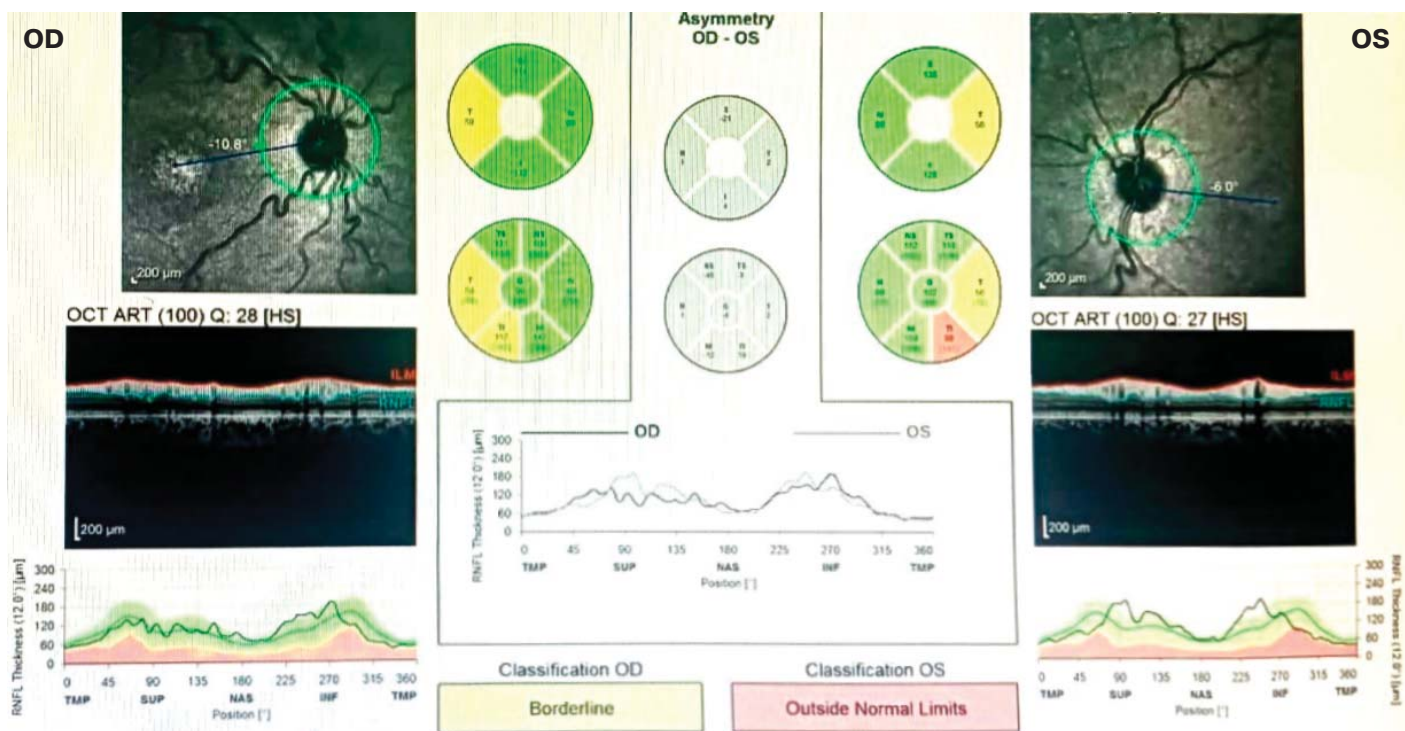


Fig. 3. OCT RNFL Analysis. OD — RNFL classified as borderline, with mild thinning in the inferior quadrant. Other quadrants are within normal limits. OS — RNFL classified as outside normal limits, with significant thinning in the inferior and superior quadrants

Рис. 3. Анализ слоя нервных волокон сетчатки (CHB) с помощью ОКТ. OD — CHB классифицируется как пограничное состояние, с умеренным истончением в нижнем квадранте. В других квадрантах показатели в пределах нормы. OS — CHB классифицируется как выходящее за пределы нормы, со значительным истончением в нижнем и верхнем квадрантах

full-field electroretinogram (ffERG) patterns, and reduced visual acuity (VA), emphasizing UWF-FAF's role in assessing disease severity and visual function. This study highlights the importance of comprehensive diagnostic approaches, combining clinical examination with advanced imaging modalities such as OCT and FAF, to confirm hallmark features of STGD1. A key strength is the emphasis on low vision assessment, which addresses the patient's specific functional challenges, such as photophobia and difficulty with distance tasks. The integration of visual aids, including the successful use of a yellow filter and a telescope, demonstrates the potential of tailored interventions to enhance the patient's visual comfort, functional independence, and quality of life. Avoiding foods or supplements high in Vitamin A may help prevent exacerbation of lipofuscin accumulation in the retina [10].

Furthermore, the study underscores the necessity of regular follow-ups to assess residual visual acuity as the disease progresses. Follow-ups allow for the evaluation of current aids and provide opportunities to trial different telescopes or other devices, ensuring the most effective solutions are provided after clinical assessment and approval. Additionally, the case emphasizes the significance of genetic counseling and preventive measures for consanguineous families, addressing a critical public health concern in regions with a high prevalence of consanguinity. The focus on environmental modifications and lifestyle adjustments reflects a holistic approach to managing progressive vision loss. This study is limited by its focus on a single case, which may not capture the full spectrum of Stargardt disease presentations or responses to interventions. The long-term efficacy of the low vision aids, such as the yellow filter and telescope, was not assessed due to the lack of extended follow-up data. Furthermore, while genetic counseling is recommended, the outcomes or impact of this intervention were not evaluated. Additionally, the study does not explore or include

patient access to emerging FDA-approved treatments, which could influence management strategies in the future.

Two treatment approaches have entered clinical trials. Gene therapy aims to replace the mutated gene with a healthy one in retinal cells, potentially halting or slowing lipofuscin accumulation and vision loss. Another approach involves transplanting RPE cells derived from stem cells to help clear lipofuscin buildup, with early trials already underway [11].

References/Литература

1. Dandona L, Dandona R. Revision of visual impairment definitions in the International Statistical Classification of Diseases. *BMC Med.* 2006 Mar 16; 4: 7. doi: 10.1186/1741-7015-4-7
2. Westerfeld C, Mukai S. Stargardt's disease and the ABCR gene. *Semin Ophthalmol.* 2008 Jan-Feb; 23 (1): 59–65. doi: 10.1080/08820530701745249
3. Al-Khuzaei S, Broadgate S, Foster CR, et al. An overview of the genetics of ABCA4 retinopathies, an evolving story. *Genes (Basel).* 2021 Aug 13; 12 (8): 1241. doi: 10.3390/genes12081241
4. Fishman GA. Fundus flavimaculatus. A clinical classification. *Arch Ophthalmol.* 1976 Dec; 94 (12): 2061–7. doi: 10.1001/archophth.1976.03910040721003
5. Huang D, Heath Jeffery RC, Aung-Htut MT, et al. Stargardt disease and progress in therapeutic strategies. *Ophthalmic Genet.* 2022 Feb; 43 (1): 1–26. doi: 10.1080/13816810.2021.1966053
6. Maguire AM, Bennett J, Aleman EM, Leroy BP, Aleman TS. Clinical perspective: Treating RPE65-associated retinal dystrophy. *Mol Ther.* 2021 Feb 3; 29 (2): 442–63. doi: 10.1016/j.ymthe.2020.11.029
7. Fujinami K, Waheed N, Laich Y, et al. Stargardt macular dystrophy and therapeutic approaches. *Br J Ophthalmol.* 2024 Mar 20; 108 (4): 495–505. doi: 10.1136/bjo-2022-323071
8. Ghenciu LA, Hătegan OA, Stoicescu ER, Iacob R, Şişu AM. Emerging therapeutic approaches and genetic insights in Stargardt disease: A comprehensive review. *Int J Mol Sci.* 2024 Aug 14; 25 (16): 8859. doi: 10.3390/ijms25168859
9. Abalem MF, Otte B, Andrews C, et al. Peripheral visual fields in ABCA4 Stargardt disease and correlation with disease extent on ultra-widefield fundus autofluorescence. *Am J Ophthalmol.* 2017 Dec; 184: 181–8. doi: 10.1016/j.ajo.2017.10.006

10. Sofi F, Sodi A, Franco F, et al. Dietary profile of patients with Stargardt's disease and Retinitis Pigmentosa: is there a role for a nutritional approach? *BMC Ophthalmol.* 2016 Jan 22; 16: 13. doi: 10.1186/s12886-016-0187-3
11. Rahman N, Georgiou M, Khan KN, Michaelides M. Macular dystrophies: clinical and imaging features, molecular genetics and therapeutic options. *Br J Ophthalmol.* 2020 Apr; 104 (4): 451–60. doi: 10.1136/bjophthalmol-2019-315086

Author's contributions: R. Faheem — conception and design, data acquisition, interpretation and drafting; M. Saad — revising, critical review and interpretation; S. Ullah — revising and critical review, final approval of work; M. Noor — revising and critical review; I. Nasim — revising and critical review.

Вклад авторов в работу: Р. Фахим — разработка концепции и дизайна, сбор данных и их интерпретация, написание статьи; М. Саад — редактирование, критический анализ и интерпретация; С. Улла — редактирование и критический анализ, окончательное утверждение работы; М. Нур — редактирование и критический анализ; И. Насим — редактирование и критический анализ.

Originally received: 06.12.2024. Final revision: 03.01.2025. Accepted: 04.01.2025

Поступила: 06.12.2024. Переработана: 03.01.2025. Принята к печати: 04.01.2025

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS/ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

¹ Pakistan Institute of Ophthalmology, Al-Shifa Trust Eye Hospital Rawalpindi, 4600, Pakistan

² Lincoln University College, Wisma Lincoln, 4730, Petaling Jaya, Selangor Darul Ehsan, Malaysia

Rabia Faheem — Optometrist¹, ORCID 0009-0007-3212-0188

Muhammad Saad — Dr. of Medicine, fellow, Ophthalmology Department¹, ORCID 0009-0002-7235-5241

Saif Ullah — PhD Scholar¹, assistant professor, department of Health Sciences², ORCID 0000-0003-3254-5585

Muqaddas Noor — B.Sc. Honor Optometry¹

Iffat Nasim — B.Sc. Honor Optometry and Orthoptics, Optometrist¹

For contacts: Rabia Faheem,
rabiafaheem3@gmail.com

¹ Пакистанский институт офтальмологии, глазная больница «Аль-Шифа», Равалпинди, 4600, Пакистан

² Университетский колледж Линкольна, Висма Линкольн, 4730, Петалинг Джая, Селангор Дарул Эхсан, Малайзия

Рабия Фахим — оптометрист¹, ORCID 0009-0007-3212-0188

Мухаммад Саад — д-р мед. наук, научный сотрудник отделения офтальмологии¹, ORCID 0009-0002-7235-5241

Саиф Улла — д-р философии¹, доцент кафедры медицинских наук², ORCID 0000-0003-3254-5585

Мукаддас Нур — бакалавр наук по оптометрии¹

Иффат Насим — бакалавр наук по оптометрии и ортоптике, оптометрист¹

Для контактов: Рабия Фахим,
rabiafaheem3@gmail.com

<https://doi.org/10.21516/2072-0076-2026-19-2-182-191>



Коморбидность у пациентов с первичной открытоугольной глаукомой и офтальмогипертензией: возможности применения фиксированной комбинации дорзоламида и тимолола

С.В. Янченко¹✉, А.В. Малышев^{2,3}, Н.Ю. Худдиева¹

¹ Бухарский государственный медицинский институт им. Абу Али ибн Сино, ул. А. Навои, д. 1, Бухара, 200100, Республика Узбекистан

² ГБУЗ «НИИ — Краевая клиническая больница № 1 им. проф. С.В. Очаповского» Минздрава Краснодарского края, ул. Первого Мая, д. 167, Краснодар, 350000, Россия

³ ФГБОУ ВО «Майкопский государственный технологический университет» Министерства образования России, ул. Пушкина, д. 177, Майкоп, Республика Адыгея, 385776, Россия

Патогенез глаукомной оптической нейропатии включает механический и сосудистый компоненты. Коморбидность, обусловленная сопутствующими системными и/или офтальмологическими заболеваниями и состояниями, способна утяжелять течение первичной открытоугольной глаукомы (ПОУГ) и офтальмогипертензии. В частности, артериальная гипертензия (АГ), нередко сочетающаяся с системным атеросклеротическим поражением сосудов, у значительного числа пациентов сопровождается микроциркуляторными нарушениями зрительного нерва (ЗН) и сетчатки. Другим дополнительным фактором микроциркуляторных изменений заднего отрезка глаза может выступать эндотампонада витреальной полости силиконовым маслом (ЭСМ). При сочетании указанных микроциркуляторных нарушений с ПОУГ или офтальмогипертензией целесообразно применение фиксированных комбинаций (ФК), включающих ингибиторы карбоангидразы, которые не только снижают внутриглазное давление за счет уменьшения продукции внутриглазной жидкости, но и улучшают кровообращение ЗН и сетчатки, повышают диастолическое глазное перфузионное давление, а также проявляют антиоксидантные свойства, обеспечивая как не прямое, так и прямое ретинопротекторное воздействие. В статье представлена серия клинических наблюдений применения воспроизведенной ФК 2 % дорзоламида и 0,5 % тимолола (ФК-ДТ) — Дортис у пациентов с ПОУГ или офтальмогипертензией при сопутствующей патологии. Первый клинический пример демонстрирует эффективность стартовой терапии с ФК-ДТ у пациентки с ПОУГ ПВ правого глаза и гипертензивной ангиопатией сетчатки (ГАС) I степени обоих глаз при АГ II стадии (степень 3, риск 3) и ишемической болезни сердца (стабильная стенокардия напряжения II, атеросклеротическое поражение коронарных артерий). Второй клинический пример иллюстрирует эффективность перехода на ФК-ДТ при недостаточном гипотензивном эффекте тимолола у пациента с ПОУГ ПВ обоих глаз, состоянием после хирургического лечения отслойки сетчатки левого глаза с ЭСМ, а также ГАС I степени обоих глаз, обусловленной АГ II стадии (степень 2, риск 2). Третий клинический пример показывает эффективность применения глазных капель Дортис у пациентки с офтальмогипертензией, развившейся после микроинвазивной витрэктомии по поводу отслойки сетчатки с ЭСМ левого глаза, а также с ГАС I степени обоих глаз при АГ II стадии (степень 2, риск 2).

Ключевые слова: глаукома; офтальмогипертензия; коморбидность; артериальная гипертензия; гипертензивная ангиопатия сетчатки; силиконовое масло; фиксированные комбинации; дорзоламид

Конфликт интересов: отсутствует.

Прозрачность финансовой деятельности: никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

Для цитирования: Янченко С.В., Малышев А.В., Худдиева Н.Ю. Коморбидность у пациентов с первичной открытоугольной глаукомой и офтальмогипертензией: возможности применения фиксированной комбинации дорзоламида и тимолола. Российский офтальмологический журнал. 2026; 19 (2): 182–91. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2026-19-2-182-191>

Comorbidity in patients with primary open-angle glaucoma and ocular hypertension: potential use of a fixed-dose combination of Dorzolamide and Timolol

Sergey V. Yanchenko¹✉, Alexey V. Malyshev^{2,3}, Nargiz Yu. Huddieva¹

¹ Bukhara State Medical Institute named after Abu Ali ibn Sino, 1, A. Navoi St., Bukhara, 200100, Uzbekistan

² Scientific Research Institution — S.V. Ochapovsky Regional Clinic Hospital #1, 167, 1st May St., Krasnodar, 350000, Russia

³ Maykop State Technological University, 177, Pushkin St., Maykop, Adygea Republic, 385776, Russia

yanchenko_sv_21@mail.ru

The pathogenesis of glaucomatous optic neuropathy involves both mechanical and vascular components. Comorbidity associated with concomitant systemic and/or ophthalmic diseases and conditions may aggravate the course of primary open-angle glaucoma (POAG) and ocular hypertension. Many patients with arterial hypertension (AH) and systemic atherosclerosis experience microcirculatory problems in the optic nerve and retina. Another additional factor contributing to microcirculatory alterations in the posterior segment of the eye may be vitreous cavity tamponade with silicone oil. In patients with POAG or ocular hypertension accompanied by microcirculatory disturbances the use of fixed combinations containing carbonic anhydrase inhibitors appears reasonable. These agents not only reduce intraocular pressure by decreasing aqueous humor production but also improve blood flow in the optic nerve and retina, increase diastolic ocular perfusion pressure, and exhibit antioxidant properties, thereby providing both indirect and direct retinoprotective effects. The article presents a series of clinical cases demonstrating the use of a generic 2 % dorzolamide and 0.5 % timolol fixed combination (DT-FC) — Dortis — in POAG or ocular hypertension patients with concomitant pathology. The first clinical case demonstrates the effectiveness of initial therapy with DT-FC in a patient with stage II B (moderate) POAG of the right eye and hypertensive retinal angiopathy (HRA) grade 1 in both eyes, associated with stage II AH (grade 3, risk 3) and coronary artery disease (stable angina pectoris, functional class II, atherosclerotic coronary artery disease). The second clinical case illustrates the effectiveness of switching to DT-FC due to insufficient hypotensive efficacy of timolol in a patient with stage II B (moderate) POAG in both eyes, a history of retinal detachment surgery of the left eye with silicone oil tamponade, and HRA grade 1 in both eyes associated with stage II AH (grade 2, risk 2). The third clinical case demonstrates the effectiveness of Dortis eye drops in a patient with ocular hypertension that developed after microinvasive vitrectomy for retinal detachment with silicone oil tamponade in the left eye, as well as HRA grade 1 in both eyes associated with stage II AH (grade 2, risk 2).

Keywords: glaucoma; ocular hypertension; comorbidity; arterial hypertension; coronary artery disease; hypertensive retinal angiopathy; silicone oil; fixed combinations; dorzolamide

Conflict of interests: there is no conflict of interests.

Financial disclosure: no author has a financial or property interest in any material or method mentioned.

For citation: Yanchenko S.V., Malyshev A.V., Huddieva N.Yu. Comorbidity in patients with primary open-angle glaucoma and ocular hypertension: potential use of a fixed-dose combination of Dorzolamide and Timolol. Russian ophthalmological journal. 2026; 19 (2): 182-91 (In Russ.). <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2026-19-2-182-191>

Ведущим модифицируемым фактором риска развития глаукомной оптической нейропатии (ГОН) является повышение внутриглазного давления (ВГД) за пределы толерантного уровня, в результате чего происходит компрессия аксонов ганглиозных клеток с их прогрессирующей гибелью (механический компонент патогенеза ГОН) [1–4]. Вместе с тем значительную роль в развитии ГОН могут играть и микроциркуляторные нарушения, включающие дефицит глазного кровотока и снижение перфузионного давления (сосудистый компонент патогенеза ГОН) [5–28]. В серии исследований показано, что у пациентов с первичной открытоугольной глаукомой (ПОУГ) может определяться снижение максимальной систолической (Vs) и конечной диастолической (Vd) скорости кровотока, а также повышение индекса резистентности (ИР) в глазничной артерии (ГА), центральной артерии сетчатки (ЦАС) и задних коротких цилиарных артериях (ЗКЦА), наряду со снижением скорости кровотока

в центральной вене сетчатки, вортикозных венах и верхней глазной вене [6, 7, 9–15, 17, 18]. При помощи оптической когерентной томографии с функцией ангиографии (ОКТА) установлено, что ПОУГ может сопровождаться снижением сосудистой плотности (СП) в области диска зрительного нерва (ДЗН), радиального перипапиллярного капиллярного сплетения сетчатки, поверхностного и глубокого капиллярных сплетений сетчатки и СП перипапиллярного хориокапилляриса [12–14, 17, 19, 22, 26]. Вопрос о том, являются ли микроциркуляторные нарушения зрительного нерва (ЗН) и сетчатки причиной ГОН или ее следствием, по-прежнему остается дискуссионным [24]. По мнению J. Flammer и соавт. [6], нарушения глазного кровотока при ГОН могут быть связаны с окислительным стрессом и дефицитом поступления кислорода к тканям ЗН. В то же время, согласно данным С. Erb [28], микроциркуляторные нарушения, ассоциированные с артериальной гипертензией (АГ), диагностируемой

у 48–65 % пациентов с глаукомой, могут выступать в качестве самостоятельного фактора риска ПОУГ. К значимым факторам риска развития или отягощения клинической картины ГОН, особенно при глаукоме низкого давления, относят недостаточность кровообращения в сосудах глаза, низкий или нестабильный уровень глазного перфузионного давления (в том числе вследствие ночной системной гипотонии или выраженных колебаний артериального давления), вазоспазм, окислительный стресс и эндотелиальную дисфункцию [5–10, 16, 18, 21, 24–28].

Коморбидность, представленная сопутствующими системными и/или офтальмологическими заболеваниями и состояниями, может усугублять клиническую картину ПОУГ и ускорять ее прогрессирование [5–10, 14–16, 24–26, 29–33]. В частности, АГ, нередко сочетающаяся с системным атеросклеротическим поражением (включающим брахиоцефальные и коронарные сосуды) у значительного числа пациентов, может сопровождаться развитием микроциркуляторных ишемических нарушений сетчатки и ЗН [7, 8, 14, 23, 29–32]. Являясь отдельными нозологическими единицами, АГ и системный атеросклероз взаимоотягощают друг друга, формируя патологический круг: повышенное артериальное давление, сопровождающееся сужением сосудов, способствует образованию атеросклеротических бляшек, что в свою очередь вызывает дальнейшее увеличение ригидности сосудов и повышение артериального давления [29, 32].

Следствием атеросклеротического поражения брахиоцефальных сосудов может быть развитие острой или хронической ишемии мозга, а также глазного ишемического синдрома (ГИС), представляющего собой недостаточность кровообращения периферического отдела зрительного анализатора в результате окклюзии или стеноза внутренней сонной артерии (ВСА), что приводит к ухудшению гемодинамических показателей в ГА, ЦАС и ЗКЦА [33–36]. Острый тип ГИС зависит от обструкции сонных артерий гетерогенной атеросклеротической бляшкой с ипсилатеральной стороны, вызывающей острое снижение кровотока в сосудах глазного яблока, и включает преходящую монолатеральную слепоту, острую ишемическую оптическую нейропатию, окклюзию ЦАС и ишемическую окулопатию [33]. Хронический тип течения ГИС обусловлен прогрессирующим стенозом сонных артерий и представлен хронической оптической нейропатией, хронической ишемической ретинопатией и открытоугольной глаукомой с ишемическими изменениями переднего отрезка глаза [33]. Гемодинамически значимым считают стеноз ВСА более 75 %, вместе с тем рядом авторов описано развитие хронической ишемической ретинопатии на фоне снижения линейных скоростных характеристик кровотока и повышения ИР в ГА, а также снижения СП в поверхностном капиллярном сплетении сетчатки по данным ОКТА у больных с гемодинамически незначимым стенозом ВСА менее 38 % [30]. Вероятно, развитие хронического ГИС при гемодинамически незначимом стенозе ВСА может быть связано с сопутствующей АГ (проявляющейся сужением или склерозом артерий) или с патологической извитостью ВСА, однако механизмы нарушения ретробульбарного и ретинального кровотока у этой довольно распространенной категории пациентов требует дальнейшего изучения [32, 36, 37]. В условиях АГ и ишемической болезни сердца (ИБС), обусловленной атеросклеротическим поражением коронарных артерий, сравнительно с соматически здоровыми лицами той же возрастной группы по данным ОКТА определяется увеличение площади фовеальной аваскулярной зоны (ФАЗ), снижение СП в поверхностном и глубоком капиллярных сплетениях сетчатки и СП в слое хориокапилляров [31].

К офтальмологическим проявлениям АГ относят гипертоническую ангиопатию сетчатки, которая в соответствии с классификацией N. Keith, H. Wagener, N. Barker [38] включает четыре стадии [29, 32, 39]. Начальные проявления гипертонической ангиопатии сетчатки (ГАС I степени), представленные сужением ретинальных артерий, диагностируются у 37–40 % больных АГ [32]. При ГАС II степени, выявляющейся у 17 % пациентов с АГ, помимо указанного определяются: симптом артериовенозного перекреста (Gunn sign), смещение вены по отношению к артериоле под прямым углом (Sallus sign), «вираж» вены дистальнее артериовенозного перекреста (Bonne sign) [32]. Более тяжелые проявления ГАС свидетельствуют о злокачественном течении АГ и неблагоприятном прогнозе. При ГАС III степени дополнительно к перечисленным признакам выявляется симптом «медной проволоки» с появлением светового рефлекса (гиалинизация стенки артериол), симптом «серебряной проволоки» (облитерация артериол), «ватные экссудаты» (участки ишемии и некроза сетчатки), микроаневризмы и геморрагии, «твердые экссудаты», в том числе с формированием «макулярной звезды» (липидные депозиты) [29, 32, 37]. В условиях ГАС IV степени помимо указанных изменений глазного дна определяется отек или атрофия ДЗН. В рамках классификации М.Л. Краснова перечисленным стадиям ГАС соответствует гипертоническая ангиопатия, гипертонический ангиосклероз, гипертоническая ретинопатия и гипертоническая нейроретинопатия [32]. Метаанализ серии исследований, проводившихся при помощи метода ОКТА у больных АГ без офтальмоскопических признаков ретинопатии, показал, что у этих пациентов выявляются микроциркуляторные ишемические нарушения сетчатки, представленные увеличением площади ФАЗ и снижением СП в поверхностном и глубоком капиллярных сплетениях сетчатки [39]. Показано также, что с увеличением тяжести АГ и ГАС происходит прогрессирующее снижение СП в поверхностном и глубоком капиллярных сплетениях сетчатки, а при III и IV степени ГАС определяются микроангиомоподобные изменения и неперфузируемые зоны сетчатки [32, 40].

На рисунке 1, Б показано снижение Vs, Vd и повышение ИР в глазничной артерии правого глаза по результатам УЗ-триплексного исследования у пациента 62 лет с АГ II стадии (степень 3, риск 3), атеросклеротическим поражением брахиоцефальных артерий (стеноз внутренней сонной артерии справа ≈ 50 %, слева ≈ 30 %) и ИБС (стабильная стенокардия напряжения II, атеросклеротическое поражение коронарных артерий) сравнительно с состоянием соматически здорового пациента той же возрастной группы (рис. 1, А). На рисунке 2, Б представлено снижение Vs, Vd и повышение ИР в ЦАС у того же пациента сравнительно с состоянием нормы (рис. 2, А).

Другой причиной микроциркуляторных ишемических нарушений сетчатки и сосудистой оболочки, не связанной с системной сосудистой патологией, может быть эндотампонада силиконовым маслом (ЭСМ) витреальной полости у пациентов с оперированной отслойкой сетчатки [41–43]. Как показали недавние исследования, проводившиеся при помощи ОКТА, на фоне ЭСМ у больных с оперированной регматогенной отслойкой сетчатки может отмечаться увеличение площади ФАЗ, снижение СП поверхностного и глубокого капиллярных сплетений, снижение СП в хориокапилляре и истончение комплекса ганглиозных клеток сетчатки [41–43]. Исследования в рамках данной проблемы являются немногочисленными, однако их результаты дают основание предположить, что указанные микроциркулятор-

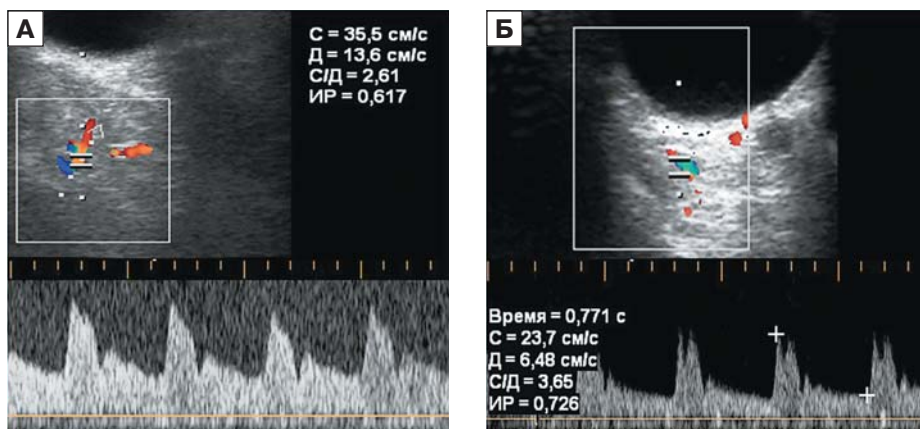


Рис. 1. Изменения кровотока в глазничной артерии (Б) у пациента 62 лет с АГ II стадии (степень 3, риск 3), ишемической болезнью сердца и атеросклеротическим поражением брахиоцефальных и коронарных сосудов, сравнительно с состоянием соматически здорового пациента той же возрастной группы (А)

Fig. 1. Changes in blood flow in the ophthalmic artery (Б) in a 62-year-old patient with stage II arterial hypertension (grade 3, risk 3), ischemic heart disease, and atherosclerotic involvement of the brachiocephalic and coronary vessels, compared with a somatically healthy patient of the same age group (А)

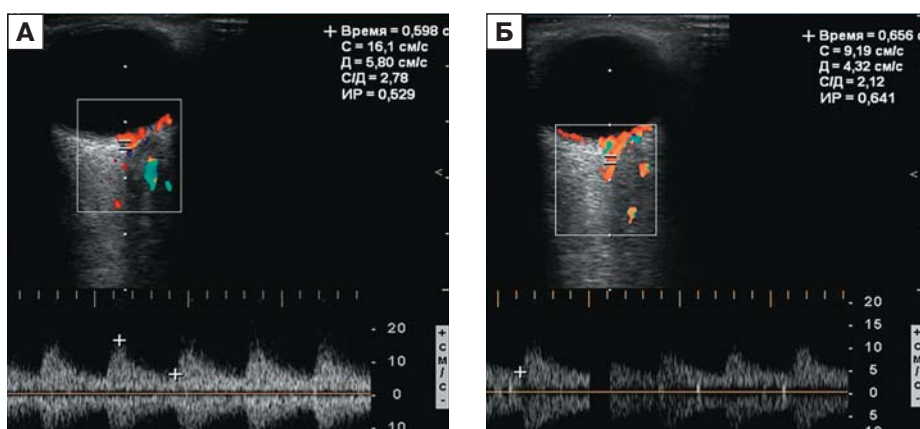


Рис. 2. Изменения кровотока в центральной артерии сетчатки (Б) у пациента 62 лет с АГ II стадии (степень 3, риск 3), ишемической болезнью сердца и атеросклеротическим поражением брахиоцефальных и коронарных сосудов сравнительно с состоянием соматически здорового пациента той же возрастной группы (А)

Fig. 2. Changes in blood flow in the central retinal artery (Б) in a 62-year-old patient with stage II arterial hypertension (grade 3, risk 3), ischemic heart disease, and atherosclerotic involvement of the brachiocephalic and coronary vessels, compared with a somatically healthy patient of the same age group (А)

ные ишемические изменения могут быть связаны с прогрессирующим снижением зрительных функций на фоне ЭСМ и с так называемой «необъяснимой» потерей зрения» после выведения силиконового масла [41–43].

Присутствие сосудистого компонента в патогенезе ГОН, особенно в условиях сопутствующей патологии, проявляющейся микроциркуляторными нарушениями органа зрения, обосновывает целесообразность применения в составе комбинированного лечения у этой категории пациентов ингибиторов карбоангидразы, обладающих способностью не только снижать ВГД за счет уменьшения продукции внутриглазной жидкости, но также улучшать кровоток в ЦАС и задних коротких цилиарных артериях, повышать диастолическое глазное перфузионное давление, увеличивать СП радиально-перипапиллярного капиллярного сплетения и проявлять антиоксидантную активность, т. е. оказывать как не прямое, так и прямое ретинопротекторное воздействие [28, 44–49].

Мы представляем серию клинических примеров применения воспроизведенной фиксированной комбинации (ФК) 2 % дорзоламида и 0,5 % тимолола (ФК-ДТ) — Дортис у пациентов с ПОУГ и офтальмогипертензией при наличии сопутствующей патологии.

Методы обследования пациентов включали оценку максимальной корригированной остроты зрения (МКОЗ) после рефрактометрии (Nidek); тонометрию (оценка истинного ВГД — Ро, мм рт. ст.; Nidek); гониоскопию; статическую автоматизированную периметрию (САП, протокол «глаукома», стратегия «быстрая пороговая») с определением периметрических индексов MD и PSD (dB; Optos); офтальмоскопию с фоторегистрацией картины глазного дна (Nidek); ОКТ (оценка состояния слоя нервных волокон сетчатки — RNFL, комплекса ганглиозных клеток — GCC, OptoVue); ультразвуковое триплексное исследование (VOLUSON) брахиоцефальных сосудов, глазничной артерии и центральной артерии сетчатки с оценкой Vs (см/с), Vd (см/с) и ИР. Пациенты находились под наблюдением кардиолога, установившего сопутствующий терапевтический диагноз.

Клинический пример 1. Старт гипотензивной терапии с ФК-ДТ при сочетании ПВ ПОУГ и гипертонической ангиопатии сетчатки на фоне АГ и ИБС.

В соответствии с федеральными клиническими рекомендациями РФ («Глаукома первичная открытоугольная», 2024) у пациентов с развитой (II) и далеко зашедшей (III) стадией ПОУГ и (или) при исходно очень высоком уровне давления возможен быстрый переход к комбинированной терапии или старт с комбинированного лечения [2]. Одной из возможностей старта с комбинированной гипотензивной терапии является применение ФК-ДТ, позволяющей снизить ВГД не менее

чем на 29 % от исходного уровня [45, 48]. Целесообразность такого подхода, как отмечено выше, обусловлена также способностью дорзоламида улучшать ретробульбарный кровоток и микроциркуляцию сетчатки и ЗН [28, 44–49]. Данное клиническое наблюдение иллюстрирует эффективность такого подхода.

Пациентка Д. 74 лет с диагнозом: «Впервые выявленная развитая ПВ ПОУГ правого глаза, начальная ІА ПОУГ левого глаза, гипертоническая ангиопатия сетчатки І степени обоих глаз на фоне АГ II стадии (степень 3, риск 3) и ИБС (стабильная стенокардия напряжения II ФК, атеросклеротическое поражение коронарных артерий)». Острота зрения правого глаза снижена до 0,6 без коррекции, истинное ВГД повышено до 25 мм рт. ст. При офтальмоскопии справа определялась широкая, плоская (блюдообразная) экскавация ДЗН с критическим истончением нейроретинального пояса в височном секторе, что подтверждалось данными ОКТ:

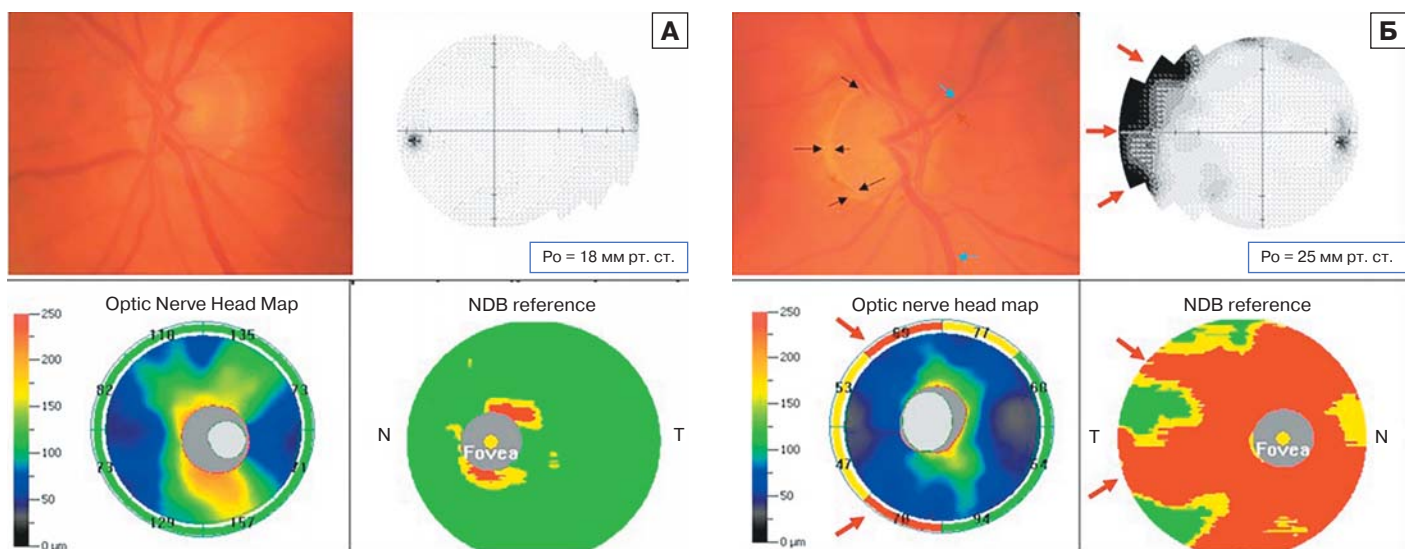


Рис. 3. Клинический пример 1. Состояние глазного дна, поля зрения и данных ОКТ
Fig. 3. Clinical case 1. Condition of the fundus, visual fields and OCT data

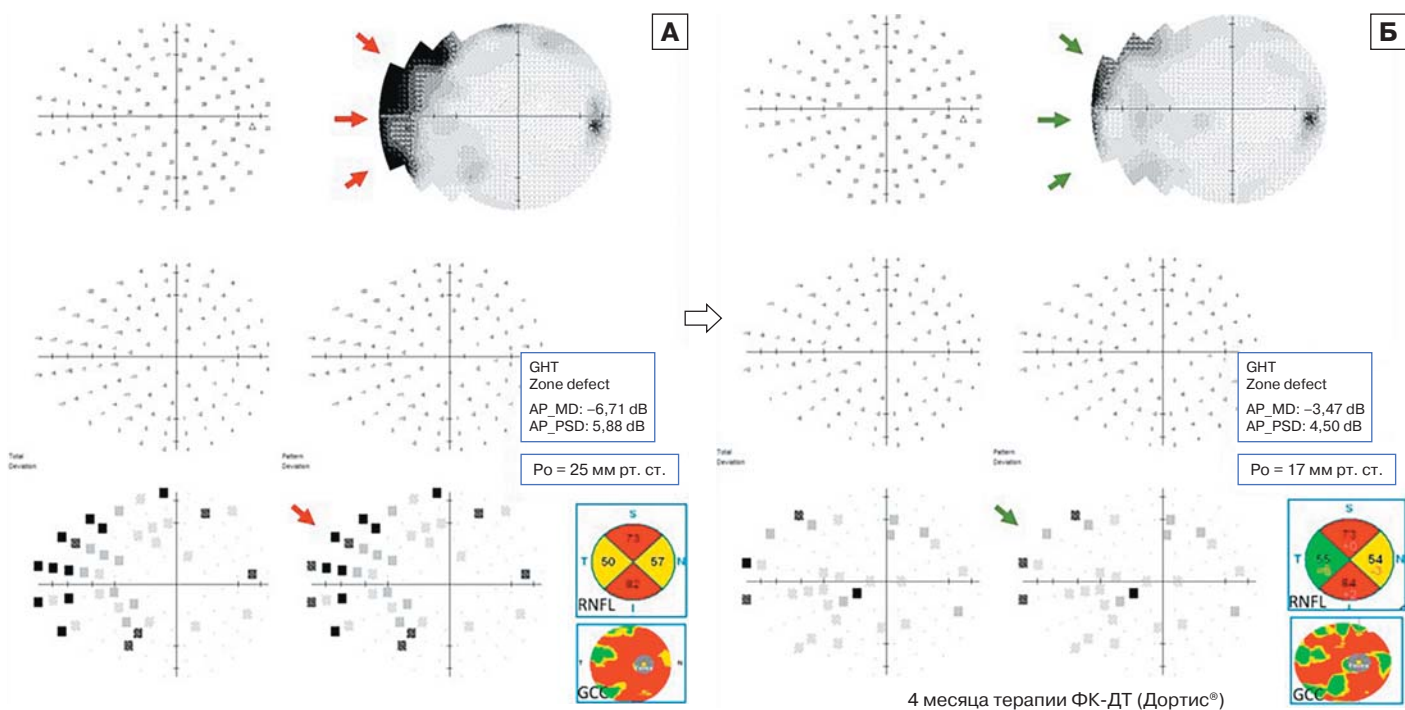


Рис. 4. Клинический пример 1. Динамика ВГД, поля зрения, данных ОКТ OD после 4 мес терапии
Fig. 4. Clinical case 1. Dynamics of IOP, visual field, OCT data OD after 4 months of therapy

темпоральное истечение RNFL, потеря GCC (рис. 3). Указанным структурным изменениям ЗН и сетчатки соответствовала потеря поля зрения в носовом секторе с ухудшением индекса MD до $-6,71$ dB и индекса PSD до $5,88$ dB (рис. 3, 4). Артерии сетчатки сужены на обоих глазах, а вены расширены. Острота зрения левого составила $0,7$ без коррекции, истинное ВГД — 18 мм рт. ст. Офтальмоскопическая картина ДЗН, ОКТ и поле зрения левого глаза соответствовали норме (рис. 3).

Пациентке были назначены инстиляции ФК-ДТ (Дортис по 1 капле, 2 раза в сутки) в правый глаз. Через 2 нед терапии ВГД правого глаза достигло целевого уровня (17 мм рт. ст.) и оставалось стабильным на протяжении всего периода наблюдения. Как показано на ри-

сунке 4, после 4 мес лечения отмечено улучшение поля зрения правого глаза (снижение MD с $-6,71$ до $-3,47$ dB; PSD с $5,88$ до $4,50$ dB) и стабилизация состояния RNFL и GCC. По данным УЗ-триплексного исследования отмечено увеличение Vs в ЦАС с $10,1$ до $12,7$ см/с.

Таким образом, приведенный пример показал высокую эффективность инстиляций ФК-ДТ в достижении целевого уровня ВГД, стабилизации поля зрения с улучшением периметрических индексов и нормализации гемодинамики в ЦАС.

Клинический пример 2. Переход на ФК-ДТ при недостаточном гипотензивном эффекте $0,5\%$ тимолола у пациента с ПВ ПОУГ, гипертонической ангиопатией сетчатки обоих глаз вследствие АГ и оперированной отслойкой сетчатки левого глаза.

Пациент Н., 68 лет, в течение одного года получал инстилляцию 0,5 % тимолола по поводу развитой ПОУГ обоих глаз. Сопутствующая патология была представлена осложненной катарактой и гипертонической ангиопатией сетчатки I степени обоих глаз при АГ (степень 2, риск 2).

Клинический пример 2.1. При обращении в клинику диагностирована регматогенная отслойка сетчатки и пролиферативная витреоретинопатия стадии С₃ левого глаза. Истинное ВГД левого глаза составило 11 мм рт. ст., острота зрения — 0,03 без коррекции. Пациенту была выполнена 25G-микроинвазивная витрэктомия (МИВЭ) с эндолазеркоагуляцией сетчатки и ЭСМ на левом глазу (EVA, Dors). При контрольном осмотре через 2 нед после МИВЭ острота зрения левого глаза повысилась до 0,2 (со sph +6,0 D), а истинное ВГД на фоне инстилляций 0,5 % тимолола составило 23 мм рт. ст. (рис. 5, А).

Учитывая выход ВГД левого глаза за пределы толерантного уровня, пациенту рекомендовали заменить инстилляцию 0,5 % тимолола на ФК-ДТ (Дортис, по 1 капле 2 раза в сутки). Через 7 дней после смены терапии истинное ВГД левого глаза снизилось до 18 мм рт. ст. Через 2 мес после МИВЭ (через 1,5 мес после перехода на ФК-ДТ) истинное ВГД левого глаза составило 17 мм рт. ст., отмечена стабилизация поля зрения с тенденцией к улучшению индекса MD (рис. 5, Б). Через 3 мес после МИВЭ острота зрения левого глаза повысилась до 0,3 (со sph +6,0 D), истинное ВГД было стабильным. Учитывая отсутствие риска рецидива отслойки сетчатки, пациенту выполнили выведение силиконового масла из витреальной полости левого глаза. Через 4 мес после МИВЭ (через 1 мес после удаления силиконового масла, 3,5 мес после перехода на инстилляцию ФК-ДТ) острота зрения левого глаза составила 0,3 без коррекции, истинное ВГД — 15 мм рт. ст. Снижение МКОЗ частично было обусловлено наличием осложненной катаракты. Отмечена стабили-

зация поля зрения левого глаза с легкой положительной динамикой со стороны индексов MD и PSD (рис. 5, В). При офтальмоскопии определялась широкая, плоская экскавация ДЗН с выраженным истончением нейроретинального пояса в височном секторе (что соответствовало дефекту в назальном секторе поля зрения), ДЗН деколорирован, ретинальные артерии сужены, вены расширены (ГАС I степени). Учитывая величину истинного ВГД в пределах целевого уровня, стабилизацию поля зрения и наличие сопутствующей патологии, пациенту рекомендовали продолжить инстилляцию ФК-ДТ в левый глаз.

Клинический пример 2.2. На парном правом глазу того же пациента на момент первичного обращения (до проведения МИВЭ левого глаза) ВГД на фоне инстилляций 0,5 % тимолола составляло 22 мм рт. ст., что превышало целевой уровень для развитой стадии ПОУГ (рис. 6, А). Острота зрения правого глаза была 0,4 без коррекции. При офтальмоскопии определялась широкая и плоская экскавация ДЗН с критическим истончением нейроретинального пояса в темпоральном секторе, чему соответствовала выраженная «назальная ступенька» в поле зрения (рис. 6, А).

Периметрические индексы MD и PSD находились за пределами нормы. Ретинальные артерии были сужены, вены расширены, что соответствовало I стадии ГАС. УЗ-триплексное исследование показало снижение Vs в ГА до 22,1 см/с и повышение ИР до 0,75, а также снижение Vs в ЦАС до 9,8 см/с и повышение ИР до 0,69. Учитывая отсутствие достижения давления цели на фоне инстилляций 0,5 % тимолола в правый глаз, пациенту рекомендовали переход на ФК-ДТ (Дортис, по 1 капле, 2 раза в сутки). Через 14 дней после смены терапии истинное ВГД правого глаза снизилось до 16 мм рт. ст. (целевой уровень для развитой стадии ПОУГ). Как показано на рисунке 6, в течение последующего наблюдения (4 мес) истинное ВГД оставалось стабильным в пределах целевых значений, отмечена

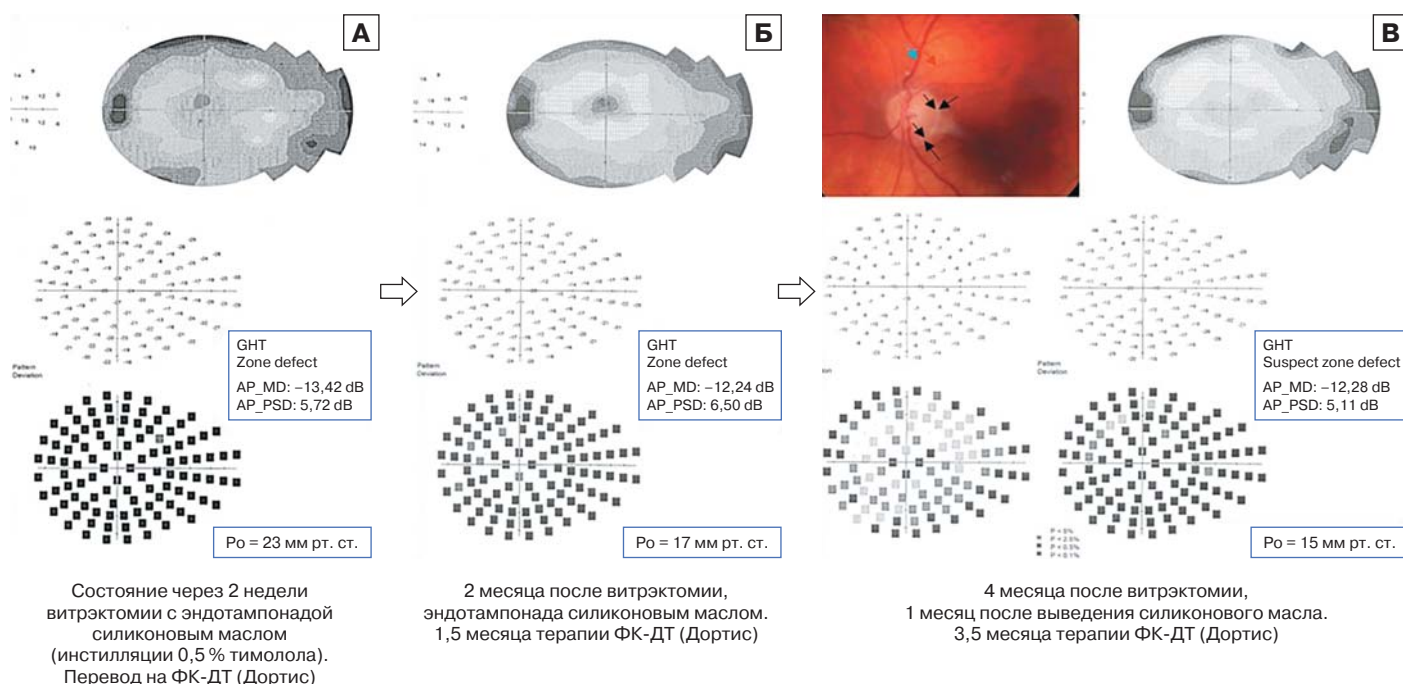


Рис. 5. Клинический пример 2.1. Динамика ВГД и поля зрения ОС на фоне лечения

Fig. 5. Clinical case 2.1. Dynamics of IOP and visual field OS during treatment. On the left: Condition 2 weeks after vitrectomy with silicone oil tamponade (instillations of 0.5 % timolol). Transfer to a fixed combination DT-FC (Dortis). In the middle: 2 months after vitrectomy with silicone oil tamponade, 1.5 months therapy with fixed combination DT-FC (Dortis). On the right: 4 months after vitrectomy, 1 month after silicone oil removal, 3.5 months therapy with DT-FC (Dortis)

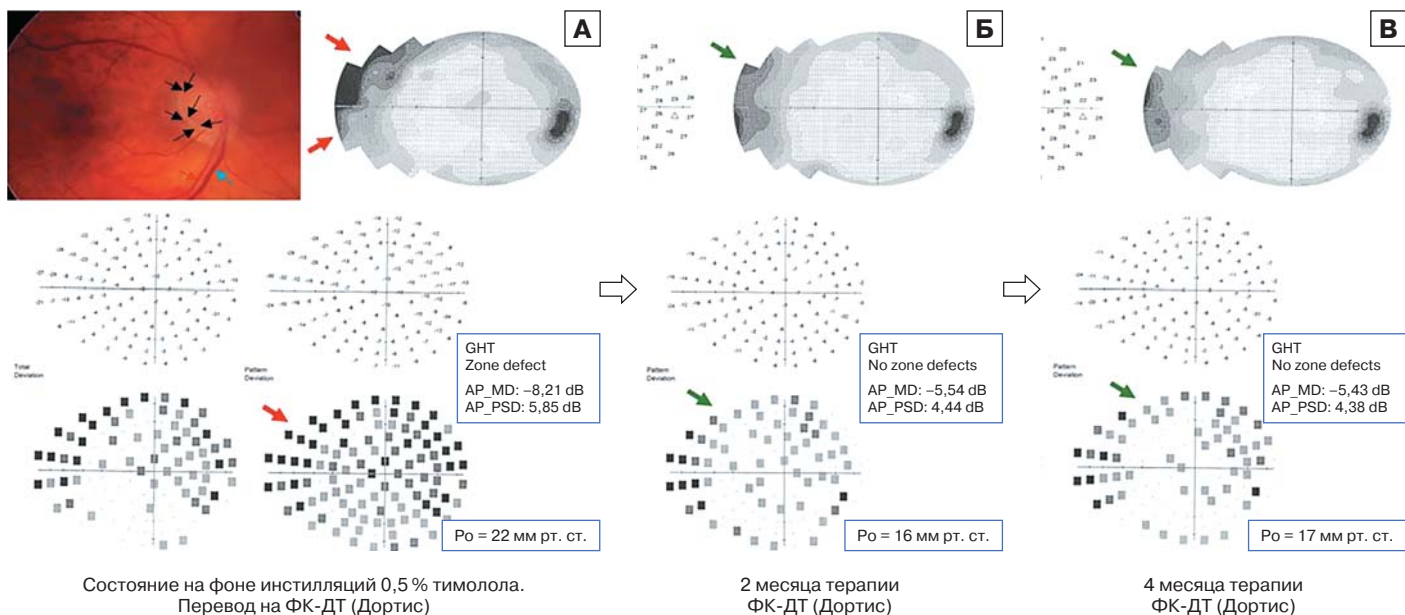


Рис. 6. Клинический пример 2.2. Динамика ВГД и поля зрения OD на фоне лечения

Fig. 6. Clinical case 2.2. Dynamics of IOP and visual field OD during treatment. On the left: Condition during instillations 0.5 % timolol. Transfer to DT-FC (Dortis). In the middle: 2 months therapy DT-FC (Dortis). On the right: 4 months therapy DT-FC (Dortis)

стабилизация поля зрения с улучшением периметрических индексов MD и PSD. Острота зрения сохранялась на исходном уровне (при этом снижение МКОЗ отчасти было обусловлено осложненной катарактой). По данным УЗ-триплексного исследования зарегистрировано повышение V_s в ГА с 9,8 до 13,1 см/с.

Резюмируя рассмотренный пример, можно отметить, что переход с тимолола на ФК-ДТ (Дортис) у пациента с ПВ ПОУГ и гипертонической ангиопатией сетчатки обоих глаз при АГ позволил:

- достигнуть целевого уровня ВГД и стабилизировать поле зрения левого глаза на фоне хирургического лечения отслойки сетчатки с ЭСМ витреальной полости и последующим его удалением;

- обеспечить достижение целевого ВГД правого глаза, стабилизацию полей зрения с улучшением периметрических индексов MD и PSD, а также повышение максимальной систолической скорости кровотока в ЦАС.

Клинический пример 3. Возможности применения ФК-ДТ у пациентки с офтальмогипертензией (на фоне ЭСМ витреальной полости) и гипертонической ангиопатией сетчатки на фоне АГ.

Пациентка П, 64 года, была прооперирована по поводу регматогенной отслойки сетчатки и пролиферативной витреоретинопатии стадии C_2 левого глаза: проведена 25G-микроинвазивная витрэктомия с периферической эндолазеркоагуляцией сетчатки и ЭСМ витреальной полости (EVA, Dorg). У пациентки также выявлялась гипер-

тоническая ангиопатия сетчатки обоих глаз на фоне АГ II стадии (степень 2, риск 2). При контрольном осмотре через 1 мес после МИВЭ острота зрения левого глаза составила 0,4 (с коррекцией sph+6 D), истинное ВГД было за пределами нормы (29 мм рт. ст.). Статическая автоматизированная периметрия показала отклонение индекса MD от граничных значений нормы и легкое увеличение индекса PSD (рис. 7, А).

Офтальмоскопически определялась деколорация ДЗН при нормальной ширине нейроретинального пояса, артерии сетчатки были сужены, вены расширены, что соответствовало ГАС I стадии. Учитывая высокий уровень истинного ВГД левого глаза и присутствие микроциркуляторных нарушений сетчатки (обусловленных как сопутствующей АГ, так и влиянием ЭСМ), пациентке рекомендовали инстилляцию ФК-ДТ (Дортис; по 1 капле, 2 раза в сутки) в левый глаз.

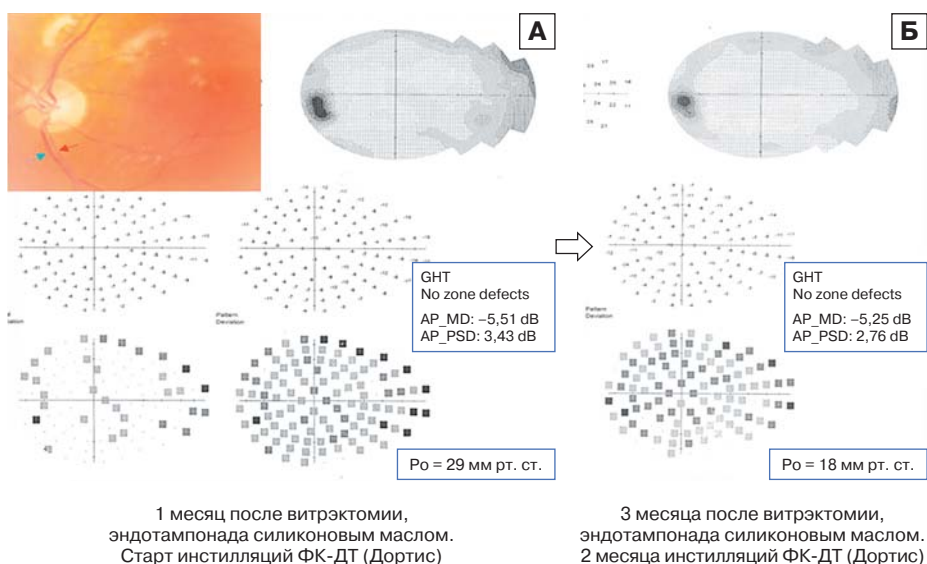


Рис. 7. Клинический пример 3. Динамика ВГД и поля зрения OS на фоне лечения

Fig. 7. Clinical case 3. Dynamics of IOP and visual field OS during treatment. On the left: 1 month after vitrectomy with silicone oil tamponade. Start of instillations of DT-FC (Dortis). On the right: 3 months after vitrectomy with silicone oil tamponade. 2 months instillations of DT-FC (Dortis)

Через 2 нед терапии истинное ВГД снизилось до 20 мм рт. ст. Как показано на рисунке 7, через 2 мес инстилляций ФК-ДТ (через 3 мес после МИВЭ с ЭСМ) истинное ВГД левого глаза снизилось до уровня 18 мм рт. ст., отмечена стабилизация поля зрения левого глаза с тенденцией к улучшению индекса MD и легким улучшением индекса PSD, острота зрения была стабильной.

Таким образом, инстилляции ФК-ДТ Дортис позволили нормализовать ВГД и стабилизировать поле зрения у пациентки с офтальмогипертензией (на фоне тампонады витреальной полости силиконовым маслом) и гипертонической ангиопатии сетчатки на фоне АГ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Первый клинический пример продемонстрировал эффективность стартовой терапии ФК-ДТ у пациентки с ПВ ПОУГ и гипертонической ангиопатией сетчатки при АГ и ИБС, поскольку в результате терапии были зафиксированы следующие положительные изменения: снижение ВГД до целевого уровня для развитой стадии глаукомы, стабилизация поля зрения (с улучшением периметрических индексов MD и PSD), стабилизация показателей ОКТ (RNFL и GCC), а также улучшение максимальной систолической скорости кровотока в ЦАС.

Второй клинический пример показал, что переход на ФК-ДТ у пациента со ПВ ПОУГ и гипертонической ангиопатией при АГ в условиях недостаточной эффективности инстилляций 0,5 % тимолола позволил достигнуть целевого уровня ВГД и обеспечить стабилизацию поля зрения левого глаза на фоне хирургического лечения отслойки сетчатки с ЭСМ витреальной полости с последующим его удалением; снизить ВГД правого глаза до целевого уровня, добиться стабилизации поля зрения с улучшением периметрических индексов MD и PSD и повышения максимальной систолической скорости кровотока в ЦАС.

Третий клинический пример проиллюстрировал эффективность применения ФК-ДТ у пациентки с офтальмогипертензией (обусловленной ЭСМ витреальной полости) и гипертонической ангиопатией сетчатки на фоне АГ, так как инстилляционная терапия дала возможность снизить ВГД до нормального уровня и стабилизировать состояние поля зрения.

Литература/References

- Егоров Е.А., Еричев В.П., ред. Национальное руководство по глаукоме для практикующих врачей. Изд. 4-е, испр. и доп. Москва: ГЭОТАР-Медиа. 2019. [Egorov E.A., Elichev V.P., eds. National guidelines for glaucoma for practitioners. Edition 4th corrected and supplemented. Moscow; GEOTAR-Media. 2019 (In Russ.).]
- Глаукома первичная открытоугольная. Клинические рекомендации РФ. 2024. [Primary open-angle glaucoma. Clinical guidelines of the Russian Federation. 2024: 68 (In Russ.).]
- Нероев В.В., Егоров Е.А., Мошетова Л.К. и соавт., ред. Офтальмология. Национальное руководство. Изд. Москва: ГЭОТАР-Медиа; 2025. [Neroev V.V., Egorov E.A., Moshetova L.K., et al., eds. Ophthalmology. National guidelines: Moscow; GEOTAR-Media. 2025 (In Russ.).]
- Terminology and guidelines for glaucoma. 6th edition. EGS. 2025.
- Волков В.В., Сухинина Л.Б., Устинова Е.И. Глаукома, преглаукома, офтальмогипертензия. Ленинград: Медицина; 1985. [Volkov V.V., Sukhinina L.B., Ustinova E.I. Glaucoma, preglaucoma, ophthalmic hypertension. Leningrad: Meditsina; 1985 (In Russ.).]
- Flammer J, Orgul S, Costa VP, et al. The impact of ocular blood flow in glaucoma. *Prog Retin Eye Res*. 2002; 21 (4): 359–93. doi:10.1016/s1350-9462(02)00008-3
- Киселева Т.Н., Тарасова Л.Н., Фокин А.А. и соавт. Особенности клинические открытоугольной глаукомы у пациентов с критическим стенозом внутренней сонной артерии. *Вестник офтальмологии*. 2002; 118 (1): 6–9. [Kiseleva T.N., Tarasova L.N., Fokin A.A., et al. Clinical features of open-angle glaucoma in patients with critical stenosis of the internal carotid artery. *Vestnik oftal'mologii*. 2002; 118 (1): 6–9 (In Russ.).]
- Киселева Т.Н., Григорьева Е.Г., Тарасова Л.Н. Глаукоматозная нейропатия в сочетании с патологией сонных артерий: особенности патогенеза и диагностики. *Вестник офтальмологии*. 2003; 119 (6): 5–7. [Kiseleva T.N., Grigoreva E.G., Tarasova L.N. Glaucomatous neuropathy combined with carotid pathology: features of pathogenesis and diagnosis. *Vestnik oftal'mologii*. 2003; 119 (6): 5–7 (In Russ.).]
- Leske MC. Ocular perfusion pressure and glaucoma: clinical trial and epidemiologic findings. *Curr Opin Ophthalmol*. 2009; 20 (2): 73–8. doi: 10.1097/ICU.0b013e32831ee82
- Weinreb RN, Harris A. Ocular blood flow in glaucoma: Consensus series 6. The Netherlands. Kugler Publications; 2009
- Курышева Н.И., Киселева Т.Н., Иртегова Е.Ю. Особенности венозного кровотока при первичной открытоугольной глаукоме. *Глаукома*. 2012; 4: 24–30. [Kuryшева N.I., Kiseleva T.N., Irtegov E.Yu. Features of venous blood flow in primary open-angle glaucoma. *Glaucoma*. 2012; 4: 24–30 (In Russ.).]
- Jia Y, Wei E, Wang X, et al. Optical coherence tomography angiography of optic disc perfusion in glaucoma. *Ophthalmology*. 2014; 121 (7): 1322–32. doi: 10.1016/j.ophtha.2014.01.021
- Wang X, Jiang C, Ko T, et al. Correlation between optic disc perfusion and glaucomatous severity in patients with open-angle glaucoma: an optical coherence tomography angiography study. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2015; 253 (9): 1557–64. doi: 10.1007/s00417-015-3095-y
- Курышева Н.И., Маслова Е.В., Трубилина А.В. и соавт. ОКТ-ангиография и цветное доплеровское картирование в исследовании гемоперфузии сетчатки и зрительного нерва при глаукоме. *Офтальмология*. 2016; 13 (2): 102–10. [Kuryшева N.I., Maslova E.V., Trubilina A.V., et al. OCT angiography and Color Doppler Imaging in the study of hemoperfusion in the retina and optic nerve in POAG. *Ophthalmology in Russia*. 2016; 13 (2): 102–10 (In Russ.).] doi: 10.18008-1816-5095-2016-102-110
- Bittner M, Faes L, Boehni SC, et al. Colour Doppler analysis of ophthalmic vessels in the diagnosis of carotid artery and retinal vein occlusion, diabetic retinopathy and glaucoma: systematic review of test accuracy studies. *BMC Ophthalmol*. 2016; 16 (1): 214. doi: 10.1186/s12886-016-0384-0
- Курышева Н.И. Сосудистая теория патогенеза глаукомной оптико-нейропатии: обоснование с позиций анатомии и физиологии глазного кровотока. Часть 1. *Национальный журнал Глаукома*. 2017; 16 (3): 90–7. [Kuryшева N.I. Vascular theory of the glaucomatous optic neuropathy pathogenesis: rationale in terms of ocular blood flow anatomy and physiology. Part 1. *National journal of Glaucoma*. 2017; 16 (3): 90–7 (In Russ.).]
- Chansangpet S, Lin SC. Optical coherence tomography angiography in glaucoma care. *Curr Eye Res*. 2018; 43 (9): 1067–82. doi: 10.1080/02713683.2018.1475013
- Малишевская Т.Н., Киселева Т.Н., Филиппова Ю.Е. и соавт. Структурные и функциональные особенности периферического кровообращения у пациентов с глаукомой. *Вестник офтальмологии*. 2020; 136 (5): 67–76. [Malishevskaya T.N., Kiseleva T.N., Filippova Yu.E., et al. Structural and functional features of peripheral vasculature in patients with glaucoma. *Vestnik oftal'mologii*. 2020; 136 (5): 67–76 (In Russ.).] doi: 10.17116/oftalma202013605167
- Kim JA, Son DH, Lee EJ, et al. Intereye comparison of the characteristics of the peripapillary choroid in patients with unilateral normal-tension glaucoma. *Ophthalmol Glaucoma*. 2021; 4 (5): 512–21. doi: 10.1016/j.ogla.2021.02.003
- Madhupuri G, Gokhale S, Agrawal A, et al. Evaluation of hemodynamic changes in retinobulbar blood vessels using color doppler imaging in diabetic patients. *Life (Basel)*. 2022; 12 (5): 629. doi:10.3390/life12050629 31
- Wu X, Konieczka K, Liu X, et al. The role of ocular blood flow in normal tension glaucoma. *Adv Ophthalmol Pract Res*. 2022; 2 (1): 100036. doi: 10.1016/j.aopr.2022.100036
- Курышева Н.И., Никитина А.Д. Оптическая когерентная томография и оптическая когерентная томография — ангиография в определении прогрессирования глаукомы. Часть 2. Клинико-функциональные корреляции, мониторинг на поздней стадии и ограничения метода. *Вестник офтальмологии*. 2023; 139 (2): 76–83. [Kuryшева N.I., Nikitina A.D. Optical coherence tomography and optical coherence tomography angiography for detecting glaucoma progression. Part 2. Clinical and functional correlations, monitoring of advanced glaucoma and limitations of the method. *Vestnik oftal'mologii*. 2023; 139 (2): 76–83 (In Russ.).] doi: 10.17116/oftalma202313902176
- Киселева Т.Н., Баева А.В., Елисеева Е.К. и соавт. Анатомические характеристики и структурные особенности зрительного нерва. *Российский офтальмологический журнал*. 2024; 17 (1): 130–5. [Kiseleva T.N., Baeva A.V., Eliseeva E.K., et al. Anatomical characteristics and structural features of the optic nerve. *Russian ophthalmological journal*. 2024; 17 (1): 130–5 (In Russ.).] <https://doi.org/10.21516/2072-0076.2024-17-1-130-135>
- Малишевская Т.Н., Киселева Т.Н., Рензяк Е.В. Ультразвуковые доплеровские методы в оценке глазного кровотока у пациентов с глаукомой. *Регионарное кровообращение и микроциркуляция*. 2024; 23 (4): 22–9.

- [Malishevskaya T.N., Kiseleva T.N., Renzyak E.V. Evaluation of ocular blood flow by Doppler Ultrasound in patients with glaucoma. *Regional hemodynamics and microcirculation*. 2024; 23 (4): 22–9 (In Russ.)]. doi: 10.24884/1682-6655-2024-23-4-22-29
25. Петров С.Ю., Киселева Т.Н., Охотимская Т.Д. Микроциркуляция глаза при глаукоме. Часть 1. Методы исследования. *Офтальмологические ведомости*. 2024; 17 (3): 113–23. [Petrov S.Yu., Kiseleva T.N., Okhotsimskaya T.D., et al. Eye micro circulation in glaucoma. Part 1. Diagnostic methods. *Ophthalmology reports*. 2024; 17 (3): 113–23 (In Russ.)]. doi: 10.17816/OV628995
 26. Петров С.Ю., Орлова Е.Н., Киселева Т.Н. и соавт. Микроциркуляция глаза при глаукоме. Часть 2. Нарушения регионарной гемодинамики. *Офтальмологические ведомости*. 2024; 17 (4): 99–110. [Petrov S.Yu., Orlova E.N., Kiseleva T.N., et al. Eye microcirculation in glaucoma. Part 2. Disorders of regional hemodynamics. *Ophthalmology reports*. 2024; 17 (4): 99–110 (In Russ.)]. doi: 10.17816/OV630422
 27. Петров С.Ю., Орлова Е.Н., Киселева Т.Н. и соавт. Микроциркуляция глаза при глаукоме. Часть 3. Влияние гипотензивного лечения. *Офтальмологические ведомости*. 2025; 18 (2): 95–102. [Petrov S.Yu., Orlova E.N., Kiseleva T.N., et al. Eye microcirculation in glaucoma. Part 3. Hypotensive therapy effect. *Ophthalmology reports*. 2025; 18 (2): 95–102 (In Russ.)]. doi: 10.17816/OV632510
 28. Эрб К. Глаукома и артериальная гипертензия. *Российский офтальмологический журнал*. 2016; 1: 105–11. [Erb C. Glaucoma and arterial hypertension. *Russian ophthalmological journal*. 2016; 1: 105–11 (In Russ.)].
 29. Мошетова Л.К., Воробьева И.В., Дгебуадзе А. Современные аспекты гипертонической ангиоретинопатии. *Офтальмология*. 2018; 15 (4): 470–5. [Moshetova L.K., Vorobyeva I.V., Dgebuadze A. Modern aspects of hypertensive angioretinopathy. *Ophthalmology in Russia*. 2018; 15 (4): 470–5 (In Russ.)]. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2018-4-470-475>
 30. Тузлаев В.В., Егоров В.В., Кравченко И.З. и соавт. Анализ эффективности дифференцированного подхода к лечению пациентов с различной степенью тяжести хронической ишемической ретинопатии, ассоциированной со стенозом внутренней сонной артерии. *Офтальмология*. 2020; 17 (1): 133–41. [Tuzlaev V.V., Egorov V.V., Kravchenko I.Z., et al. Analysis of differentiated approach effectiveness in patients with varying degrees of severity of chronic ocular ischemic syndrome caused by internal carotid artery stenosis. *Ophthalmology in Russia*. 2020; 17 (1): 133–41 (In Russ.)]. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2020-1-133-141>
 31. Мошетова Л.К., Воробьева И.В., Дгебуадзе А. и соавт. Результаты офтальмологического мониторинга пациентов с гипертонической болезнью и ишемической болезнью сердца. *Клиническая офтальмология*. 2021; 21 (2): 51–7. [Moshetova L.K., Vorobyeva I.V., Dgebuadze A., et al. Ophthalmological monitoring in patients with hypertension and coronary heart disease. *Russian journal of clinical ophthalmology*. 2021; 21 (2): 51–7 (In Russ.)]. doi: 10.32364/2311-7729-2021-21-2-51-57
 32. Барсуков А.В., Ясеновец М.В., Шербакова К.А. и соавт. Глазное дно как орган-мишень при гипертонической болезни: обзор литературы. *CardioComatika*. 2022; 13 (4): 213–22. [Barsukov A.V., Yasenovets M.V., Shcherbakova K.A., et al. The fundus of the eye as a target organ in hypertension: a literature review. *CardioSomatics*. 2022; 13 (4): 213–22 (In Russ.)]. doi: <https://doi.org/10.17816/CS196005>
 33. Киселева Т.Н., Тарасова Л.Н., Фокин А.А. и соавт. Кровоток в сосудах глаза при двух типах течения глазного ишемического синдрома. *Вестник офтальмологии*. 2001; 117 (1): 22–4. [Kiseleva T.N., Tarasova L.N., Fokin A.A., et al. Blood flows in ocular vessels in two patterns of ocular ischemic syndrome. *Vestnik oftal'mologii*. 2001; 117(1): 22–4 (In Russ.)].
 34. Hazin R, Daoud YJ, Khan F. Ocular ischemic syndrome: Recent trends in medical management. *Curr Opin Ophthalmol*. 2009; 20 (6): 430–3. doi: 10.1097/ICU.0b013e3283313d38
 35. Terelak-Borys B, Skonieczna K, Grabska-Liberek I. Ocular ischemic syndrome — a systematic review. *Med Sci Monit*. 2012; 18 (8): RA138-RA144. doi: 10.12659/msm.883260
 36. Касымова М.С., Махкамова Д.К., Хамраева Г.Х. Особенности течения глазного ишемического синдрома при хронической цереброваскулярной ишемии. *Офтальмология*. 2013; 10 (3): 63–7. [Kasimova M.S., Makhamova D.K., Hamraeva G.H. Peculiarities of the course of ocular ischemic syndrome in chronic cerebrovascular ischemia. *Ophthalmology in Russia*. 2013; 10 (3): 63–7 (In Russ.)].
 37. Плюхова А.А., Балацкая Н.В., Будзинская М.В. Изменения органа зрения при системном атеросклерозе. *Вестник офтальмологии*. 2013; 1: 71–4. [Plukhova A.A., Balatskaya N.V., Boudzinskaya M.V. Ocular changes in systemic atherosclerosis. *Vestnik oftal'mologii*. 2013; 1: 71–4 (In Russ.)].
 38. Keith NM, Wagener HP, Barker NW. Some different types of essential hypertension: their course and prognosis. *Am J Med Sci*. 1939; 197: 332–43. doi:10.1097/00000441-193903000-00006
 39. Tan W, Yao X, Le TT, et al. The application of optical coherence tomography angiography in systemic hypertension: A meta-analysis. *Front Med (Lausanne)*. 2021; 8: 778330. doi: 10.3389/fmed.2021.778330
 40. Liu Y, Li J, Pan J, et al. Morphological changes in and quantitative analysis of macular retinal microvasculature by optical coherence tomography angiography in hypertensive retinopathy. *Hypertens Res*. 2021; 44 (3): 325–36. doi: 10.1038/s41440-020-00583-0
 41. Нероев В.В., Зайцева О.В., Ушаков А.И. Влияние силиконового масла на анатомические и функциональные параметры сетчатки при хирургии регматогенной отслойки сетчатки. *Российский офтальмологический журнал*. 2024; 17 (2): 142–7. [Neroev V.V., Zaytseva O.V., Ushakov A.I. The effect of silicone oil on the anatomical and functional parameters of the retina during surgery of regmatogenic retinal detachment. *Russian ophthalmological journal*. 2024; 17 (2): 142–7 (In Russ.)]. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2024-17-2-142-147>
 42. Lee JY, Kim JY, Lee SY, et al. Foveal microvascular structures in eyes with silicone oil tamponade for rhegmatogenous retinal detachment: a swept source optical coherence tomography angiography study. *Sci Rep*. 2020; 10 (1): 2555. doi: 10.1038/s41598-020-59504-3
 43. Ma Y, Zhu XQ, Peng XY. Macular perfusion changes and ganglion cell complex loss in patients with silicone oil related visual loss. *Biomed Environ Sci*. 2020; 33 (3): 151–7. doi: 10.3967/bes2020.021
 44. Martinez A, Sanchez M. A comparison of the effects of 0.005% latanoprost and fixed combination dorzolamide/timolol on retrobulbar haemodynamics in previously untreated glaucoma patients. *Curr Med Res Opin*. 2006; 22 (1): 67–73. doi: 10.1185/030079906X80215
 45. Siesky B, Harris A, Sines D. A comparative analysis of the effects of the fixed combination of timolol and dorzolamide versus latanoprost plus timolol on ocular hemodynamics and visual function in patients with primary open-angle glaucoma. *J Ocul Pharmacol Ther*. 2006; 22: 353–61. doi: 10.1089/JOP.2006.22.353
 46. Siesky B, Harris A, Edward Brizendine E. Literature review and meta-analysis of topical carbonic anhydrase inhibitors and ocular blood flow. *Survey of Ophthalmology*. 2009; 54 (1): 33–46. doi: 10.1016/j.survophthal.2008.06.002
 47. Курышева Н.И., Апостолова А.С., Киселева Т.Н. Бринзоламид/тимолол и латанопрол в лечении псевдоэкзофиативной глаукомы. *Национальный журнал Глаукома*. 2014; 3: 52–63. [Kuryшева N.I., Apostolova A.S., Kiseleva T.N. Brinzolamide/timolol and latanoprost in the treatment of pseudoexfoliative glaucoma. *National journal of Glaucoma*. 2014; 3: 52–63 (In Russ.)].
 48. Курышева Н.И. Ингибиторы карбоангидразы в лечении глаукомы. Обзор. Часть 1. *Офтальмология*. 2020; 17 (3s): 542–9. [Kuryшева N.I. Carbonic anhydrase inhibitors in the treatment of glaucoma. Review. Part I. *Ophthalmology in Russia*. 2020; 17 (3s): 542–9 (In Russ.)]. doi: 10.18008/1816-5095-2020-3S-542-549
 49. Lin Y-H, Su W-W, Huang S-M, et al. Optical coherence tomography angiography vessel density changes in normal-tension glaucoma treated with carteolol, brimonidine, or dorzolamide. *J Glaucoma*. 2021; 30 (8): 690–6. doi: 10.1097/IJG.0000000000001859

Вклад авторов в работу: С.В. Янченко — концепция исследования, сбор и интерпретация данных, подготовка иллюстраций, написание статьи; А.В. Малышев — научное редактирование статьи; Н.Ю. Худдиева — сбор данных.

Author's contribution: S.V. Yanchenko — concept of the study, collection and interpretation of data, preparation of illustrations, writing the article; A.V. Malyshev — scientific editing of the article; N.Yu. Khuddieva — data collection.

Поступила: 17.04.2026. Переработана: 18.04.2026. Принята к печати: 18.04.2026

Originally received: 17.04.2026. Final revision: 18.04.2026. Accepted: 18.04.2026

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ/INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Бухарский государственный медицинский институт им. Абу Али ибн Сино, ул. А. Навои, д. 1, Бухара, 200100, Республика Узбекистан

Сергей Владимирович Янченко — д-р мед. наук, профессор кафедры офтальмологии, ORCID 0000-0002-7371-689X

Наргиз Юлдашевна Худдиева — канд. мед. наук, доцент кафедры офтальмологии, ORCID 0009-0006-4217-7826

¹ ГБУЗ «НИИ — Краевая клиническая больница № 1 им. проф. С.В. Очаповского» Минздрава Краснодарского края, ул. Первого Мая, д. 167, Краснодар, 350000, Россия

² ФГБОУ ВО «Майкопский государственный технологический университет» Министерства образования России, ул. Пушкина, д. 177, Майкоп, Республика Адыгея, 385776, Россия

Алексей Владиславович Малышев — д-р мед. наук, профессор, заведующий офтальмологическим отделением¹, заведующий кафедрой офтальмологии², ORCID 0000-0002-1448-9690

Для контактов: Сергей Владимирович Янченко,
yanchenko_sv_21@mail.ru

Bukhara State Medical Institute named after Abu Ali ibn Sino, 1, A. Navoi St., Bukhara, 200100, Uzbekistan

Sergey V. Yanchenko — Dr. of Med. Sci., professor of chair of ophthalmology, ORCID 0000-0002-7371-689X

Nargiz Yu. Huddieva — Cand. of Med. Sci., associate professor of chair of ophthalmology, ORCID 0009-0006-4217-7826

¹ Scientific Research Institution — S.V. Ochapovsky Regional Clinic Hospital #1, 167, 1st May St., Krasnodar, 350000, Russia

² Maykop State Technological University, 177, Pushkin St., Maykop, Adygea Republic, 385776, Russia

Alexey V. Malyshev — Dr. of Med. Sci., head of ophthalmology department¹, head of chair of ophthalmology², ORCID 0000-0002-1448-9690

For contacts: Sergey V. Yanchenko,
yanchenko_sv_21@mail.ru



<https://doi.org/10.21516/2072-0076-2026-19-2-192-202>

Топические стероиды в офтальмологии. Часть 1. Фармакокинетика

А.М. Абудайяк Бахаа¹✉, В.П. Николаенко^{1,2}

¹ ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет», Университетская наб., д. 7/9, Санкт-Петербург, 199034, Россия

² СПб ГБУЗ «Городская многопрофильная больница № 2», пер. Учебный, д. 5, Санкт-Петербург, 194354, Россия

Топические глюкокортикоиды (ГК), оставаясь основой терапии воспалительных заболеваний переднего отрезка глаза, демонстрируют значительную вариабельность клинической эффективности. Причина этой неоднородности кроется в уникальном фармакологическом профиле каждого соединения, который напрямую определяет его способность к пенетрации и аккумуляции в тканях глаза. В обзоре представлен комплексный анализ фармакокинетики ключевых стероидов, применяемых в офтальмологии, — преднизолона, дексаметазона, фторметолона, гидрокортизона, лотепреднола, дифлупредната. Детально рассмотрены основные факторы, влияющие на их проникновение: физико-химические характеристики молекулы (липофильность, растворимость, размер), фармацевтическая форма, состояние глазной поверхности и способ введения. Особый акцент сделан на сравнительной оценке концентраций рассматриваемых ГК в водянистой влаге, что служит ключевым интегральным показателем их внутриглазной биодоступности. Проведенный анализ выявляет существенную неоднородность фармакокинетических профилей, имеющую прямые клинические следствия. Обсуждается взаимосвязь между физико-химическими свойствами стероидов, их относительной противовоспалительной активностью и ожидаемой клинической эффективностью. Представленные данные формируют научную базу для рационального выбора препарата, обеспечивающего достижение целевого терапевтического результата с учетом специфики фармакокинетики каждого агента, а также характера и локализации воспалительного процесса.

Ключевые слова: топические глюкокортикоиды; фармакокинетика; биодоступность; транскорнеальное проникновение; липофильность; противовоспалительная активность; преднизолон; фторметолон; лотепреднол; дифлупреднат

Конфликт интересов: отсутствует.

Прозрачность финансовой деятельности: никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

Для цитирования: Абудайяк Бахаа А.М., Николаенко В.П. Топические стероиды в офтальмологии. Часть 1. Фармакокинетика. Российский офтальмологический журнал. 2026; 19 (2): 192-202. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2026-19-2-192-202>

Topical steroids in ophthalmology. Part 1. Pharmacokinetics

Bahaa A.M. Abudayyak¹✉, Vadim P. Nikolaenko^{1,2}

¹ St. Petersburg State University. 7/9, Universitetskaya emb., St. Petersburg, 199034, Russia

² City Multidisciplinary Hospital No. 2, 5, Uchebnyy lane, St. Petersburg, 194354, Russia
baha.jin@yandex.ru

Topical glucocorticoids remain the cornerstone of therapy for inflammatory disorders of the anterior segment of the eye; nevertheless, their clinical efficacy exhibits considerable variability. This heterogeneity is rooted in the distinct pharmacological profiles of individual steroids, which directly govern their capacity for ocular penetration and tissue accumulation. The review offers a comprehensive analysis of the pharmacokinetics of key ophthalmic steroids — prednisolone, dexamethasone, fluorometholone, hydrocortisone, loteprednol, and difluprednate. The principal determinants of corneal penetration are examined in detail, including the physicochemical properties

of the molecule (lipophilicity, solubility, molecular size), formulation characteristics, the condition of the ocular surface, and the route of administration. Emphasis is placed on a comparative assessment of aqueous humor concentrations, which serve as a key integrative indicator of intraocular bioavailability. The analysis demonstrates considerable heterogeneity in pharmacokinetic profiles — a finding of direct clinical relevance. Furthermore, the relationship between the physicochemical properties of these steroids, their relative anti-inflammatory potency, and anticipated clinical outcomes are discussed. The data presented herein provide a scientific foundation for the rational selection of a therapeutic agent, ensuring that the desired clinical result is achieved in consideration of the specific pharmacokinetic properties of each drug, as well as the nature and localization of the inflammatory process.

Keywords: topical glucocorticoids; pharmacokinetics; bioavailability; transcorneal penetration; lipophilicity; anti-inflammatory activity; prednisolone; fluorometholone; loteprednol; difluprednate

Conflict of interest: there is no conflict of interest.

Financial disclosure: no author has a financial or property interest in any material or method mentioned.

For citation: Abudayyak Bahaa A.M., Nikolaenko V.P. Topical steroids in ophthalmology. Part 1. Pharmacokinetics. Russian ophthalmological journal. 2026; 19 (2): 192-202 (In Russ.). <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2026-19-2-192-202>

На протяжении последних шести десятилетий глюкокортикоиды (ГК) занимают центральное место в офтальмологии как самые мощные и часто назначаемые препараты для купирования воспалительных процессов органа зрения [1, 2].

Внедрение ГК в офтальмологию датируется 1950-ми гг. и является следствием успешного применения адренокортикотропного гормона (АКТГ) и кортизона в ревматологии [1]. Первое документально подтвержденное использование системной гормональной терапии при патологии глаза принадлежит J. Elkinton и A. Hunt [3], отметившим положительную динамику «экссудативной и геморрагической ретинопатии» у 29-летней пациентки с системным коллагенозом при назначении АКТГ. Вслед за этим был опубликован ряд работ, демонстрировавших эффективность гормонов при различных воспалительных заболеваниях глаз [1].

По мере накопления клинического опыта спектр применения ГК неуклонно расширялся [1]. Данная тенденция стимулировала активную разработку новых топических форм, чья противовоспалительная активность¹ на порядок превосходила таковую у кортизона.

Вскоре после их внедрения в клиническую практику были выявлены такие побочные эффекты, как развитие катаракты и повышение внутриглазного давления (ВГД), причем между противовоспалительным потенциалом стероида и риском развития офтальмогипертензии была обнаружена прямая корреляция [1].

Следующий этап ознаменовался углубленным изучением механизмов действия стероидов. Это в сочетании с созданием новых фармакологических форм, оптимизацией систем доставки и режимов дозирования привело к значительному прогрессу в терапии. В результате удалось не только повысить ее клиническую эффективность² и продолжительность действия, но и существенно снизить риск развития нежелательных реакций [4].

1. Механизм действия стероидов

В настоящее время отсутствует полноценное понимание механизмов действия ГК, однако установлено, что их противовоспалительный эффект формируется в результате

сложного многокомпонентного взаимодействия геномных и негеномных путей реализации [5].

Основной, геномный, путь инициируется при связывании молекулы ГК с соответствующим рецептором. Последующая транслокация лиганд-рецепторного комплекса в ядро приводит к модуляции транскрипционной активности генов, которая заключается как в индукции синтеза противовоспалительных белков, так и в репрессии провоспалительных медиаторов. Данный механизм обеспечивает длительный терапевтический эффект, развивающийся в течение нескольких часов [1, 5].

Параллельно активируются негеномные механизмы, которые характеризуются быстротой реализации (от секунд до минут) и осуществляются несколькими путями [5]. К ним относится прямое ингибирование фосфолипазы A2 (прерывающее каскад арахидоновой кислоты и снижающее синтез простагландинов и лейкотриенов), а также стабилизация лизосомальных мембран и подавление миграции лейкоцитов, что ограничивает дальнейшее повреждение тканей [1, 2, 4, 5].

Важным аспектом фармакологического действия ГК является их способность модулировать сосудистую проницаемость и барьерные функции. Они стабилизируют и восстанавливают гематоофтальмический барьер, что клинически проявляется в снижении экссудации и уменьшении отека. Кроме того, ГК демонстрируют антиангиогенный эффект, подавляя экспрессию фактора роста эндотелия сосудов, а также предотвращают грубое рубцевание роговицы, вероятно, за счет ингибирования пролиферации и трансдифференцировки кератоцитов [1, 2].

2. Факторы, влияющие на проникновение топических стероидов в глаз

На проникновение и накопление ГК в тканях глаза влияют физико-химические свойства молекулы (липофильность, растворимость в воде и ее размер), лекарственная форма, состав препарата, состояние тканей глазной поверхности и путь введения. Эти факторы необходимо учитывать при выборе оптимального ГК для лечения различных заболеваний переднего отрезка глаза.

2.1. Химическая структура и липофильность

Роговица, создающая основное препятствие для доставки лекарств в полость глаза при их топическом применении, имеет богатый липидами эпителий и насыщенную водой строму, что требует от молекулы лекарственного средства (ЛС) амфифильных свойств — сочетания липофильности и гидрофильности для эффективной транскорнеальной диффузии.

¹ Противовоспалительная активность — это фармакодинамический потенциал молекулы ГК, количественно описывающий ее способность подавлять воспалительный ответ. Данный показатель, как правило, оценивается в контролируемых *in vitro* и *in vivo* экспериментах. Полученные значения обычно стандартизируют в виде коэффициента, где за референтную единицу (1,0) принимают антифлогистический эффект гидрокортизона.

² Эффективность — клинический результат, определяемый комбинацией противовоспалительной активности и фармакокинетических параметров (транскорнеальное проникновение, пиковые концентрации, тканевая аккумуляция, скорость элиминации).

Таблица 1. Сравнительный анализ фармакокинетических параметров топических ГК в ВВ человека после однократной инстилляции 50 мкл [7, 10]
Table 1. Comparative analysis of pharmacokinetic parameters of topical glucocorticoids in human aqueous humor following a single 50 μ L instillation [7, 10]

Стероид (форма, концентрация) Steroid (form, concentration)	Пиковая концентрация, нг/мл Peak concentration, ng/mL	Временной интервал первого обнаружения в ВВ, мин, концентрации, нг/мл Time interval to first detection in aqueous humor, min; concentrations, ng/mL	Время достижения пиковой концентрации, мин Time to peak concentration, min	Основные временные интервалы обнаружения Main detection time intervals
Преднизолон (ацетат, 1 %) Prednisolone (acetate, 1 %)	669,6 $\pm$ 135,5	0–30 49,6 $\pm$ 14,4	91–180	До 24 ч (28,4 $\pm$ 9,9 нг/мл) Up to 24 hours (28.4 $\pm$ 9.9 ng/mL)
Преднизолон (натрия фосфат, 0,5 %) Prednisolone (sodium phosphate, 0.5 %)	25,6 $\pm$ 4,0	0–30 4,30 $\pm$ 0,92	91–240	Не обнаруживался после 10 ч Not detected after 10 hours
Дексаметазон (алкоголь, 0,1 %) Dexamethasone (alcohol, 0.1 %)	31,0 $\pm$ 3,9	0–30 2,1 $\pm$ 0,6	91–120	До 12 ч (3,1 $\pm$ 0,8 нг/мл) Up to 12 hours (3.1 $\pm$ 0.8 ng/mL)
Бетаметазон (натрия фосфат, 0,1 %) Betamethasone (sodium phosphate, 0.1 %)	7,7 $\pm$ 1,8	31–60 3,8 $\pm$ 1,0	91–120	До 24 ч (0,4 $\pm$ 0,2 нг/мл) Up to 24 hours (0.4 $\pm$ 0.2 ng/mL)
Фторметолон (алкоголь, 0,1 %) Fluorometholone (alcohol, 0.1 %)	5,1 $\pm$ 2,6	0–30 1,92 $\pm$ 0,96	31–60	Данные ограничены 4 ч Data limited to 4 hours

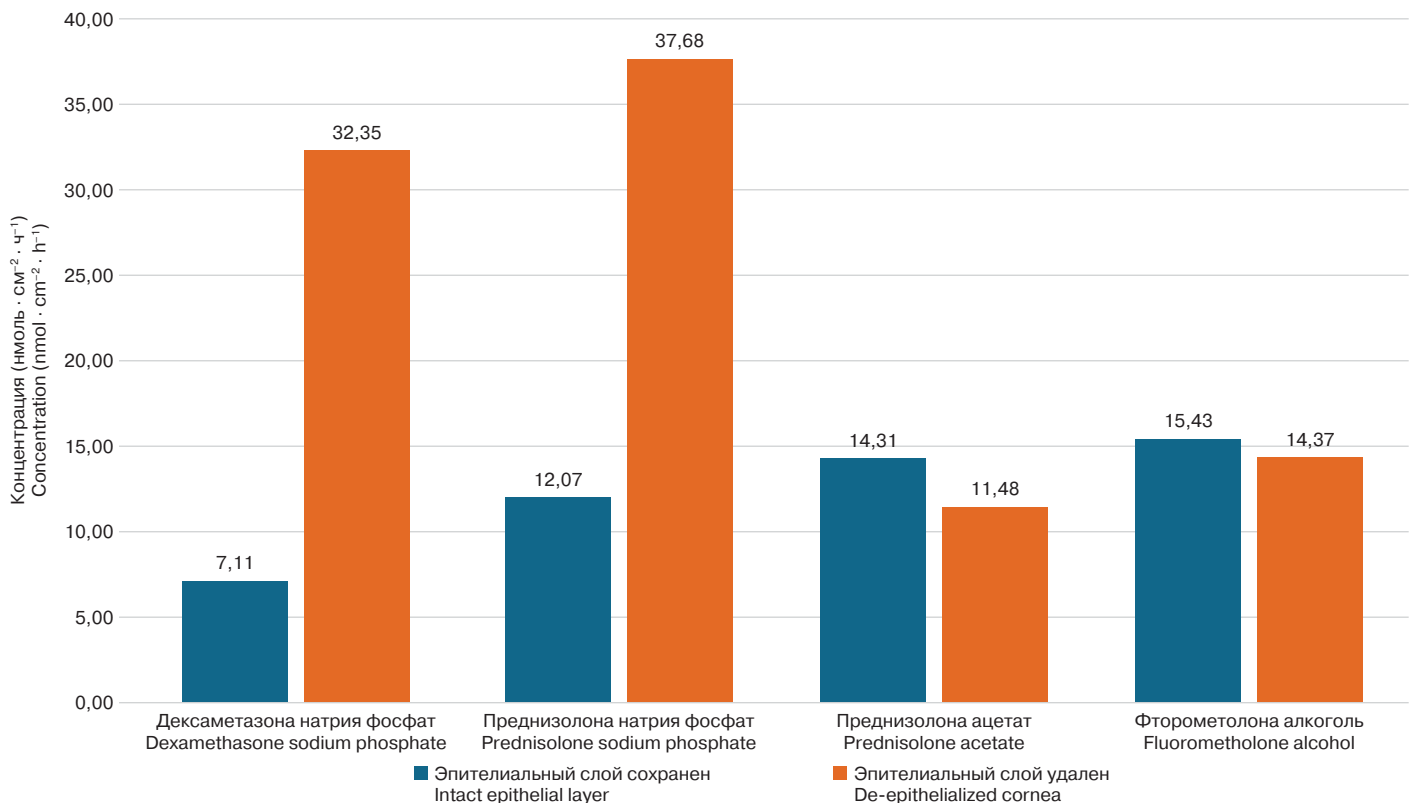


Рис. 1. Проницаемость интактной/деэпителизированной роговицы для меченых тритием стероидов [11]
Fig. 1. Permeability of intact and de-epithelialized cornea to tritium-labeled steroids [11]

По липофильности стероиды ранжируются следующим образом (в порядке убывания): дифлупреднат (log P: 3.4) > лотепреднол этабонат (log P: 3.04) > фторметолон ацетат (log P: 2.6) > флуоцинолона ацетонид (log P: 2.5) > преднизолона ацетат (log P: 2.4) > триамцинолона

ацетонид (log P: 2.31) > фторметолон (log P: 2.0) > дексаметазон (log P: 1.8) > преднизолон (log P: 1.6) > дексаметазона натрия фосфат (log P: 1.5) > преднизолона натрия фосфат (log P: 1.15) [2].

Жирорастворимые производные (например, преднизолона ацетат) существенно превосходят полярные соединения (фосфатные соли) по способности к проникновению сквозь роговичный эпителий, что и обуславливает их более высокие концентрации в водянистой влаге (ВВ) (табл. 1, рис. 1 и 2) [2, 7–9].

Закономерности, выявленные для разных классов соединений, сохраняются и при сравнении двух липофильных

¹ Log P — это десятичный логарифм коэффициента распределения нейтрального вещества между двумя несмешивающимися средами. Log P > 0 — вещество липофильное (жирорастворимое). Log P < 0 — вещество гидрофильное (водорастворимое). Хотя липофильность (log P) является ключевым параметром, предсказывающим водную растворимость (для хорошей растворимости, как правило, требуется log P < 3), на последнюю также существенно влияют температура плавления, pH, ионизация и другие факторы [6].

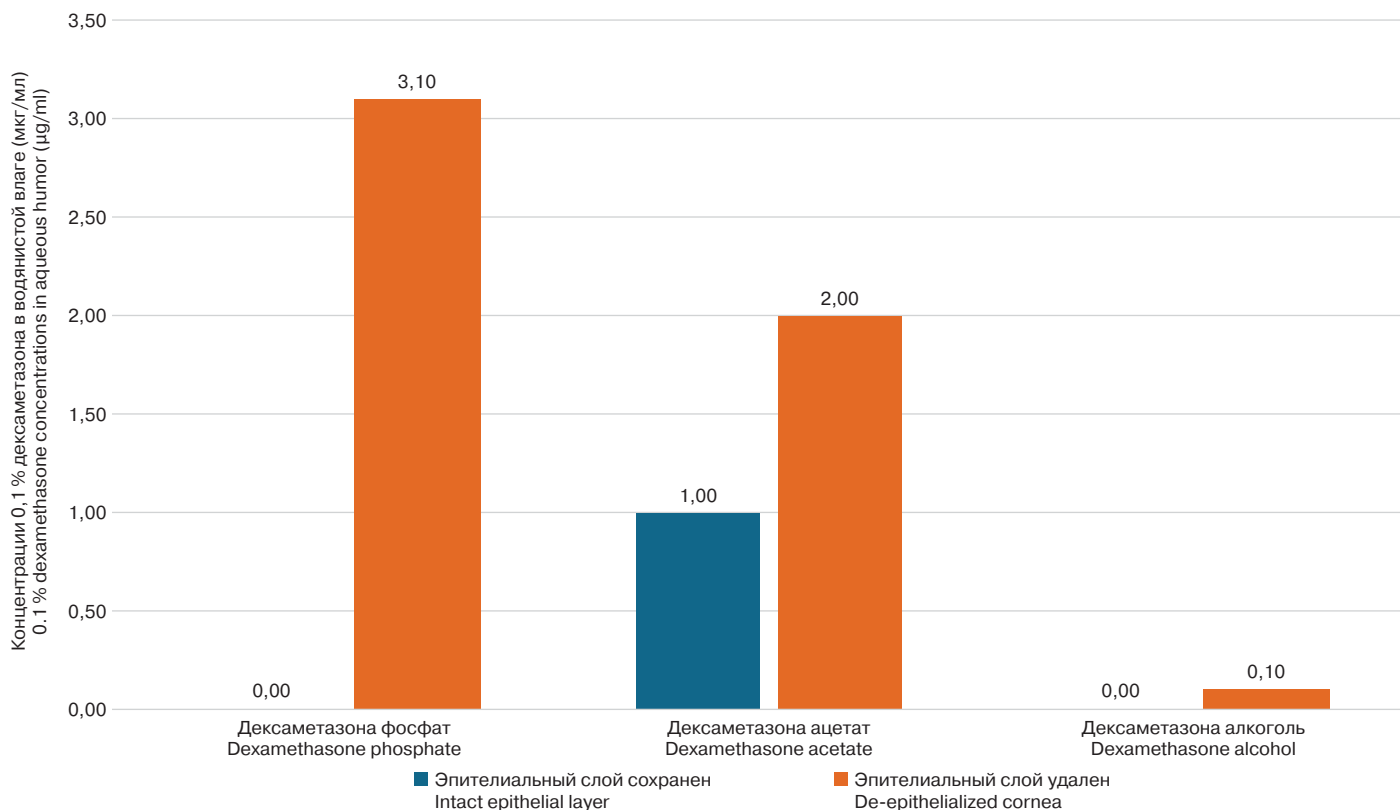


Рис. 2. Проницаемость интактной/деэпителизированной роговицы для различных форм дексаметазона (мазь 0,1 %) [12]
Fig. 2. Permeability of intact versus de-epithelialized cornea to different formulations of dexamethasone (0.1 % ointment) [12]

форм одного препарата — фторметолон. Так, фторметолон ацетат (log P: 2.6) достигает в ВВ пиковой концентрации 515 нг/мл, что в 3,5 раза выше соответствующего показателя для его алкогольной формы (log P: 2.0; 144 нг/мл). Более высокая липофильность ацетатного производного не только усиливает его проникновение через роговицу, но и способствует накоплению в тканях глазной поверхности. Это подтверждается высокими концентрациями препарата в роговице, достигающими 6140 нг/г с пиком на 45-й минуте после инстилляций [13, 14].

Изучение проникновения стероидов сквозь склеру при периокулярном (инъекционном) введении показало, что ключевыми факторами, определяющими эффективность транссклеральной доставки, служат растворимость препарата в воде и размер его молекулы. Несмотря на способность жирорастворимых соединений преодолевать липидные барьеры и накапливаться в пигментированных и бессосудистых структурах, это свойство не всегда улучшает проникновение в полость глаза и даже может его ограничивать (замедлять) из-за связывания молекулы тканями фиброзной капсулы [2, 15, 16].

Следовательно, для эффективного транссклерального проникновения липофильное вещество должно сначала насытить склеру. Лишь после этого становится возможной эффективная диффузия в полость глаза [16].

Можно предположить, что схожие фармакокинетические принципы действуют и для топических (инстилляционных) форм ГК. Биодоступность и тканевое распределение действующего вещества также определяются балансом между гидрофильностью и липофильностью. Гидрофильные формы (фосфатные соли) плохо преодолевают липидный эпителий роговицы, тогда как жирорастворимые (ацетат, ацетонид и ГК в «чистой» спиртовой форме) легко через

него проходят, накапливаясь (задерживаясь) затем в богатой водой строме. Таким образом, эффективное проникновение в переднюю камеру глаза становится возможным только после насыщения роговичной стромы, т. е. достижения в ней высоких концентраций препарата. Эта модель хорошо объясняет, почему такие липофильные стероиды, как лотепреднол [17], дифлупреднат [18], дексаметазон [19] и фторметолон ацетат [14] депонируются в роговице.

В качестве примера можно рассмотреть внутриглазную фармакокинетику дексаметазона *in vivo*. При его внутрикамерном (нетопическом) введении максимальная концентрация достигается в роговой оболочке (роговица > радужка — цилиарное тело > ВВ > конъюнктив) [19].

Липофильность дексаметазона в значительной степени определяет его элиминацию из передней камеры. Именно благодаря этому свойству основным путем клиренса препарата становится увеальный кровоток, а не отток ВВ. Данный механизм подтверждается рассчитанным значением клиренса (13,6 мкл/мин), которое существенно превышает физиологическую скорость обновления ВВ (~ 3 мкл/мин) [19].

Таким образом, химические свойства молекулы (липофильность и гидрофильность) определяют механизм транскорнеального проникновения. Гидрофильные соединения в основном используют ограниченные по количеству и размеру парацеллюлярные водные каналы. Эффективность диффузии по этому пути обратно пропорциональна молекулярной массе. В свою очередь, проникновение жирорастворимых соединений осуществляется главным образом посредством трансцеллюлярного транспорта. Однако при очень высоких значениях липофильности лимитирующим фактором становится диффузия через гидрофильную строму, а не прохождение через роговичный эпителий [20].

2.2. Размер молекулы

Эффективность транскорнеальной диффузии вещества находится в обратной зависимости от его молекулярной массы. Более высокая скорость проникновения низкомолекулярных соединений (в частности, гидрофильных) объясняется их способностью к диффузии через водные каналы, такие как парацеллюлярные пространства. Наблюдаемое с увеличением размера снижение проницаемости указывает на существование предельного диаметра, ограничивающего транспорт по этим путям. Следовательно, данный параметр выступает в качестве одной из ключевых детерминант механизма и эффективности проникновения молекулы сквозь роговицу [20].

Эта зависимость наглядно проявляется при сравнении лекарственных форм с разным размером частиц. Так, нанокристаллическая форма фторметолонa демонстрирует в 2–6 раз более высокую и пролонгированную биодоступность по сравнению с микрокристаллическим аналогом. Авторы объясняют эффект ускоренным растворением наночастиц благодаря большой площади их поверхности, что обеспечивает высокую концентрацию препарата на роговице до его вымывания слезной жидкостью и создает оптимальные условия для проникновения путем эндоцитоза. Через 240 мин после инстилляций метаболит обнаруживался в ВВ только при применении нанокристаллов [21].

Аналогичная обратная зависимость установлена для суспензий дексаметазона, где уменьшение среднего размера частиц с 22,0 до 5,75 мкм приводило к значимому росту концентрации действующего вещества как в роговице, так и в ВВ [22].

2.3. Влияние концентрации и лекарственной формы

Увеличение концентрации активного вещества в препарате, как правило, стимулирует его накопление в тканях глаза, однако эта зависимость не всегда линейна и суще-

ствует оптимум для достижения терапевтического эффекта [9, 10, 23].

Существенное влияние на фармакокинетику оказывает и форма выпуска препарата. Например, использование микросуспензий и высоковязких гелей, благодаря пролонгированному контакту с поверхностью глаза, увеличивает время абсорбции. Это в свою очередь приводит к повышению пиковых концентраций действующего вещества и увеличению продолжительности эффекта по сравнению со стандартными растворами [2, 7–9].

Наглядным подтверждением этого преимущества является суспензия тобрамицина 0,3 % и дексаметазона 0,1 %, обеспечивающая концентрацию стероида в ВВ примерно в 3 раза выше, чем раствор с аналогичным составом во всех контрольных точках исследования (рис. 3) [24]. Более того, в другом эксперименте *in vivo* установлено, что суспензия и гидрогель обеспечивают значительно большую экспозицию дексаметазона в слезной жидкости, превосходя показатели раствора в 3,6 и 12,8 раза соответственно [25].

С другой стороны, еще более вязкие формы, включая мази, могут демонстрировать снижение внутриглазной концентрации, но компенсируют это за счет пролонгированного высвобождения препарата [9].

Однако использование суспензий сопряжено с такими неудобствами, как склонность к седиментации и необходимость встряхивания, что в конечном счете может отразиться на их эффективности и безопасности. Согласно имеющимся данным, дозовая вариабельность суспензии преднизолонa ацетата из флакона, не подвергнутого взбалтыванию, достигает значительных величин — от 71 до 132 % от номинальной концентрации. В начале использования она составляет в среднем 75 %, а к концу курса повышается до 110 %. Для достижения равномерного распределения активного вещества в суспензии требуется встряхнуть флакон 16–20 раз перед применением, однако две трети пациентов пренебрега-

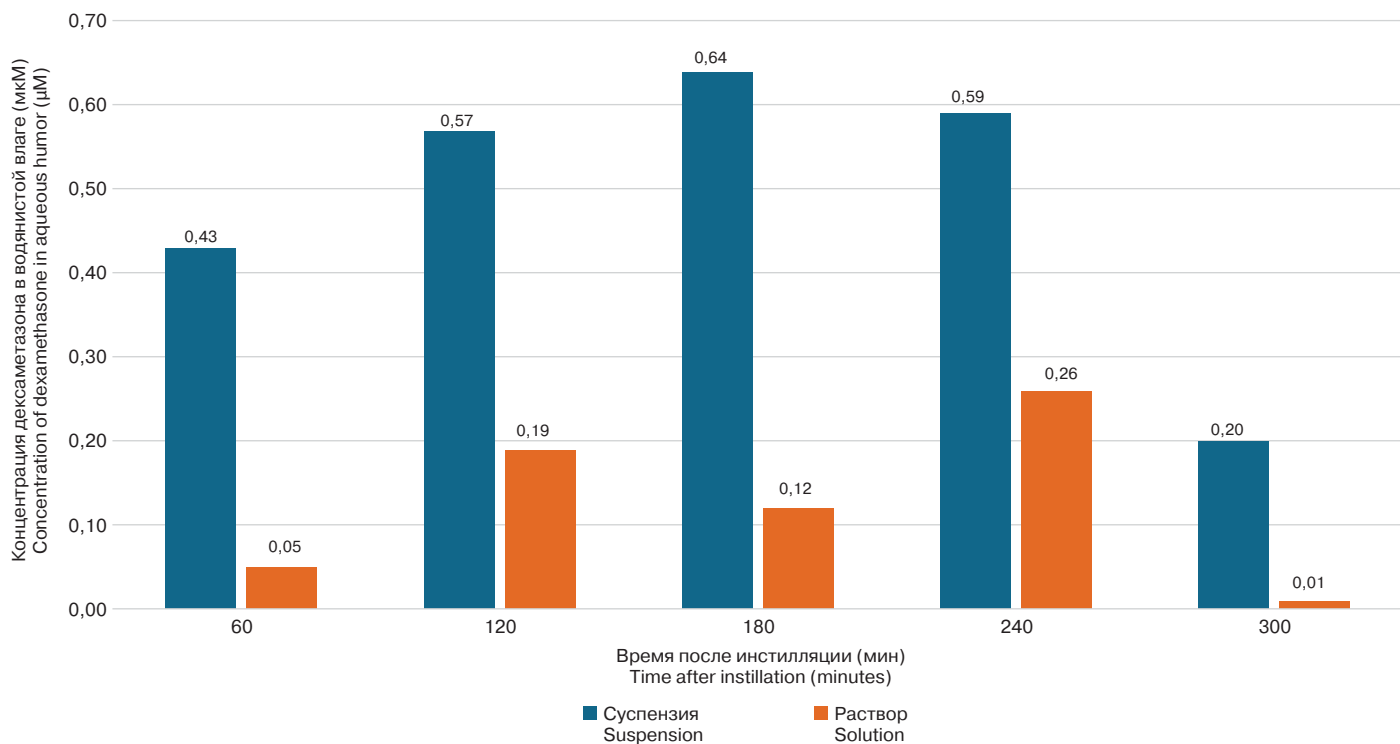


Рис. 3. Средняя концентрация дексаметазона в ВВ, суспензия — раствор [24]

Fig. 3. Mean dexamethasone concentration in the aqueous humor: suspension versus solution [24]

ют этой инструкцией, что приводит к риску недостаточного терапевтического ответа на начальном этапе лечения и повышению вероятности развития нежелательных явлений на заключительном [26, 27].

2.4. Вспомогательные компоненты и лекарственные комбинации

Вспомогательные компоненты фармацевтической композиции, такие как консерванты (например, бензалкония хлорид) и состав основы (англ. vehicle), могут существенно изменять фармакокинетический профиль лекарственного препарата, влияя на его стабильность, поверхностные свойства и транскорнеальную абсорбцию [9, 10]. Наглядным примером служит проникновение через роговицу раствора преднизолона натрия фосфата, вдвое превосходящее аналогичный показатель для преднизолона в NaCl-буфере [10].

Различия в составах коммерческих продуктов, содержащих одно и то же действующее вещество, могут обуславливать вариабельность биодоступности, что не позволяет считать их терапевтически эквивалентными [8, 9].

Помимо этого, согласно некоторым данным, последующая инстилляционная других глазных капель (например, антибиотиков) с недостаточным (60 с) интервалом может существенно (до 70 %) снижать биодоступность ГК. В то же время применение комбинированного препарата (гормон + антибиотик) не сопровождается значимым понижением концентрации стероида по сравнению с монотерапией ГК [28].

Проведенное *in vitro* исследование выявило вариабельность фармакодинамических взаимодействий при сочетанном использовании ГК и антибиотиков. Полученные данные показывают, что некоторые стероиды (в частности, фторметолон и лотепреднол) в большинстве случаев снижают антибактериальный эффект ряда препаратов (фторхинолонов II–IV поколений, аминогликозидов и полимиксина В), тогда как другие (преднизолон и дексаметазон) влияют на него в меньшей степени. Другим важным аспектом является способность таких комбинаций изменять внутриклеточные концентрации препаратов, что вносит дополнительный вклад в общую эффективность терапии [29].

Таким образом, рассматриваемые сочетания ЛС потенциально могут изменять и внутриглазную биодоступность компонентов. Однако накопленные по этому вопросу данные пока отличаются противоречивым характером, что обуславливает необходимость индивидуального фармакологического анализа каждой конкретной комбинации с учетом всего спектра релевантных параметров.

2.5. Состояние глазной поверхности

Целостность роговичного эпителия является критическим фактором в процессе транскорнеальной диффузии ЛС. При его повреждении проникновение гидрофильных препаратов (фосфатов) значительно возрастает [9, 23]. Наличие воспаления также может изменять проницаемость тканей и, соответственно, фармакокинетику ГК, хотя данные по этому вопросу неоднозначны [9, 12].

Фундаментальное значение эпителиального барьера продемонстрировано в ряде экспериментальных работ. Так, в исследовании D. Hull и соавт. [11], выполненном *in vitro*, установлено, что при интактном эпителии скорость транскорнеальной диффузии трех различных ГК (преднизолона натрия фосфата, преднизолона ацетата и фторметолон) оказалась сопоставимой, в то время как проницаемость для дексаметазона натрия фосфата — значимо ниже. Деэпителизация роговицы привела к существенному (в 3–4 раза) улучшению проникновения гидрофильных стероидов

(дексаметазона и преднизолона натрия фосфата). В отличие от них, пенетрация липофильных соединений (преднизолона ацетата и фторметолон) осталась без изменений (рис. 1) [11].

Эти данные нашли подтверждение в последующих исследованиях. Аналогичная закономерность выявлена при сравнительном изучении трех форм 0,1 % мази дексаметазона (фосфата, ацетата и алкоголя), где проникновение гидрофильного дексаметазона фосфата в ВВ резко возрастает после деэпителизации роговицы (рис. 2) [12].

В заключение следует отметить, что значимым препятствием для проникновения ГК служит не только эпителий роговицы, но и моргание, а также слезоотведение. Важную роль играет и муциновый слой слезной пленки, одной из функций которого является захват и удаление аллергенов, патогенов и детрита (включая частицы ЛС) из глаза. Это демонстрирует исследование лотепреднола, где усовершенствованная форма препарата, обладающая лучшей способностью к проникновению через муциновый слой, обеспечивает повышенную внутриглазную концентрацию [17].

2.6. Способ введения

Топическое применение ГК является самым распространенным, однако периокулярные инъекции позволяют обеспечить в десятки раз более высокие и пролонгированные концентрации в ВВ [2, 8, 30].

Сравнительный фармакокинетический анализ различных путей введения дексаметазона динатрия фосфата демонстрирует эти различия. Наиболее эффективная доза препарата в переднюю камеру глаза зафиксирована после субконъюнктивальной инъекции 2,5 мг, создающей пиковую концентрацию 858 нг/мл, что в 28 раз превышает средний уровень (30,5 нг/мл), достигаемый десятикратной инстилляцией 0,1 % раствора. Введение дексаметазона под конъюнктиву обеспечило превышение порога его содержания в ВВ, равного 30 нг/мл, на протяжении 17 ч [30].

Аналогичная тенденция выявлена и в отношении стекловидного тела: концентрации после субконъюнктивального и парабулбарного введения составили 72,5 и 13 нг/мл соответственно, что значительно превышает показатель, полученный при топическом применении (1,1 нг/мл). Вместе с тем оба инъекционных метода сопровождались более высокой системной абсорбцией, о чем свидетельствуют сывороточные уровни 32,4 и 60 нг/мл против 0,7 нг/мл, что повышает риск развития системных побочных эффектов [30–32].

3. Фармакокинетика топических стероидов

3.1. Ограничения и различия между исследованиями

Значительная часть данных о внутриглазной фармакокинетике ГК получена в экспериментах на животных, в частности на кроликах. Однако экстраполяция этих результатов на человека не совсем корректна из-за целого ряда анатомо-физиологических и методологических различий.

Такие факторы, как более тонкая роговица, редкое моргание, особенности глазного кровообращения, отличия в метаболизме действующих веществ, применение общей анестезии и возрастные изменения проницаемости тканей у кроликов приводят к систематическому завышению регистрируемых концентраций препаратов по сравнению с уровнями, обнаруживаемыми в ВВ человека. Хотя общие закономерности проникновения (например, сравнительно высокая биодоступность липофильных производных и относительные внутриглазные уровни различных стероидов) носят универсальный характер, абсолютные фармакокинетические показатели могут существенно различаться [8, 9, 21].

Другим важным аспектом является достоверность оценки внутриглазных концентраций ГК, которая напрямую зависит от специфичности и чувствительности применяемого аналитического метода. Например, радиоизотопный анализ (РИА), несмотря на свою чувствительность, обладает относительно низкой специфичностью, поскольку не дифференцирует интактную молекулу стероида от ее метаболитов, что может приводить к завышению реальной концентрации фармакологически активного вещества. В отличие от него, хроматография с масс-спектрометрией (Х-МС) характеризуется более высокой специфичностью, позволяя идентифицировать именно неизмененную молекулу и одновременно регистрировать малые концентрации [7, 8].

Таким образом, при изучении и сравнении результатов различных исследований внутриглазной фармакокинетики необходимо учитывать эти аспекты, которые существенно затрудняют прямое сопоставление данных, полученных в разных экспериментальных условиях.

3.2. Внутриглазные концентрации топических стероидов

Ввиду методологических ограничений и расхождений в результатах разных клинических исследований для сравнительного анализа была избрана серия публикаций С. McGhee и соавт. [7, 10]. Ключевым достоинством этого комплекса исследований является применение Х-МС. Проведение всех работ на людях, в рамках унифицированной методологии и одним коллективом авторов минимизирует погрешности, обусловленные межвидовыми и методическими различиями. Это предоставляет уникальную возможность для прямого сопоставления фармакокинетических профилей основных офтальмологических ГК: преднизолон, дексаметазон, бетаметазон и фторметолон (табл. 1, рис. 4) [7, 10, 33, 34].

В дальнейшем обсуждение будет дополнено данными других исследований на людях, а также некоторыми результатами, полученными в экспериментах на животных (табл. 2).

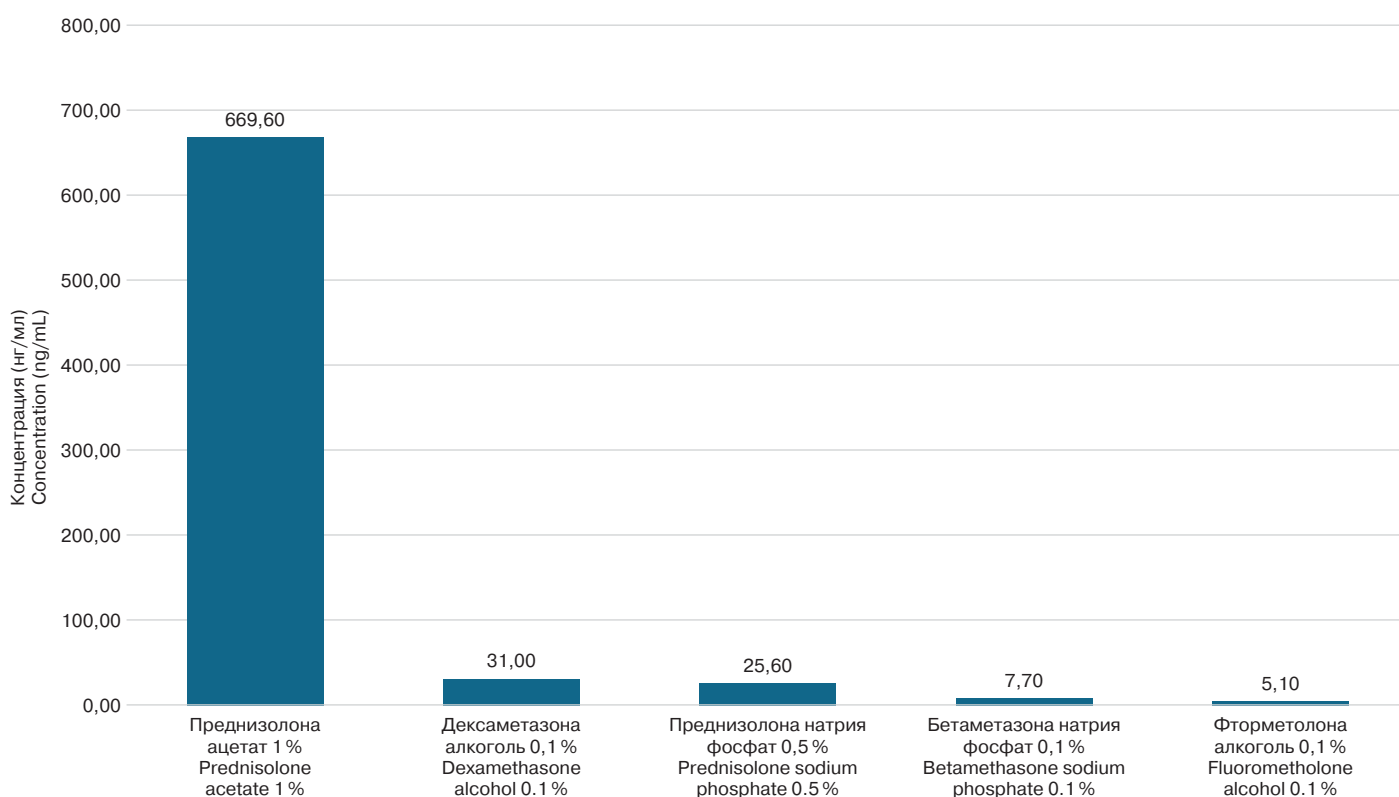


Рис. 4. Сравнительные фармакокинетические профили топических ГК в ВВ человека: пиковые концентрации [7]

Fig. 4. Comparative pharmacokinetic profiles of topical glucocorticoids in human aqueous humor: peak concentrations [7]

Таблица 2. Сравнительные данные других исследований

Table 2. Comparative findings from additional studies

Препарат Drug	Пиковая концентрация в ВВ Peak concentration in aqueous humor	Время до пика Time to peak	Метод измерения Measurement method	Источник Source
Дексаметазон алкоголь 0,1 % (суспензия) Dexamethasone alcohol 0.1 % (suspension)	59,5 ± 20,8 нг/мл 59.5 ± 20.8 ng/mL	Недоступно N/A	Х-МС Chromatography-MS	[35]
Дексаметазон динатрия фосфат 0,1 % (раствор, 10 капель) Dexamethasone disodium phosphate 0.1 % (solution, 10 drops)	30,5 нг/мл 30.5 ng/mL (7,1–57,7)	Недоступно N/A	РИА RIA	[30]

Препарат Drug	Пиковая концентрация в ВВ Peak concentration in aqueous humor	Время до пика Time to peak	Метод измерения Measurement method	Источник Source
Преднизолона ацетат 1 % (суспензия) Prednisolone acetate 1 % (suspension)	1130 ± 530 нг/мл 1130 ± 530 ng/mL	30–45 мин 30–45 min	Сцинтилляционная спектрометрия Scintillation spectrometry	[36]
Бетаметазона фосфат 0,1 % (мазь) Betamethasone phosphate 0.1 % (ointment)	20,3 нг/мл 20.3 ng/mL	13,5 ч 13.5 hours	РИА RIA	[37]
Фторметолона алкоголь, 0,1 % (микrokристаллическая суспензия), <i>исследование на кроликах</i> Fluorometholone alcohol, 0.1 % (suspension), <i>rabbit study</i>	5,4 ± 4,6 нг/мл 5.4 ± 4.6 ng/mL	30 мин. Концентрация основного метаболита в ВВ через 30 и 60 мин превышала концентрацию неизмененного фторметолона в 4 и 12 раз соответственно 30 min. The concentration of the main metabolite in the aqueous humor at 30 and 60 min exceeded the concentration of unchanged fluorometholone by 4 and 12 times, respectively	X-МС Chromatography-MS	[21]
Фторметолона алкоголь, 0,1 % (суспензия) <i>исследование на кроликах</i> Fluorometholone alcohol, 0.1 % (suspension), <i>rabbit study</i>	144 ± 16 нг/мл 144 ± 16 ng/mL	30 мин 30 min	Сцинтилляционная спектрометрия Scintillation spectrometry	[13]
Фторметолона ацетат, 0,1 % (суспензия) <i>исследование на кроликах</i> Fluorometholone acetate, 0.1 % (suspension), <i>rabbit study</i>	515 ± 173 нг/мл 515 ± 173 ng/mL	45 мин 45 min	Сцинтилляционная спектрометрия Scintillation spectrometry	[14]
Клобетазона бутират 0,1 % (мазь) Clobetasone butyrate 0.1 % (ointment)	0,1 нг/мл Столь низкая концентрация обнаружена только в 2 из 10 образцов 0.1 ng/mL. Such a low concentration was detected in only 2 out of 10 samples	~ 12,5 ч ~ 12.5 hours	РИА RIA	[37]
Лотепреднола этабонат 0,5 % (суспензия), <i>исследование на кроликах</i> Loteprednol etabonate 0.5 % (suspension), <i>rabbit study</i>	Концентрация неизмененного лотепреднола «очень низкая» ~ 0,27 нмоль/г The concentration of unchanged loteprednol was “very low” ~ 0.27 nmol/g	Первый час. Затем концентрация метаболита была выше. Макс. концентрация зарегистрирована в роговице First hour. After the first hour, the concentration of the metabolite was higher. Max. concentration was recorded in the cornea	Сцинтилляционная спектрометрия Scintillation spectrometry	[39]
Лотепреднола этабонат 0,5 % (суспензия), <i>исследование на кроликах</i> Loteprednol etabonate 0.5 % (suspension), <i>rabbit study</i>	6 ± 1 нг/мл 6 ± 1 ng/mL	30 мин. Макс. концентрация регистрировалась в конъюнктиве > роговице 30 min. Max. concentration was recorded in the conjunctiva > cornea	X-МС Chromatography-MS	[17]
Дифлупреднат 0,05 % (эмульсия, капли), <i>исследование на кроликах</i> Difluprednate 0.05% (emulsion, drops), <i>rabbit study</i>	27 нг/мл 27 ng/mL	30 мин. Макс. концентрация регистрировалась в конъюнктиве > роговице. После 3 ч активный метаболит не обнаружен ни в одной ткани 30 min. Max. concentration was recorded in the conjunctiva > cornea. After 3 hours, the active metabolite was not detected in any tissue	X-МС Chromatography-MS	[18]

Препарат Drug	Пиковая концентрация в ВВ Peak concentration in aqueous humor	Время до пика Time to peak	Метод измерения Measurement method	Источник Source
Гидрокортизона натрия фосфат 0,33 % (раствор) Hydrocortisone sodium phosphate 0.33% (solution)	25,2 ± 12,4 нг/мл В группах, не получавших препарат, концентрация эндогенного гидрокортизона — 3,92 ± 1,18 нг/мл 25.2 ± 12.4 ng/mL. In groups not receiving the drug, endogenous hydrocortisone concentration was 3.92 ± 1.18 ng/mL	60–120 мин 60–120 min	X-МС Chromatography-MS	[39]

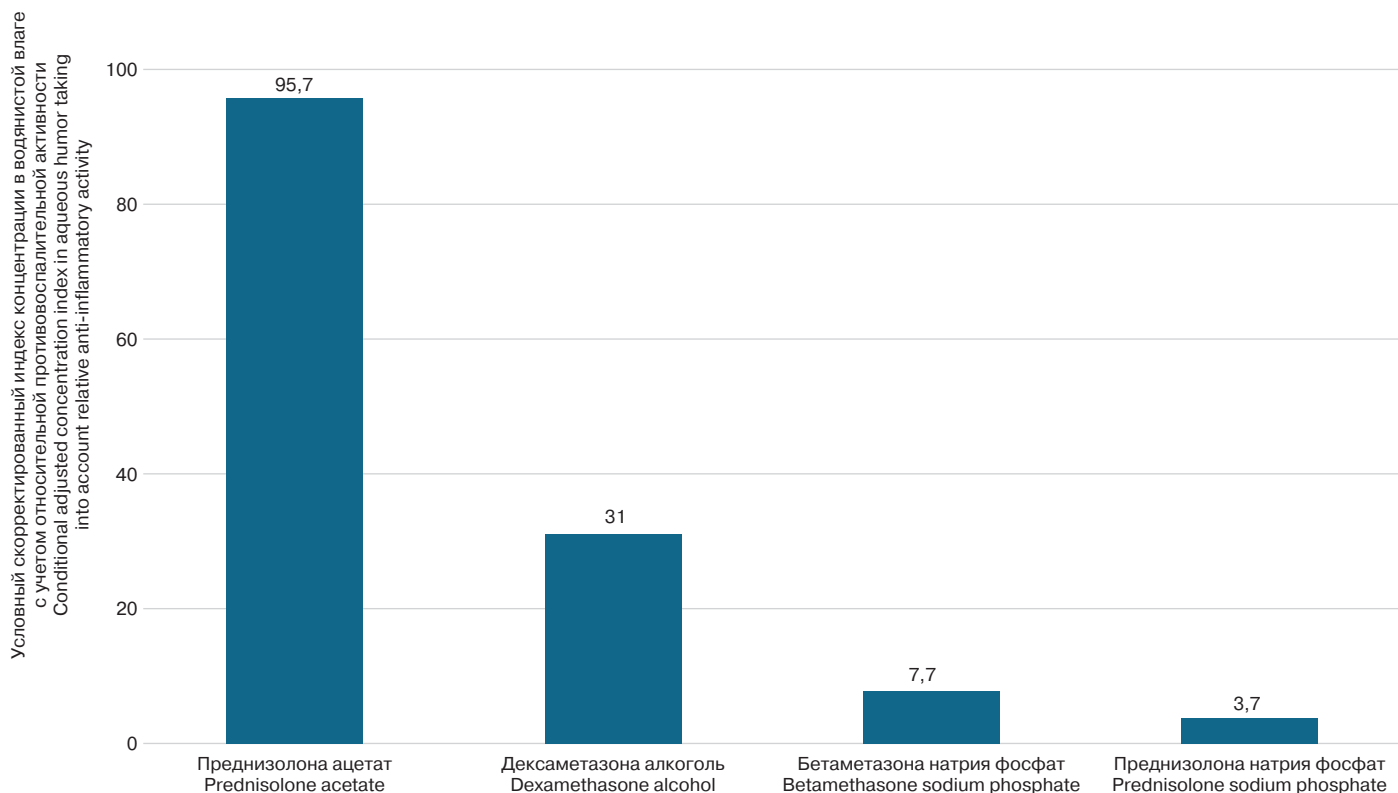


Рис. 5. Сравнение стероидов с учетом концентрации вещества в растворе и их относительной противовоспалительной активности [7]
Fig. 5. Comparison of steroids accounting for solution concentration and relative anti-inflammatory activity [7]

В ходе проведенных исследований наибольшую проникающую способность продемонстрировал преднизолон ацетат 1 %, достигший пиковой концентрации 669,6 нг/мл в интервале 91–180 мин, что превышает показатели других изученных стероидов минимум в 20 раз. Кроме того, препарат обнаруживался в относительно высоких концентрациях в ВВ спустя 24 ч после инстилляций. Дексаметазон 0,1 % показал пиковую концентрацию 31,0 нг/мл в том же временном интервале и определялся в ВВ до 12 ч. Бетаметазон натрия фосфат 0,1 %, несмотря на низкий пик в 7,7 нг/мл, демонстрировал длительное присутствие со следовыми количествами через 24 ч, в то время как фторметолон 0,1 % в данном исследовании показал наименьшую пенетрацию с пиком всего 5,1 нг/мл, так как Х-МС фиксирует только неизмененную молекулу фторметолона. Длительность его присутствия в ВВ осталась неопределенной, так как мониторинг концентраций ограничился 4 ч, в отличие от 24-часового наблюдения для остальных препаратов [7, 10, 33, 34] (см. табл. 1).

Согласно выводам авторов, клиническая интерпретация полученных данных о внутриглазных уровнях не должна ограничиваться лишь их абсолютными значениями. Для формирования полной картины необходимо учитывать и первоначальную концентрацию растворов, а также исходную противовоспалительную потенцию каждого стероида. Так, относительная активность дексаметазона и бетаметазона в 5–7 раз превышает таковую у преднизолона. Если привести концентрации к единой шкале биологической эффективности, то терапевтический профиль ацетата преднизолона сохраняет лидирующие позиции, в то время как значимость его фосфатной формы заметно снижается. Эта скорректированная картина гораздо точнее отражает реальную клиническую практику (рис. 5) [7].

Наряду с фармакокинетическими свойствами, определяющим параметром клинической эффективности стероидных препаратов является их относительная противовоспалительная активность (потенция). Данный показатель

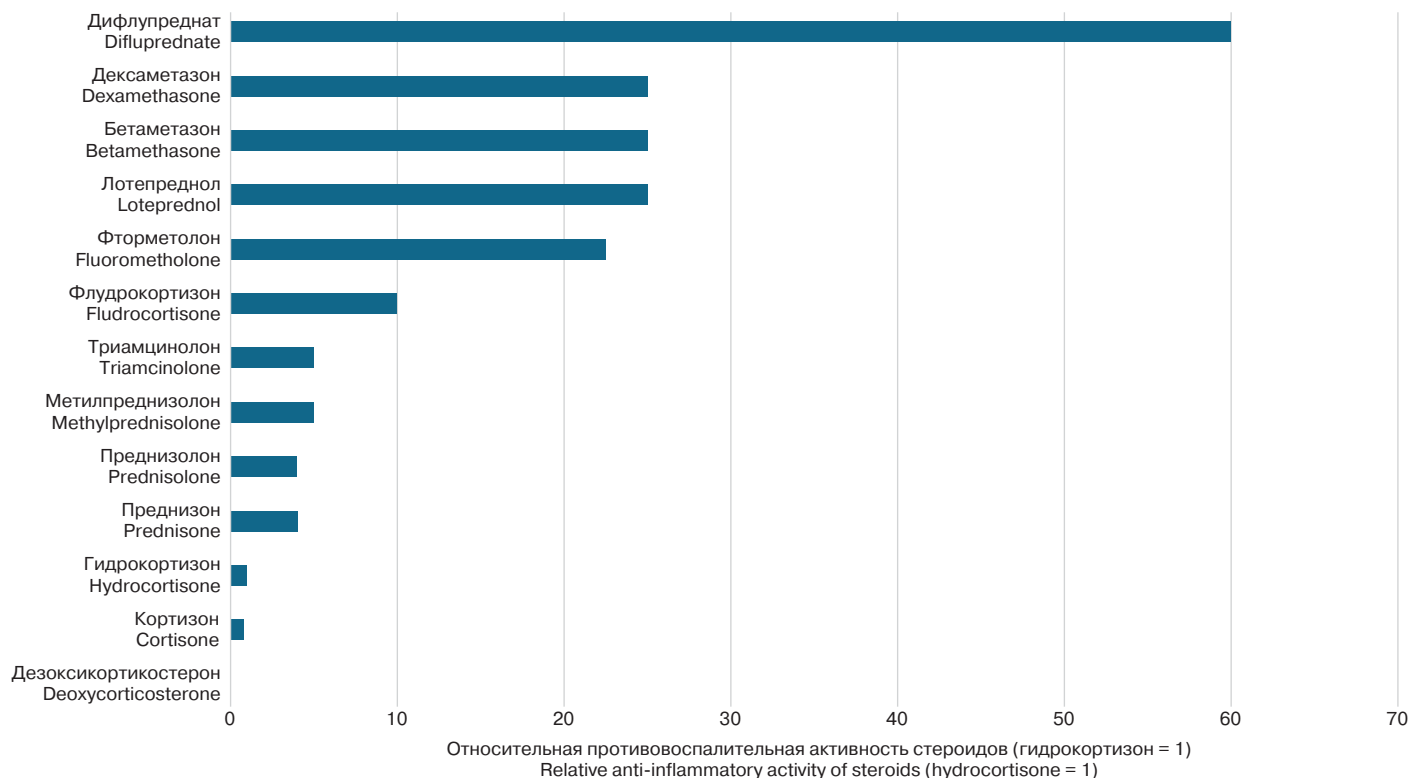


Рис. 6. Относительная противовоспалительная активность различных ГК. По оси абсцисс указана противовоспалительная активность различных стероидов по сравнению с гидрокортизоном

Fig. 6. Relative anti-inflammatory activity of various glucocorticoids. The abscissa axis shows the anti-inflammatory activity of various steroids compared to hydrocortisone

количественно оценивается в контролируемых *in vitro* и *in vivo* экспериментах. Полученные значения, как правило, стандартизуют в виде коэффициента, где за референтную единицу (1,0) принимают антифлогистический эффект гидрокортизона.

Относительная противовоспалительная активность различных ГК ранжируется следующим образом (рис. 6): дезоксикортикостерон — 0, кортизон — 0,8, гидрокортизон — 1, преднизон — 4, преднизолон — 4, метилпреднизолон — 5, триамцинолон — 5, флудрокортизон — 10, фторметолон — 20–25, лотепреднол — 25, бетаметазон — 25, дексаметазон — 25 и дифлупреднат — 60 [21, 26, 40–42].

Представленные данные (для эквивалентных доз) характеризуют исключительно системную активность субстанций в идеализированных *in vivo* и *in vitro* условиях и не учитывают особенности коммерческих препаратов, которые различаются по концентрации и вспомогательному составу. Прямая экстраполяция этих соотношений на глаз или другие ткани человека сопряжена с ограничениями, поскольку реальная эффективность стероида в условиях внутриглазной среды определяется не только его фундаментальной потенцией, но и концентрацией, фармакокинетикой, формой выпуска и особенностями микроокружения. Следовательно, приведенные значения следует использовать лишь как ориентир для приблизительного сравнения стероидов, но не как универсальное клиническое правило.

Таким образом, максимальный лечебный эффект в офтальмологии достигается при использовании топических стероидов, которые сочетают два ключевых параметра: высокую способность к проникновению в переднюю камеру и аккумуляции в тканях глаза, а также выраженную антифлогистическую активность.

Литература/References

1. Sherif Z, Pleyer U. Corticosteroids in ophthalmology: past-present-future. *Ophthalmologica*. 2002; 216 (5): 305–15. doi: 10.1159/000066189
2. Gaballa SA, Kompella UB, Elgarhy O, et al. Corticosteroids in ophthalmology: drug delivery innovations, pharmacology, clinical applications, and future perspectives. *Drug Deliv Transl Res*. 2021; 11 (3): 866–93. doi: 10.1007/s13346-020-00843-z
3. Elkinton JR, Hunt AD Jr. Effects of pituitary adrenocorticotrophic hormone therapy. *J Am Med Assoc*. 1949; 141 (18): 1273–9. doi: 10.1001/jama.1949.02910180001001
4. Fung AT, Tran T, Lim LL, et al. Local delivery of corticosteroids in clinical ophthalmology: a review. *Clin Exp Ophthalmol*. 2020; 48 (3): 366–401. doi: 10.1111/ceo.13702
5. Ramamoorthy S, Cidlowski JA. Corticosteroids: mechanisms of action in health and disease. *Rheum Dis Clin North Am*. 2016; 42 (1): 15–vii. doi: 10.1016/j.rdc.2015.08.002
6. Arnott JA, Planey SL. The influence of lipophilicity in drug discovery and design. *Expert Opin Drug Discov*. 2012; 7 (10): 863–75. doi: 10.1517/17460441.2012.714363
7. McGhee CN, Watson DG, Midgley JM, et al. Penetration of synthetic corticosteroids into human aqueous humour. *Eye (Lond)*. 1990; 4 (Pt 3): 526–30. doi: 10.1038/eye.1990.70
8. Awan MA, Agarwal PK, Watson DG, et al. Penetration of topical and subconjunctival corticosteroids into human aqueous humour and its therapeutic significance. *Br J Ophthalmol*. 2009; 93 (6): 708–13. doi: 10.1136/bjo.2008.154906
9. McGhee CN. Pharmacokinetics of ophthalmic corticosteroids. *Br J Ophthalmol*. 1992; 76 (11): 681–4. doi: 10.1136/bjo.76.11.681
10. McGhee CN, Noble MJ, Watson DG, et al. Penetration of topically applied prednisolone sodium phosphate into human aqueous humour. *Eye (Lond)*. 1989; 3 (Pt 4): 463–7. doi: 10.1038/eye.1989.69
11. Hull DS, Hine JE, Edelhauser JF, Hyndiuk RA. Permeability of the isolated rabbit cornea to corticosteroids. *Invest Ophthalmol*. 1974 Jun; 13 (6): 457–9. PMID: 4831698.
12. Kupferman A, Pratt MV, Suckewer K, Leibowitz HM. Topically applied steroids in corneal disease. 3. The role of drug derivative in stromal absorption of dexamethasone. *Arch Ophthalmol*. 1974; 91 (5): 373–6. doi: 10.1001/archophth.1974.03900060385008
13. Sieg JW, Robinson JR. Vehicle effects on ocular drug bioavailability i: evaluation of fluorometholone. *J Pharm Sci*. 1975; 64 (6): 931–6. doi: 10.1002/jps.2600640606

14. Schoenwald RD, Harris RG, Turner D, Knowles W, Chien DS. Ophthalmic bioequivalence of steroid/antibiotic combination formulations. *Biopharm Drug Dispos.* 1987; 8 (6): 527–48. doi: 10.1002/bdd.2510080605
15. Thakur A, Kadam RS, Kompella UB. Influence of drug solubility and lipophilicity on transscleral retinal delivery of six corticosteroids. *Drug Metab Dispos.* 2011; 39 (5): 771–81. doi: 10.1124/dmd.110.037408
16. Athanasiadis Y, Tsatsos M, Sharma A, Hossain P. Subconjunctival triamcinolone acetonide in the management of ocular inflammatory disease. *J Ocul Pharmacol Ther.* 2013; 29 (6): 516–22. doi: 10.1089/jop.2012.0208
17. Schopf L, Enlow E, Popov A, et al. Ocular pharmacokinetics of a novel loteprednol etabonate 0.4% ophthalmic formulation. *Ophthalmol Ther.* 2014; 3 (1–2): 63–72. doi: 10.1007/s40123-014-0021-z
18. Mercado-Sesma A, Contreras-Rubio A, Baiza-Durán L, et al. Bioavailability of generic 0.05 % difluprednate emulsion in the aqueous humor, cornea, and conjunctiva of New Zealand rabbits after a single dose compared with commercial difluprednate. *J Ophthalmic Inflamm Infect.* 2017; 7 (1): 10. doi: 10.1186/s12348-017-0127-2
19. Naageshwaran V, Ranta VP, Toropainen E, et al. Topical pharmacokinetics of dexamethasone suspensions in the rabbit eye: bioavailability comparison. *Int J Pharm.* 2022; 615: 121515. doi: 10.1016/j.ijpharm.2022.121515
20. Grass GM, Robinson JR. Mechanisms of corneal drug penetration. I: in vivo and in vitro kinetics. *J Pharm Sci.* 1988; 77 (1): 3–14. doi: 10.1002/jps.2600770103
21. Baba K, Hashida N, Tujikawa M, et al. The generation of fluorometholone nanocrystal eye drops, their metabolization to dihydrofluorometholone and penetration into rabbit eyes. *Int J Pharm.* 2021; 592: 120067. doi: 10.1016/j.ijpharm.2020.120067
22. Schoenwald RD, Stewart P. Effect of particle size on ophthalmic bioavailability of dexamethasone suspensions in rabbits. *J Pharm Sci.* 1980; 69 (4): 391–4. doi: 10.1002/jps.2600690407
23. Kupferman A, Leibowitz HM. Topically applied steroids in corneal disease. IV. The role of drug concentration in stromal absorption of prednisolone acetate. *Arch Ophthalmol.* 1974; 91(5): 377–80. doi: 10.1001/archophth.1974.03900060389009
24. Cagini C, Cometa F, Torroni G, et al. Dexamethasone disodium phosphate penetration into the human aqueous humor after topical application. *Curr Eye Res.* 2016; 41 (7): 897–9. doi: 10.3109/02713683.2015.1083589
25. Balla A, Ruponen M, Valtari A, et al. Understanding dexamethasone kinetics in the rabbit tear fluid: drug release and clearance from solution, suspension and hydrogel formulations. *Eur J Pharm Biopharm.* 2022; 172: 53–60. doi: 10.1016/j.ejpb.2022.01.005
26. Dang DH, Riaz KM, Karamichos D. Treatment of non-Infectious corneal injury: review of diagnostic agents, therapeutic medications, and future targets. *Drugs.* 2022; 82 (2): 145–67. doi: 10.1007/s40265-021-01660-5
27. Marlowe ZT, Davio SR. Dose uniformity of loteprednol etabonate ophthalmic gel (0.5 %) compared with branded and generic prednisolone acetate ophthalmic suspension (1 %). *Clin Ophthalmol.* 2014; 8: 23–9. doi: 10.2147/OPTH.S55004
28. Leibowitz HM, Kupferman A. Drug interaction in the eye. Concurrent corticosteroid-antibiotic therapy for inflammatory keratitis. *Arch Ophthalmol.* 1977; 95 (4): 682–5. doi: 10.1001/archophth.1977.04450040148023
29. Lee H, Kim SM, Rahaman MI, et al. Corticosteroid-antibiotic interactions in bacteria that cause corneal infection. *Transl Vis Sci Technol.* 2023; 12 (5): 16. doi: 10.1167/tvst.12.5.16
30. Weijtens O, Schoemaker RC, Romijn FP, et al. Intraocular penetration and systemic absorption after topical application of dexamethasone disodium phosphate. *Ophthalmology.* 2002; 109 (10): 1887–91. doi: 10.1016/s0161-6420(02)01176-4
31. Weijtens O, Feron EJ, Schoemaker RC, et al. High concentration of dexamethasone in aqueous and vitreous after subconjunctival injection. *Am J Ophthalmol.* 1999; 128 (2): 192–7. doi: 10.1016/s0002-9394(99)00129-4
32. Weijtens O, van der Sluijs FA, Schoemaker RC, et al. Peribulbar corticosteroid injection: vitreal and serum concentrations after dexamethasone disodium phosphate injection. *Am J Ophthalmol.* 1997; 123 (3): 358–63. doi: 10.1016/s0002-9394(14)70131-x
33. Watson DG, McGhee CN, Midgley JM, Dutton GN, Noble MJ. Penetration of topically applied betamethasone sodium phosphate into human aqueous humor. *Eye (Lond).* 1990; 4 (Pt 4): 603–6. doi: 10.1038/eye.1990.84
34. Watson D, Noble MJ, Dutton GN, et al. Penetration of topically applied dexamethasone alcohol into human aqueous humor. *Arch Ophthalmol.* 1988; 106 (5): 686–7. doi: 10.1001/archophth.1988.01060130748037
35. Kristinsson JK, Fridriksdóttir H, Thórisdóttir S, et al. Dexamethasone-cyclodextrin-polymer co-complexes in aqueous eye drops. Aqueous humor pharmacokinetics in humans. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 1996 May; 37 (6): 1199–203. PMID: 8631635.
36. Leibowitz HM, Berrospi AR, Kupferman A, et al. Penetration of topically administered prednisolone acetate into the human aqueous humor. *Am J Ophthalmol.* 1977; 83 (3): 402–6. doi: 10.1016/0002-9394(77)90740-1
37. Debnath SC, Richards AB. Concentration of clobetasone butyrate in aqueous humor. *Br J Ophthalmol.* 1983; 67 (3): 203–5. doi: 10.1136/bjo.67.3.203
38. Druzgala P, Wu WM, Bodor N. Ocular absorption and distribution of loteprednol etabonate, a soft steroid, in rabbit eyes. *Curr Eye Res.* 1991; 10 (10): 933–7. doi: 10.3109/02713689109020329
39. Cagini C, Muzi A, Castellucci G, et al. Kinetics of hydrocortisone sodium phosphate penetration into the human aqueous humor after topical application. *Int J Clin Pract.* 2021; 75 (12): e14987. doi: 10.1111/ijcp.14987
40. Masoumpour MB, Nowroozadeh MH, Razeghinejad MR. Current and future techniques in wound healing modulation after glaucoma filtering surgeries. *Open Ophthalmol J.* 2016 Feb 29; 10: 68–85. doi: 10.2174/1874364101610010068
41. Jermak CM, Dellacroce JT, Heffez J, Peyman GA. Triamcinolone acetonide in ocular therapeutics. *Surv Ophthalmol.* 2007; 52 (5): 503–22. doi: 10.1016/j.survophthal.2007.06.004
42. Razeghinejad MR, Katz LJ. Steroid-induced iatrogenic glaucoma. *Ophthalmic Res.* 2012; 47 (2): 66–80. doi: 10.1159/000328630

Вклад авторов в работу: Бахаа А.М. Абудайяк — сбор и анализ литературы, написание статьи и подготовка иллюстраций; В.П. Николаенко — разработка концепции и дизайна обзора, консультирование, редактирование и утверждение финальной версии статьи.

Authors' contribution: Bahaa A.M. Abudayyak — literature collection and analysis, writing of the article and preparation of the illustrations; V.P. Nikolaenko — development of the concept and design of the review, supervision, editing and approval of the final version.

Поступила: 24.03.2026. Переработана: 28.03.2026. Принята к печати: 29.03.2026

Originally received: 24.03.2026. Final revision: 28.03.2026. Accepted: 29.03.2026

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ/INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

¹ ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет», Университетская наб., д. 7/9, Санкт-Петербург, 199034, Россия

² СПб ГБУЗ «Городская многопрофильная больница № 2», пер. Учебный, д. 5, Санкт-Петербург, 194354, Россия

Бахаа Абделькадер Мухаммад Абудайяк — врач-офтальмолог, аспирант кафедры оториноларингологии и офтальмологии¹, ORCID 0009-0009-8238-4741

Вадим Петрович Николаенко — д-р мед. наук, профессор кафедры оториноларингологии и офтальмологии¹, заместитель главного врача по офтальмологии², ORCID 0000-0002-6393-1289

Для контактов: Бахаа А.М. Абудайяк,
baha.jin@yandex.ru

¹ St. Petersburg State University, 7/9, Universitetskaya emb., St. Petersburg, 199034, Russia

² City Multidisciplinary Hospital No. 2, 5, Uchebnyy lane, St. Petersburg, 194354, Russia

Bahaa A.M. Abudayyak — ophthalmologist, PhD student, chair of otorhinolaryngology and ophthalmology¹, ORCID 0009-0009-8238-4741

Vadim P. Nikolaenko — Dr. of Med. Sci., professor, chair of otorhinolaryngology and ophthalmology¹, deputy head doctor for ophthalmology², ORCID 0000-0002-6393-1289

For contacts: Bahaa A.M. Abudayyak,
baha.jin@yandex.ru



<https://doi.org/10.21516/2072-0076-2026-19-2-203-211>

Биомаркеры старения.

Часть 1. Общее состояние проблемы и подходы к оценке биологического возраста

М.В. Зуева[✉], В.И. Котелин, Н.В. Нероева, Н.Б. Чеснокова, А.Н. Журавлева, Н.В. Балацкая, М.В. Рябина

ФГБУ «НМИЦ глазных болезней им. Гельмгольца» Минздрава России, ул. Садовая-Черногрозская, д. 14/19, Москва, 105062, Россия

Учитывая гетерогенность процесса старения, его неоднородность для различных тканей, органов и систем человека и значительные различия в темпах старения между людьми, объективное представление о биологическом возрасте — индивидуальных темпах старения имеет большое клиническое значение. Выявление надежных биомаркеров, способных прогнозировать профиль старения и риск развития возрастной патологии может играть ключевую роль для профилактики ускоренного старения, геропротекторной терапии и своевременной диагностики и лечения возраст-ассоциированных заболеваний. В настоящее время разработан широкий спектр биомаркеров старения на клеточном, органном и молекулярном уровнях. На основе этих биомаркеров предложены модели «биологических часов» (фенотипические, эпигенетические, иммунные, метаболические и многие другие), которые с различной степенью точности позволяют определять биологический возраст человека и риски заболеваний конкретных органов и систем. Комбинации биомаркеров разных типов могут применяться для оценки потенциала здоровья и здорового долголетия у человека и являться объективными критериями эффективности геропротекторных стратегий при испытаниях новых методов и технологий. Однако к биомаркерам старения сегодня предъявляются очень высокие требования, которым, к сожалению, пока не полностью соответствуют предложенные маркеры и модели. Большинство современных биомаркеров отражает изменения, которые являются следствием старения, но не его причиной, что в свою очередь ограничивает точность биологических часов и их клиническую значимость. Это обуславливает актуальность разработки новых, доступных, неинвазивных, чувствительных к возрастным изменениям и надежных биомаркеров старения, которые будут полезны для раннего предупреждения возрастных заболеваний. В этой части обзора представлен краткий экскурс в состояние проблемы прогнозирования биологического возраста и описание подходов к моделям биологических часов. Вторая часть обзора будет посвящена маркерам нормального и патологического старения сетчатки и проблеме прогнозирования возраст-ассоциированной патологии зрительной системы. Фундаментальные знания о прогнозировании биологического возраста могут быть применены для перспективных исследований в офтальмологии, в частности с целью разработки биомаркеров старения сетчатки.

Ключевые слова: нормальное и патологическое старение; возраст-ассоциированные заболевания; биомаркеры старения; биологические часы

Конфликт интересов: отсутствует.

Прозрачность финансовой деятельности: никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

Для цитирования: Зуева М.В., Котелин В.И., Нероева Н.В., Чеснокова Н.Б., Журавлева А.Н., Балацкая Н.В., Рябина М.В. Биомаркеры старения. Часть 1. Общее состояние проблемы и подходы к оценке биологического возраста. Российский офтальмологический журнал. 2026; 19 (2): 203–11. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2026-19-2-203-211>

Biomarkers of aging.

Part 1. General state of the problem and approaches to assessing biological age

Marina V. Zueva✉, Vladislav I. Kotelin, Natalia V. Neroeva, Natalia B. Chesnokova, Anastasia N. Zhuravleva, Natalia V. Balatskaya, Marina V. Ryabina

Helmholtz National Medical Research Center of Eye Diseases, 14/19, Sadovaya-Chernogryazskaya, Moscow, 105062, Russia
visionlab@yandex.ru

Given the heterogeneity of the aging process for various tissues, organs and systems of a person and significant differences in the rate of aging between people, an objective idea of the biological age — individual rates of aging is of great clinical importance. Identification of reliable biomarkers capable of predicting the aging profile and the risk of developing age-related pathology can play a key role in the prevention of accelerated aging, geroprotective therapy and timely diagnosis and treatment of age-associated diseases. By now, a wide range of biomarkers of aging has been developed at the cellular, organ and molecular levels. Based on these biomarkers, models of “biological clocks” (phenotypic, epigenetic, immune, metabolic and many others) have been proposed, which, with varying degrees of accuracy, make it possible to determine a person’s biological age and the risks of diseases of specific organs and systems. Combinations of different types of biomarkers can be used to assess the potential for health and healthy longevity in humans and serve as objective criteria for the effectiveness of geroprotective strategies when testing new methods and technologies. However, today very high demands are placed on biomarkers of aging, which, unfortunately, the proposed markers and models do not yet fully meet. It is noted that since most modern biomarkers reflect changes that are a consequence of aging, but not its cause, which in turn limits the accuracy of the biological clock and its clinical significance. This determines the relevance of the development of new, accessible, non-invasive, sensitive to age-related changes and “reliable” biomarkers of aging, which will be useful for the early prevention of age-related diseases. This part of the review provides a brief excursion into the state of the problem of predicting biological age and a description of approaches to biological clock models. The second part of the review will be devoted to markers of normal and pathological aging of the retina and the problem of predicting age-associated pathology of the visual system. The fundamental knowledge about biological age can be applied to promising research in ophthalmology, in particular with the aim of developing new biomarkers of retinal aging.

Keywords: normal and pathological aging; age-related diseases; biomarkers of aging; biological clock

Conflict of interests: there is no conflict of interests.

Financial disclosure: no author has a financial or property interest in any material or method mentioned.

For citation: Zueva M.V., Kotelin V.I., Neroeva N.V., Chesnokova N.B., Zhuravleva A.N., Balatskaya N.V., Ryabina M.V. Biomarkers of aging. Part 1. General state of the problem and approaches to assessing biological age. Russian ophthalmological journal. 2026; 19 (2): 203-11 (In Russ.). <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2026-19-2-203-211>

Хронологический и биологический возраст. Увеличение продолжительности жизни и связанное с этим общее старение населения повышает распространенность связанных с возрастом хронических заболеваний, прежде всего сердечно-сосудистой системы и нейродегенеративных расстройств, и приводит к снижению качества жизни пожилых людей. Возрастные нейродегенеративные заболевания включают ряд патологий, в том числе приводящих к деменции, таких как болезнь Альцгеймера (БА) и болезнь Паркинсона (БП), и инвалидизирующие заболевания зрительной системы, включая глаукому и возрастную макулярную дегенерацию (ВМД). Достижение здорового долголетия человека и, в частности, здорового старения зрительной системы остается сложной задачей и актуальным направлением исследований.

Учитывая, что от скорости, с которой стареет человек, зависит риск развития связанных с возрастом хронических заболеваний, контроль биомаркеров старения критически важен для своевременного выявления этого риска и предотвращения развития возрастной патологии. При разработке биомаркеров старения в качестве основы используют хронологический возраст здорового человека. Разница между

биологическим и хронологическим возрастом («прогнозируемый возрастной разрыв») может указывать на индивидуальную скорость старения человека. Положительный возрастной разрыв (биологический возраст минус хронологический) будет говорить об ускоренном темпе старения, а отрицательный — о более медленном старении у конкретного человека (цит. по [1]). Понятие «биомаркер старения» было предложено, как биологический признак, который позволяет прогнозировать ухудшение функциональных возможностей человека и определять индивидуальный риск развития патологии, связанной со старением [1–3]. Повышение уровня знаний о биомаркерах нормального и патологического старения, выявление признаков, прогнозирующих развитие у человека возраст-ассоциированных заболеваний сетчатки, необходимо для своевременного назначения геропротективной терапии и профилактики потери зрения вследствие возрастных дегенеративных заболеваний.

Старение сопровождается снижением способности физиологических систем реагировать на стрессоры среды, что способствует развитию сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ) и других хронических состояний [4]. Хронологический возраст считается одним из наиболее важных

факторов риска развития ССЗ, поэтому профилактику ССЗ считают основополагающей для поддержания здорового старения человека. Американская кардиологическая ассоциация в 2010 г. представила «Life's Simple 7» (LS7), в котором обозначены ключевые цели профилактических мероприятий для улучшения состояния сердечно-сосудистой системы [5]. Они включали физическую активность, отказ от курения, контроль качества питания, индекса массы тела, уровня глюкозы в крови натощак, холестерина и артериального давления. Установлена отрицательная корреляция между показателями LS7 и ускорением эпигенетического старения. В 2022 г. эта концепция была дополнена в «Life's Essential 8» (LE8) восьмым элементом: здоровым сном [6, 7]. Принималось во внимание, что старение связано с увеличением латентности и «хрупкости» сна [8], что нарушение сна негативно влияет на морфологию и функцию дендритных шипиков и синаптическую пластичность [9], а также другие показатели, демонстрирующие значительное влияние качества сна на профиль старения человека.

Важно отметить, что не только старение способствует возникновению и развитию связанных с возрастом заболеваний [10], но и возрастные заболевания также могут ускорять старение [11]. R. Zhang и соавт. [11] впервые показали связь между баллами LE8 и биологическим старением: в большой когорте участников (11 729 человек) различного возраста (от 20 лет и старше) биологическое старение оценивалось по показателям фенотипического возраста (PhenoAge), ускорения фенотипического старения (PhenoAgeAccel), биологического возраста и ускорения биологического старения (BioAgeAccel). Биологическое старение оценивают различными способами и с использованием различных модальностей. Фенотипический и биологический возраст, рассчитанные на основе клинически наблюдаемых данных, считаются более надежными предикторами результатов старения. Показатели «ускоренный фенотипический возраст» и «ускоренный биологический возраст» помогают количественно определять разницу биологического и фенотипического возраста с хронологическим возрастом. В поперечном исследовании [11] было показано, что наиболее высокие баллы LE8 связаны с более низким фенотипическим и биологическим возрастом, PhenoAgeAccel и BioAgeAccel.

В отчете ВОЗ о старении и здоровье была предложена новая концепция здорового старения как процесса развития и поддержания функциональных способностей, которые обеспечивают благополучие в пожилом возрасте [12]. Предложено новое понятие «внутренней емкости» (intrinsic capacity, IC), как сочетание физических и умственных способностей человека и его энергетического потенциала (витальность), которые определяются как «связанные со здоровьем атрибуты, позволяющие людям быть и делать то, что они имеют основания ценить» [13–15]. IC характеризует функциональную способность человека при его взаимодействии с факторами окружающей среды: пожилые люди могут достичь более высокого качества жизни в преклонном возрасте, если они сохраняют свое здоровье и находятся в подходящей среде. J. Wang и соавт. [16] отмечают, что переход от ухода, ориентированного на болезнь, к индивидуально-ориентированному медицинскому сопровождению с приоритетом IC имеет особенно большое значение для практики ухода за пожилыми людьми в стационарных условиях.

«Консорциум по биомаркерам старения» определяет их как «научно измеряемые параметры физиологического процесса старения для оценки возрастных изменений и прогнозирования перехода в патологическое состояние»

(“scientifically measured parameters of the physiological aging process, to measure age-related changes and to predict the transition into a pathological status”) [17]. Иными словами, биомаркерами старения называют комбинацию признаков, позволяющих оценивать биологический возраст человека, контролировать процесс нормального физиологического старения и определять риск развития возраст-ассоциированных заболеваний (сердечно-сосудистой патологии, нейродегенеративных заболеваний мозга и сетчатки и пр.). Кроме того, надежные биомаркеры могут служить критериями эффективности выбранных методов геропротективного лечения.

При разработке биомаркеров следует учитывать, что они должны не только позволять прогнозировать возраст и помогать диагностике уже имеющихся возрастных заболеваний, но и служить эффективными показателями самого процесса старения, т. е. хорошо оценивать его темп («профиль» старения). Они также должны быть легко доступными для их многократного измерения безопасным для человека способом [1]. Учитывая такие высокие общие требования, предъявляемые к биомаркерам старения, исследователи признают, что несмотря на значительные достижения в этой области, эффективных маркеров такого уровня к настоящему времени пока нет. Их поиск остается актуальным, и различными научными группами продолжают разнотипные исследования. За несколько десятилетий разработан широкий спектр биомаркеров старения, но исследователи отмечают противоречивость оценок биологического возраста, проводимых с помощью различных переменных.

В своем недавнем метаобзоре «Консорциум по биомаркерам старения» заключает, что все еще недостаточно охарактеризованы ограничения и показания к применению предложенных количественных признаков, и необходим поиск новых маркеров старения, отвечающих разработанным требованиям [17]. В этом детальном обзоре, подготовленном 125 авторами из разных стран, суммированы текущие знания о биомаркерах, выявленных для различных уровней старения (всего проанализировано 2293 источника), которые структурированы в виде детальной справочной информации для врачей и исследователей. Биомаркеры проанализированы по всем известным к настоящему времени измерениям старения на клеточном, органном, организменном и популяционном уровне, и каждый признак описан по различным аспектам классификации. Биомаркеры старения классифицируют по шести ключевым подходам к оценке старения («шесть столпов», как отмечают авторы): физиологические характеристики старения, маркеры, основанные на медицинской визуализации, гистологические особенности, оценка клеточных изменений, молекулярные изменения и секреторные факторы. В отчете Консорциума отмечено, что для соответствия требованиям, предъявляемым к биомаркерам, разработанные показатели должны быть специфичными, системными и практичными, т. е. клинически значимыми и удобными для применения.

Необходимость маркера быть *специфичным* определяют тем фактом, что старение протекает с разной скоростью у разных людей и в разных органах. Поэтому требуются разные комбинации биомаркеров, специфические для оценки их старения, которые смогут определять риск перехода от физиологического к патологическому старению.

Требование к *системности* биомаркеров старения связано с тем, что они должны отражать не только локальные, но и системные изменения в определенной комбинации признаков (измерения различных биологических параметров).

Необходимость *практичности* биомаркеров объясняется требованием к их доступности для населения и врачей

(невысокая стоимость, простота, удобство выполнения измерений) и возможности собирать данные с помощью неинвазивных (или минимально инвазивных) методов.

Биомаркеры старения: общие представления. Изучение биомаркеров старения имеет значение не только для прогнозирования возраста, но также для повышения знаний о физиологических процессах, управляющих процессом старения и здоровым долголетием. Биомаркеры старения человека разделяют на основе результатов исследований молекулярных и клеточных профилей (включая формулу крови, омиксные и биофизические маркеры и др.), визуализаций органов и тканей, полученных с помощью различных методов, и данных клинических исследований [1, 18, 19]. С помощью анализа изображений определяют возраст мозга, возраст сетчатки, возраст лица и др. [20].

К биомаркерам старения относят длину теломер — области повторяющихся нуклеотидных последовательностей на концах хромосом, которые защищают ДНК от повреждений и нестабильности, но укорачиваются на 50–150 пар оснований после каждого клеточного цикла [21]. Соматические клетки человека имеют ограниченное число делений и укорочение теломер в процессе старения делает клетки уязвимыми для мутаций [22]. В многочисленных исследованиях сообщалось о связи между длиной теломер и риском смертности, а также с частотой и прогрессированием возрастной патологии, включая ССЗ, сахарный диабет 2-го типа, нейропсихиатрические расстройства и онкологические заболевания (цит. по [1]). Отметим однако, что в некоторых работах связь между теломерами и старением не была подтверждена [23].

Сочетание генетических и эпигенетических факторов влияет на старение всей ЦНС, включая головной мозг и зрительную систему. Напомним, что эпигенетические факторы не изменяют последовательность генома, но способны регулировать экспрессию генов и вызывать изменения фенотипа. Постоянное влияние окружающей среды отражается на клеточном уровне, и внешние воздействия постоянно изменяют внутриклеточный фенотип.

Биомаркерами старения мозга могут служить разнообразные изменения на функциональном и структурном уровне, вызванные нарушением гомеостаза, ослаблением компенсаторных механизмов и устойчивости к стрессу [24]. На уровне физиологических характеристик биомаркерами старения мозга являются «хрупкость» (состояние, характеризующееся потерей способности противостоять даже незначительным стрессовым ситуациям), снижение когнитивных способностей, «внутренней емкости» или ограничения в повседневной деятельности. Связанные со старением эпигенетические биомаркеры включают изменение метилирования геномной ДНК, потерю гетерохроматина, aberrантные модификации гистонов, реорганизацию трехмерной архитектуры генома и нарушение регуляции систем модификации РНК [25]. К биомаркерам ассоциированной с возрастом генетической нестабильности относят накопление повреждений ДНК, мутации и хромосомные aberrации, причинным фактором которых может быть нарушение репарации ДНК [17].

Клеточным старением (сенесценцией) называют состояние клеток, характеризующееся длительной, необратимой остановкой клеточного цикла с высокой секреторной способностью, повреждением макромолекул ДНК, белков и липидов и измененным метаболическим ландшафтом [17]. Триггером клеточного старения являются стрессовые воздействия и определенные физиологические сигналы, включая окислительный стресс, митохондриальную дисфункцию и др.

Биомаркером старения является секреторный фенотип, связанный с клеточным старением (SASP). Стареющие клетки секретируют протеазы, цитокины, ростовые факторы, которые воздействуют на окружающие ткани, провоцируя их старение, потерю гомеостаза и дисфункцию органов, а также участвуют в процессах регенерации, воспаления, опухолевой трансформации и других [26].

В процессе старения изменяются несколько митохондриальных биомаркеров [27, 28]. Возрастные изменения в митохондриальной функции лежат в основе широкого спектра возрастных заболеваний и состояний. Показано, что со старением связаны нарушения дыхательной функции митохондрий, такие как дефект цепи переноса электронов и снижение мембранного потенциала митохондрий [29]. Сегодня достигнуты определенные успехи в понимании факторов, которые влияют на биоэнергетическую емкость митохондрий человека. Показано, что митохондрии являются одними из основных регуляторов SASP. Апоптоз и старение регулируются схожими механизмами, зависящими от митохондрий. Во время апоптоза увеличивается проницаемость наружной мембраны митохондрий (MOMP) и происходит высвобождение митохондриальной ДНК в цитозоль. MOMP является также признаком клеточного старения. Сублетальный митохондриальный апоптозный стресс, который не приводит к полному уничтожению клетки, провоцирует высвобождение молекул хронического воспаления, и предполагается, что ингибирование этого процесса может способствовать здоровому старению [30].

К биомаркерам клеточного старения относят активацию фактора некроза опухоли-альфа (TNF α) и активируемые им сигнальные события. Поскольку клеточный метаболизм оказывает глубокое влияние на процесс старения, метаболиты являются его хорошими биомаркерами [24]. Выделяют несколько метаболитов, изменение путей которых оказывает воздействие на старение. К ним относятся аминокислоты и их производные, основные коферменты в центральном углеводном метаболизме, липиды и промежуточные метаболиты в цикле трикарбоновых кислот. Детальные исследования различий метаболитов и их путей у людей разного возраста позволили создать базу данных «MetaboAge» [31].

Старение также затрагивает иммунную систему, приводя к иммуностарению (иммуносенесценции), которое в настоящее время рассматривают как структурные и функциональные изменения врожденного и адаптивного иммунитета. Эти изменения способствуют нарушению барьеров организма, повышению восприимчивости к инфекциям, хроническим заболеваниям, поскольку при старении иммунной системы возможность организма реагировать на вакцинацию, новые антигены, эндогенные агенты повреждения становится весьма ограниченной [32].

Старение иммунной системы сопровождается дегенерацией тимуса, селезенки и лимфатических узлов, а также слизистых оболочек и ассоциированной с ними лимфоидной ткани. Иммуносенесценция при физиологическом и патологическом старении характеризуется параметрами, отражающими степень изменения органов иммунной системы и функционирования иммунокомпетентных клеток [33].

Механизмы иммуностарения являются сложными и до конца не расшифрованными. В течение целого ряда лет иммуносенесценцию рассматривали как деструктивный процесс, ведущий к воспалительному старению (развитию и доминированию стерильной воспалительной реакции низкой интенсивности) [34], однако в последние годы старение иммунной системы предлагается рассматривать в ключе адапционного ответа организма [35, 36]. С этой позиции

иммуносенесценция способна разрешиться либо развитием возраст-ассоциированной патологии, определяемой деструктивным воспалением (патологическим старением), либо долголетием — отсроченным развитием патологического воспаления или его отсутствием (физиологическим старением) [37].

Считается, что механизмы, лежащие в основе разработки молекулярных и клеточных биомаркеров, легче интерпретировать, чем визуализацию и данные клинических исследований. Однако неоднородность аналитических протоколов и воспроизводимости методологий могут привести к вариативности результатов измерений [38].

Основанные на визуализации биомаркеры воспроизводимы и легко доступны, эти данные собираются неинвазивным способом, однако обработка изображений является трудоемкой. Учитывая этот факт, для повышения точности прогнозирования возраста на основе нейровизуализации требуется расширение применения методов искусственного интеллекта (ИИ), особенно методов глубокого обучения. Модели на основе ИИ обладают преимуществами при обработке большого объема данных. Однако в настоящее время надежность алгоритмов ИИ пока ограничена [39]. Предполагается, что применение новых технологий сможет помочь в разработке биомаркеров.

Подходы к оценке биологического возраста («часы старения»). Для объективной оценки биологического возраста человека применяют разнообразные модели («часы старения»), использующие указанные выше биомаркеры различной природы. Биологический возраст — мера более точная, чем хронологический возраст для определения исходов хронических заболеваний. Например, недавно доказана связь между биологическим возрастом, ускоренным старением, определенным по показателям фенотипического возраста, и тяжестью инсульта с инвалидизацией перенесших ишемический инсульт пациентов [40].

Не существует единого стандартного способа определения биологического возраста [41]. Совокупность признаков старения различных органов и систем у каждого человека создает его «фенотип старения». *Фенотипические часы* определяют фенотипы старения с помощью оценки физических характеристик (например, фенотип лица и состояние кожи, данные визуализации мозга и др.) и функциональных возможностей человека, включая его когнитивные и двигательные функции. Известна модель фенотипических часов (PhotoAgeClock), прогнозирующая хронологический возраст по анализу «глубокой нейронной сети» фотоизображений уголков глаз. Значение средней абсолютной ошибки (MAE) для таких часов составляет 2,3 года [42]. Для определения фенотипического возраста используют модель, основанную на анализе параметров структурной магнитно-резонансной томографии (МРТ) с MAE 4,16 года [43], а также трехмерную модель ЦНС с MAE 2,3 года [44], которая, по мнению авторов, может служить ранним индикатором БА, а также прогнозировать нейрокогнитивные траектории у взрослых с БА или с мягким когнитивным снижением.

Фенотипический возраст, как мера старения, уточняет реальный биологический возраст, позволяя сравнивать его с хронологическим возрастом. Широко применяемый комплексный показатель использует 9 биохимических маркеров в клиническом анализе крови [18], включая альбумин, креатинин, уровень глюкозы натощак, С-реактивный белок, процент лимфоцитов, средний объем клеток (размер эритроцитов), количество лейкоцитов, щелочную фосфатазу.

Некоторые исследователи полагают, что наилучшим способом определения биологического возраста является

оценка риска смертности, который служит абсолютной объективной оценкой общего результата старения [45]. Фенотипический возраст основан на модели Гомпертца [46]. Экспоненциальная формула, предложенная В. Gompertz в 1825 г. («закон смертности» Гомпертца или формула Гомпертца — Мейкхама) [47], — статистическое распределение, количественно описывающее смертность человека, которая является суммой двух компонент: независимой и зависимой от возраста (члены Мейкхама и Гомпертца). Показано, что показатели смертности после достижения 30 лет удваиваются каждые девять лет [47, 48].

Предполагается, что изменения в определенных веществах и внутренней энергии связаны с процессом старения и объясняют эту формулу [49]. Обнаружено, что реальный уровень смертности в очень пожилом возрасте соответствует экспоненциальной формуле уровня смертности (отклонение от закона смертности Гомпертца), и закон смертности Гомпертца не может быть использован для прогнозирования влияния температуры на продолжительность жизни [48]. В дальнейшем были разработаны различные модели смертности для описания траекторий смертности в пожилом возрасте.

Эпигенетические часы — модель прогнозирования биологического возраста, использующая эпигенетические биомаркеры. По определению С. López-Otín и соавт. [24] «Старение — это процесс, сопровождающийся непрерывным накоплением эпигенетических изменений, которые в конечном итоге приводят к клеточной, тканевой и органной дегенерации». Влияние эпигенетических факторов непрерывно меняется с процессом старения [50]. Поэтому биологический возраст можно определять путем измерения уровня очевидных эпигенетических изменений, к которым относят прежде всего метилирование ДНК и модификации гистонов [51]. Старение сопровождается глобальным гипометилированием ДНК [18].

Метилирование ДНК (DNAm) определяет эпигенетические часы, которые регулируют транскрипцию генов [52, 53]. У человека метилирование чаще всего встречается в цитозин-гуанин динуклеотидах (CpG) [54], и по мере старения профиль статуса метилирования CpG изменяется в разных участках генома [52]. Показано, что метилирование ДНК связано с хронологическим возрастом и возрастными заболеваниями [45]. К настоящему времени предложено множество эпигенетических часов на основе разнообразных биологических образцов и методов статистического моделирования, которые показывают высокую точность в прогнозировании хронологического возраста с коэффициентом корреляции около 0,9 с хронологическим возрастом и MAE <5 лет [1].

Термины «омика» и «омиксные» исследования относят к изучению всех показателей молекулярной биологии [55]. Омиксные исследования включают в отмеченную выше эпигеномику, а также транскриптомику (изучение всех типов РНК), метаболомику (изучение малых молекул), микробиомику (изучение геномов микробиоты) и т. д. Транскриптомные данные (уровни экспрессии генов), полученные для нескольких органов, использовались для построения *транскриптомных часов* старения [56, 57]. Транскриптомика изучает полный набор транскриптов РНК в клетках или тканях [58]. L. Harriss и соавт. [59] впервые для прогнозирования хронологического возраста разработали концепцию транскриптомного возраста, которая использовала пять транскриптов, полученных из образцов крови. Точность этого метода составляла 95% при различении возраста человека 65 лет и моложе от 75 лет и старше. В других исследованиях

установлено, что более старший возраст по транскриптомным часам ассоциируется с такими фенотипическими признаками, как высокое артериальное давление, высокие индекс массы тела, уровни сывороточного холестерина, глюкозы, мочевины и альбумина и более низкий уровень интерлейкина-6 [56, 60].

Протеомные, липидомные, метаболомные исследования биологически активных молекул в жидкостях тела расширяют фенотипические признаки, характеризующие нормальное физиологическое и патологическое старение человека [61–63 и др.]. Протеомика изучает набор белков, производимых или модифицируемых организмом. Метаболомика относится к систематическому изучению метаболитов [64]. Доказано, что метаболиты активно участвуют в процессах старения [65]. Однако стандартизированные протоколы для прогнозирования возраста во всех омиксных исследованиях в настоящее время отсутствуют.

Биомаркеры старения, основанные на изображениях. Нейровизуализация с помощью методов МРТ, позитронно-эмиссионной томографии и других достижений морфометрической диагностики позволяет объективно судить о старении нейронной сети головного мозга и зрительной системы [66]. Так, применение структурной МРТ позволило документировать изменение объема серого вещества, связности белого вещества, толщины коры и другие признаки возрастных изменений ЦНС [67], которые могут быть использованы для оценки биологического возраста. В других исследованиях показана эффективность данных мультимодальной нейровизуализации мозга для прогнозирования возраста человека [68, 69]. Отмечено, что ускоренное старение мозга (большой положительный разрыв между хронологическим и биологическим возрастом) ассоциируется с более низкой когнитивной деятельностью [70] и повышенным риском деменции и БА [71].

Биохимические часы основаны на том предположении, что при более молодом биологическом возрасте у человека с лучшим физическим и ментальным здоровьем будет выявляться меньшее количество возрастных заболеваний [72, 73]. Часы, использующие биохимические показатели (прежде всего, данные анализа крови), могут предсказывать не только биологический возраст, но и риск смертности и деменции [74].

Предложено несколько моделей *иммунных часов* для оценки иммунологического возраста (IMM-AGE) с использованием различных параметров [75, 76]. Термин «иммуносенесценция» используется для описания изменений врожденного и приобретенного иммунитета при старении человека [34, 77]. Иммуносенесценция повышает уязвимость к инфекционным и хроническим заболеваниям [34], способствует слабовыраженному системному воспалению, которое играет важную роль в патогенезе сердечно-сосудистых, нейродегенеративных и других возрастных заболеваний [78]. Предполагается, что IMM-AGE также могут предсказывать смертность от разных причин [75].

Воспалительные часы старения (iAge) используют результаты исследований, показавших, что при старении, кроме нарушения регуляции функционирующих иммунных клеток, возрастает уровень воспалительных молекул [79]. У пожилых людей повышен уровень провоспалительных маркеров вследствие развившегося секреторного фенотипа, ассоциированного со старением (SASP), включая С-реактивный белок [80], цитокины и факторы роста [81], которые изменяют микросреду и функцию клеток [82]. Длительное воспаление приводит к накоплению повреждений в тканях, способствует хроническим возрастным забо-

леваниям [78] и может быть связано с мультиморбидностью и повышением индекса хрупкости [83, 84].

Циркадные часы основаны на оценке синхронности биоритмов. Хорошо известно, что старение сопровождается нарушением циркадной синхронности биоритмов, связанным с нарушением функции центрального водителя ритма в супрахиазматическом ядре (СХЯ). Свет — основной синхронизирующий сигнал (Zeitgeber, времязадатчик) внешней среды, который у млекопитающих «загружает», вовлекает в циркадный ритм главные циркадные часы организма в СХЯ гипоталамуса. СХЯ синхронизирует с внешней средой эндогенные циркадные часы, локальные колебания циркадных осцилляторов в мозге и в периферических тканях по всему телу [85]. Циркадное колебание экспрессии генов регулируется на уровне транскрипции. В отрицательной петле обратной связи на молекулярном уровне гетеродимерный транскрипционный фактор Clock/Bmal1 стимулирует транскрипцию генов *Period (PER)* и *Cryptochrome (CRY)*, а взаимодействие белков PER и CRY с гетеродимером отменяет его способность к транскрипционной активации, в связи с чем PER и CRY служат отрицательными регуляторами циркадных часов [86–88].

Старение нарушает когерентность биоэлектрической активности головного мозга [89] и синхронизацию активности СХЯ и периферических осцилляторов [90]. Функциональная сохранность СХЯ считается одним из ключевых факторов, влияющих на физиологическое старение и возраст-ассоциированные заболевания [91]. В исследовании [92] у старых мышей описана аберрантная ритмичность СХЯ (электрофизиологическая аритмия) на уровне отдельных клеток и фазовая десинхронизация на сетевом уровне. Потеря синхронности биоритмов была связана с нарушениями обмена веществ, сахарным диабетом, ССЗ, а также онкологическими заболеваниями (см., например, [93]).

Поскольку старение — гетерогенный процесс, по-разному влияющий на ткани, органы и системы организма, подчеркивается полезность создания «*составных*», *мультимодальных биологических часов*, которые оценивали бы различные аспекты старения и сопоставляли различные биомаркеры [94]. Например, по результатам продольного исследования [95] предложены мульти-омиксные измерения, включающие комплекс маркеров и параметров клинических лабораторных исследований, на основе которых определены различные паттерны старения у разных людей (так называемые возрастные типы). В другой работе по мультимодальным данным определен количественный показатель иммунного старения (IMM-AGE), который, как утверждают авторы, имел лучшую эффективность в прогнозировании смертности у пожилых людей, чем эпигенетические часы [75]. В исследовании R. Jansen и соавт. [96] был рассчитан составной индекс путем суммирования пяти масштабированных (омиксных) показателей биологического старения, который показал более высокую корреляцию с показателями здоровья по сравнению с другими часами старения. При этом метилирование ДНК имело наибольшую точность в определении хронологического возраста. Несколько менее чувствительными оказались данные протеомики и метаболомики и наименее точными — теломерные часы [96].

Исследователи также отмечают, что темп старения, его ускорение относительно хронологического возраста наиболее точно позволяет оценить комбинированная количественная оценка биомаркеров, индексирующих функцию сердечно-сосудистой системы, метаболические изменения, иммунные и биохимические функции [97].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Учитывая гетерогенность процесса старения, его неоднородность для различных тканей, органов и систем человека и значительные различия в темпах старения между людьми, объективное представление о биологическом возрасте — индивидуальных темпах старения имеет большое клиническое значение. Выявление надежных биомаркеров, способных прогнозировать профиль старения и риск развития возрастной патологии может играть ключевую роль для профилактики ускоренного старения, геропротекторной терапии и своевременной диагностики и лечения возраст-ассоциированных заболеваний. К настоящему времени разработан широкий спектр биомаркеров старения на клеточном, органном и молекулярных уровнях. Предложенные биомаркеры с различной степенью точности позволяют определять биологический возраст человека и риски заболеваний конкретных органов и систем. На их основе разработаны модели биологических часов (фенотипические, эпигенетические, иммунные, метаболические и многие другие). Биологические часы могут применяться для оценки потенциала здоровья и здорового долголетия у человека и являться объективным критерием эффективности новых геропротективных стратегий. Однако на сегодняшний день маркеров и моделей, полностью соответствующих требованиям, предъявляемым к биомаркерам старения, не существует. Отмечается, что поскольку большинство современных биомаркеров отражают изменения, которые являются следствием старения, но не его причиной, это ограничивает точность биологических часов и их клиническую значимость. Поэтому в настоящее время остается актуальной разработка новых, легко применяемых, неинвазивных, чувствительных к возрастным изменениям и надежных биомаркеров старения, которые будут полезны для раннего предупреждения возрастных заболеваний. Вторая часть обзора будет посвящена маркерам нормального и патологического старения сетчатки в рамках проблемы прогнозирования возраст-ассоциированной патологии зрительной системы. Фундаментальные знания о прогнозировании биологического возраста, представленные в этой части обзора, могут быть применены для перспективных исследований в офтальмологии, в частности с целью разработки новых биомаркеров старения сетчатки. Кроме того, общие представления о профиле старения организма позволяют определить системные клинически значимые параметры, которые, наряду со специфическими признаками нормального и патологического старения сетчатки, можно будет использовать и для разработки комбинированных часов старения.

Литературы/References

- Chen R, Wang Y, Zhang Sh, et al. Biomarkers of ageing: Current state-of-art, challenges, and opportunities. *MedComm — Future Medicine*. 2023; 2: e50. <https://doi.org/10.1002/mef2.50>
- Гильмутдинова И.Р., Кудряшова И.С., Костромина Е.Ю. и др. Современные подходы диагностики и коррекции биомаркеров старения. *Вестник восстановительной медицины*. 2021; 20 (6): 96–102. [Gilmudtinova I.R., Kudryashova I.S., Kostromina E.Yu., et al. Modern approaches to diagnostics and correction of aging. *Bulletin of rehabilitation medicine*. 2021; 20 (6): 96–102 (In Russ.)]. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2021-20-6-96-102>
- Diebel LWM, Rockwood K. Determination of biological age: geriatric assessment vs. biological biomarkers. *Curr Oncol Rep*. 2021; 23 (9): 104. doi: 10.1007/s11912-021-01097-9
- Yazdanyar A, Newman AB. The burden of cardiovascular disease in the elderly: morbidity, mortality, and costs. *Clin Geriatr Med*. 2009; 25: 563–77. doi: 10.1016/j.cger.2009.07.007
- Lloyd-Jones DM, Hong Y, Labarthe D, et al. Defining and setting national goals for cardiovascular health promotion and disease reduction: the American Heart Association's strategic Impact Goal through 2020 and beyond. *Circulation*. 2010; 121: 586–613. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.109.192703
- Lloyd-Jones DM, Allen NB, Anderson CAM, et al. Life's Essential 8: updating and enhancing the American Heart Association's construct of cardiovascular health: a presidential advisory from the American Heart Association. *Circulation*. 2022; 146(5): e18–e43. doi: 10.1161/CIR.0000000000001078
- Kumar M, Orkaby A, Tighe C, et al. Life's Essential 8: Optimizing Health in Older Adults. *JACC Adv*. 2023; 2 (7): 100560. doi: 10.1016/j.jacadv.2023.100560
- Mander BA, Winer JR, Walker M.P. Sleep and human aging. *Neuron*. 2017; 94 (1): 19–36. doi: 10.1016/j.neuron.2017.02.004
- Mahalakshmi AM, Ray B, Tuladhar S, et al. Sleep, brain vascular health and ageing. *Geroscience*. 2020; 42 (5): 1257–83. doi: 10.1007/s11357-020-00235-8
- Hahad O, Frenis K, Kuntic M., Daiber A., Münzel T. Accelerated aging and age-related diseases (CVD and Neurological) due to air pollution and traffic noise exposure. *Int J Mol Sci*. 2021; 22 (5): 2419. doi: 10.3390/ijms22052419
- Zhang R, Wu M, Zhang W, et al. Association between life's essential 8 and biological ageing among US adults. *J Transl Med*. 2023; 21 (1): 622. doi: 10.1186/s12967-023-04495-8
- World report on ageing and health. *World Health Organization*. 2015. <https://iris.who.int/handle/10665/186463>
- Beard JR, Officer A, de Carvalho IA, et al. The World report on ageing and health: a policy framework for healthy ageing. *Lancet*. 2016; 387: 2145–54. doi: 10.1016/S0140-6736(15)00516-4
- Zhou Y, Ma L. Intrinsic capacity in older adults: Recent advances. *Aging Dis*. 2022; 13 (2): 353–9. doi: 10.14336/AD.2021.0818
- Zhou J, Chang H, Leng M, Wang Z. Intrinsic capacity to predict future adverse health outcomes in older adults: A scoping review. *Healthcare (Basel)*. 2023; 11 (4): 450. doi: 10.3390/healthcare11040450
- Wang J, Boehm L, Mion LC. Intrinsic capacity in older hospitalized adults: Implications for nursing practice. *Geriatr Nurs*. 2017; 38 (4): 359–61. doi: 10.1016/j.gerinurse.2017.06.008
- Aging Biomarker Consortium; Bao H, Cao J, Chen M, et al. Biomarkers of aging. *Sc. China Life Sci*. 2023; 66 (5): 893–1066. doi: 10.1007/s11427-023-2305-0
- Jylhävä J, Pedersen NL, Hägg S. Biological age predictors. *EBioMedicine*. 2017; 21: 29–36. doi: 10.1016/j.ebiom.2017.03.046
- Rutledge J, Oh H, Wyss-Coray T. Measuring biological age using omics data. *Nat Rev Genet*. 2022; 23 (12): 715–27. doi: 10.1038/s41576-022-00511-7
- Xia X, Chen X, Wu G, et al. Three-dimensional facial-image analysis to predict heterogeneity of the human ageing rate and the impact of lifestyle. *Nature Metabolism*. 2020; 2 (9): 946–57. doi: 10.1038/s42255-020-00270-x
- Griffith JD, Comeau L, Rosenfield S, et al. Mammalian telomeres end in a large duplex loop. *Cell*. 1999; 97 (4): 503–14. doi: 10.1016/s0092-8674(00)80760-6
- Bountziouka V, Nelson CP, Codd V, et al. Association of shorter leucocyte telomere length with risk of frailty. *J Cachexia Sarcopenia Muscle*. 2022 Jun; 13 (3): 1741–51. doi: 10.1002/jcsm.12971
- Wang Q, Zhan Y, Pedersen NL, Fang F, Hägg S. Telomere length and all-cause mortality: a meta-analysis. *Ageing Res Rev*. 2018; 48: 11–20. doi: 10.1016/j.arr.2018.09.002
- López-Otín C, Blasco MA, Partridge L, Serrano M, Kroemer G. Hallmarks of aging: An expanding universe. *Cell*. 2023; 186: 243–78. doi: 10.1016/j.cell.2022.11.001
- Jaenisch R, Bird A. Epigenetic regulation of gene expression: how the genome integrates intrinsic and environmental signals. *Nat Genet*. 2003; 33: 245–54. doi: 10.1038/ng1089
- Бородкина А.В., Дерябин П.И., Грюкова А.А., Никольский Н.Н. «Социальная жизнь» стареющих клеток: что такое SASP и зачем его изучать? *Acta Nature*. 2018; 10/1 (36): 4–14. [Borodkina A.V., Deryabin P.I., Gryukova A.A., Nikolsky N.N. "Social Life" of Senescent Cells: What is SASP and why study it? *Acta Nature*. 2018; 10/1 (36): 4–14 (In Russ.)]. <https://doi.org/10.32607/20758251-2018-10-1-4-14>
- Синёв В.В., Рыжкова А.И., Сазонова и др. Новый маркер старения человека: уровень гетероплазмии мутаций митохондриального генома. *Патологическая физиология и экспериментальная терапия*. 2021; 65 (2): 4–9. [Sinev V.V., Ryzhkova A.I., Sazonova M.A., et al. A new marker of human aging: heteroplasmy level of mitochondrial genome mutations. *Pathological physiology and experimental therapy*. 2021; 65 (2): 4–9 (In Russ.)]. doi: 10.25557/0031-2991.2021.02.4-9
- Molina A. Biomarkers and drivers of mitochondrial health and aging. *Innovation in Aging*. 2024; 8 (S1): 302, Abstract ID igae098.0984, <https://doi.org/10.1093/geroni/igae098.0984>
- Migliavacca E, Tay SKH, Patel HP, et al. Mitochondrial oxidative capacity and NAD+ biosynthesis are reduced in human sarcopenia across ethnicities. *Nat Commun*. 2019; 10: 5808. doi: 10.1038/s41467-019-13694-1
- Victorelli S, Salmonowicz H, Chapman J, et al. Apoptotic stress causes mtDNA release during senescence and drives the SASP. *Nature*. 2023; 622 (7983): 627–36. <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06621-4>
- Bucaciuc M, Racica T, Anghel A, Ion CF, et al. MetaboAge DB: a repository of known ageing-related changes in the human metabolome. *Biogerontology*. 2020; 21: 763–71. doi: 10.1007/s10522-020-09892-w

32. Barbe-Tuana F, Funchal G, Schmitz CRR, Maurmann RM, Bauer ME. The interplay between immunosenescence and age-related diseases. *Semin Immunopathol.* 2020; 42 (5): 545–57. doi: 10.1007/s00281-020-00806-z
33. Chen Y, Klein SL, Garibaldi BT, et al. Aging in COVID-19: vulnerability, immunity and intervention. *Ageing Res Rev.* 2021; 65: 101205. doi: 10.1016/j.arr.2020.101205
34. Franceschi C, Bonaf M, Valensin S, et al. Inflamm-aging. An evolutionary perspective on immunosenescence. *Ann NY Acad Sci.* 2000; 908: 244–54. doi: 10.1111/j.1749-6632.2000.tb06651.x
35. Pawelec G, Bronikowski A, Cunnane SC, et al. The conundrum of human immune system “senescence”. *Mech Ageing Dev.* 2020; 192: 111357. doi: 10.1016/j.mad.2020.111357
36. Fulop T, Larbi A, Hirokawa K, Cohen AA, Witkowski JM. Immunosenescence is both functional/adaptive and dysfunctional/maladaptive. *Semin Immunopathol.* 2020; 42 (5): 521–36. doi: 10.1007/s00281-020-00818-9
37. Franceschi C, Garagnani P, Morsiani C, et al. The continuum of aging and age-related diseases: common mechanisms but different rates. *Front Med.* 2018; 5: 61. doi: https://doi.org/10.3389/fmed.2018.00061
38. Galkin F, Mamoshina P, Aliper A, et al. Biohorology and biomarkers of aging: current state-of-the-art, challenges and opportunities. *Ageing Res. Rev.* 2020; 60: 101050. doi: 10.1016/j.arr.2020.101050
39. Zhu J, Gao L, Song J, et al. Label-guided generative adversarial network for realistic image synthesis. *IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell.* 2023; 45 (3): 3311–28. doi: 10.1109/TPAMI.2022.3186752
40. Liu Y, Wang J, Wei Z, et al. Association of phenotypic age and accelerated aging with severity and disability in patients with acute ischemic stroke. *J Nutr Health Aging.* 2024; 28 (12): 100405. doi: 10.1016/j.jnha.2024.100405
41. Brinkley TE, Justice JN, Basu S, et al. Research priorities for measuring biologic age: summary and future directions from the Research Centers Collaborative Network Workshop. *GeroScience.* 2022; 44: 2573–83. https://doi.org/10.1007/s11357-022-00661-w
42. Bobrov E, Georgievskaya A, Kiselev K, et al. PhotoAgeClock: deep learning algorithms for development of non-invasive visual biomarkers of aging. *Aging.* 2018; 10: 3249–59. doi: 10.18632/aging.101629
43. Cole JH, Poudel RPK, Tsagkasoulis D, et al. Predicting brain age with deep learning from raw imaging data results in a reliable and heritable biomarker. *NeuroImage.* 2017; 163: 115–24. doi: 10.1016/j.neuroimage.2017.07.059
44. Yin C, Imms P, Cheng M, et al. Anatomically interpretable deep learning of brain age captures domain-specific cognitive impairment. *Proc Natl Acad Sci. USA.* 2023; 120: e2214634120. doi: 10.1073/pnas.2214634120
45. Zhang Q, Vallerga CL, Walker RM, et al. Improved precision of epigenetic clock estimates across tissues and its implication for biological ageing. *Genome Med.* 2019; 11 (1): 54. doi: 10.1186/s13073-019-0667-1
46. Gialluisi A, Tirozzi A, Costanzo S, et al. Blood-based biological ageing and red cell distribution width are associated with prevalent Parkinson's disease: findings from a large Italian population cohort. *Front Endocrinol. (Lausanne).* 2024; 15: 1376545. doi: 10.3389/fendo.2024.1376545
47. Gompertz B. On the nature of the function expressive of the law of human mortality, and on a new mode of determining the value of life contingencies. *Phil Trans R Soc Lond.* 1825; 115: 513–83. https://doi.org/10.1098/rspl.1815.0271
48. Gavrilov LA, Gavrilova NS. The reliability theory of aging and longevity. *J Theor Biol.* 2001; 213: 527–45. doi: 10.1006/jtbi.2001.2430
49. Masoro EJ. Biochemical and molecular mechanisms of aging: from model systems to human longevity. Preface. *Biochim Biophys Acta.* 2009; 1790 (10): 949–50. doi: 10.1016/j.bbagen.2009.08.009
50. Zhang W, Qu J, Liu GH, Belmonte JCI. The ageing epigenome and its rejuvenation. *Nat Rev. Mol Cell Biol.* 2020; 21: 137–50. doi: 10.1038/s41580-019-0204-5
51. Moore LD, Le T, Fan G. DNA methylation and its basic function. *Neuropsychopharmacol.* 2013; 38: 23–38. doi: 10.1038/npp.2012.112
52. Horvath S, Raj K. DNA methylation-based biomarkers and the epigenetic clock theory of ageing. *Nat Rev Genet.* 2018; 19 (6): 371–84. doi: 10.1038/s41576-018-0004-3
53. Noroozi R, Ghafouri-Fard S, Pisarek A, et al. DNA methylation-based age clocks: from age prediction to age reversion. *Ageing Res Rev.* 2021; 68: 101314. doi: 10.1016/j.arr.2021.101314
54. Seale K, Horvath S, Teschendorff A, Eynon N, Voisin S. Making sense of the ageing methylome. *Nat Rev Genet.* 2022; 23 (10): 585–605. doi: 10.1038/s41576-022-00477-6
55. Hasin Y, Seldin M, Lusis A. Multi-omics approaches to disease. *Genome Biol.* 2017; 18 (1): 83. doi: 10.1186/s13059-017-1215-1
56. Peters MJ, Joehanes R, Pilling LC, et al. The transcriptional landscape of age in human peripheral blood. *Nat Commun.* 2015; 6: 8570. doi: 10.1038/ncomms9570
57. Buckley MT, Sun ED, George BM, et al. Cell-type-specific aging clocks to quantify aging and rejuvenation in neurogenic regions of the brain. *Nat Aging.* 2023; 3: 121–37. doi: 10.1038/s43587-022-00335-4
58. Dong Z, Chen Y. Transcriptomics: advances and approaches. *Science China Life Sciences.* 2013; 56 (10): 960–7. doi: 10.1007/s11427-013-4557-2
59. Harries LW, Hernandez D, Henley W, et al. Human aging is characterized by focused changes in gene expression and deregulation of alternative splicing. *Aging Cell.* 2011; 10 (5): 868–78. doi: 10.1111/j.1474-9726.2011.00726.x
60. Holly AC, Melzer D, Pilling LC, et al. Towards a gene expression biomarker set for human biological age. *Aging Cell.* 2013; 12 (2): 324–6. doi: 10.1111/accel.12044
61. Johnson AA, Shokhirev MN, Wyss-Coray T, Lehallier B. Systematic review and analysis of human proteomics aging studies unveils a novel proteomic aging clock and identifies key processes that change with age. *Ageing Res Rev.* 2020; 60: 101070. doi: 10.1016/j.arr.2020.101070
62. Moaddel R, Ubaida-Mohien C, Tanaka T, et al. Proteomics in aging research: a roadmap to clinical, translational research. *Aging Cell.* 2021; 20: e13325. doi: 10.1111/accel.13325
63. Ларина И.М., Пастушкова Л.Х., Каширина Д.Н., Тюжин М.Г. Вклад протеомики и метаболомики в исследование физиологических механизмов адаптации организма человека к условиям жизнедеятельности. *Успехи физиологических наук.* 2022; 53 (3): 75–104. [Larina I.M., Pastushkova L.Kh., Kashirina D.N., Tyuzhin M.G. The contribution of proteomics and metabolomics to the study of physiological mechanisms of adaptation of the human body to life conditions. *Progress in physiological science.* 2022; 53 (3): 75–104 (In Russ.)]. doi: 10.31857/S0301179822030079
64. Panyard DJ, Yu B, Snyder MP. The metabolomics of human aging: Advances, challenges, and opportunities. *Sci Adv.* 2022; 8 (42): eadd6155. doi: 10.1126/sciadv.add6155
65. Menni C, Kastenmüller G, Petersen AK, et al. Metabolomic markers reveal novel pathways of ageing and early development in human populations. *Int J Epidemiol.* 2013; 42 (4): 1111–9. doi: 10.1093/ije/dyt094
66. Shamir L, Long J. Quantitative machine learning analysis of brain MRI morphology throughout aging. *Curr Aging Sci.* 2016; 9 (4): 310–17. doi: 10.2174/1874609809666160413113711
67. Lin L, Jin C, Fu Z, et al. Predicting healthy older adult's brain age based on structural connectivity networks using artificial neural networks. *Comput Methods Programs Biomed.* 2016; 125: 8–17. doi: 10.1016/j.cmpb.2015.11.012
68. Xifra-Porras A, Ghosh A, Mitsis GD, Boudrias MH. Estimating brain age from structural MRI and MEG data: insights from dimensionality reduction techniques. *Neuroimage.* 2021; 231: 117822. doi: 10.1016/j.neuroimage.2021.117822
69. Rokicki J, Wolfers T, Nordhøy W, et al. Multimodal imaging improves brain age prediction and reveals distinct abnormalities in patients with psychiatric and neurological disorders. *Hum Brain Mapp.* 2021; 42 (6): 1714–26. doi: 10.1002/hbm.25323
70. Christman S, Bermudez C, Hao L, et al. Accelerated brain aging predicts impaired cognitive performance and greater disability in geriatric but not midlife adult depression. *Trans. Psychiatry.* 2020; 10 (1): 317. https://doi.org/10.1038/s41398-020-01004-z
71. Ly M, Yu G.Z., Karim H.T., et al. Improving brain age prediction models: incorporation of amyloid status in Alzheimer's disease. *Neurobiol. Aging.* 2020; 87 (Pt12): 44–8. doi: 10.1016/j.neurobiolaging.2019.11.005
72. Gialluisi A, Di Castelnuovo A, Costanzo S, et al. Moli-sani Study Investigators. Exploring domains, clinical implications and environmental associations of a deep learning marker of biological ageing. *Eur J Epidemiol.* 2022; 37 (1): 35–48. doi: 10.1007/s10654-021-00797-7
73. Peretz L, Rappoport N. Deviation of physiological from chronological age is associated with health. *Stud Health Technol. Inform.* 2022; 294: 224–8. doi: 10.3233/SHTI220442
74. Mamoshina P, Kochetov K, Putin E, et al. Population specific biomarkers of human aging: A big data study using South Korean, Canadian, and Eastern European patient populations. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 2018; 73 (11): 1482–90. doi: 10.1093/gerona/gly005
75. Alpert A, Pickman Y, Leipold M, et al. A clinically meaningful metric of immune age derived from high-dimensional longitudinal monitoring. *Nat Med.* 2019; 25: 487–95. doi: 10.1038/s41591-019-0381-y
76. Lambert K, Moo KG, Arnett A, et al. Deep immune phenotyping reveals similarities between aging, Down syndrome, and autoimmunity. *Sci Transl Med.* 2022; 14 (627): eabi4888. doi: 10.1126/scitranslmed.abi4888
77. Yousefzadeh MJ, Flores RR, Zhu Y, et al. An aged immune system drives senescence and ageing of solid organs. *Nature.* 2021; 594 (7861): 100–5. doi: 10.1038/s41586-021-03547-7
78. Franceschi C, Campisi J. Chronic inflammation (inflammaging) and its potential contribution to age-associated diseases. *J Gerontol. A Biol Sci Med Sci.* 2014; 69 (suppl 1): S4–S9. doi: 10.1093/gerona/glu057
79. Ferrucci L, Fabbri E. Inflammageing: chronic inflammation in ageing, cardiovascular disease, and frailty. *Nat Rev Cardiol.* 2018; 15 (9): 505–22. doi: 10.1038/s41569-018-0064-2

80. Ahmadi-Abhari S, Luben RN, Wareham NJ, Khaw KT. Distribution and determinants of C-reactive protein in the older adult population: European prospective investigation into Cancer-Norfolk study. *Eur J Clin Invest*. 2013; 43 (9): 899–911. doi: 10.1111/eci.12116
81. Zhao H, Zhang H, Qin X. Age-related differences in serum MFG-E8, TGF- β 1 and correlation to the severity of atherosclerosis determined by ultrasound. *Mol Med Rep*. 2017; 16 (6): 9741–8. doi: 10.3892/mmr.2017.7838
82. Liberale L, Badimon L, Montecucco F, et al. Inflammation, aging, and cardiovascular disease. *JACC*. 2022; 79 (8): 837–47. doi: 10.1016/j.jacc.2021.12.017
83. Yusipov I, Kondakova E, Kalyakulina A, et al. Accelerated epigenetic aging and inflammatory/immunological profile (ipAGE) in patients with chronic kidney disease. *GeroScience*. 2022; 44 (2): 817–34. doi: 10.1007/s11357-022-00540-4
84. Sayed N, Huang Y, Nguyen K, et al. An inflammatory aging clock (iAge) based on deep learning tracks multimorbidity, immunosenescence, frailty and cardiovascular aging. *Nat Aging*. 2021; 1: 598–615. doi: 10.1038/s43587-021-00082-y
85. Hastings MH, Maywood ES, Brancaccio M. Generation of circadian rhythms in the suprachiasmatic nucleus. *Nat Rev Neurosci*. 2018; 19: 453–69. doi: 10.1038/s41583-018-0026-z
86. Подколотная О.А., Подколотная Н.Н., Подколотный Н.Л. Циркадные часы млекопитающих: геномная сеть и компьютерный анализ. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2014; 18 (4/2): 928–38. [Podkolodnaya O.A., Podkolodnaya N.N., Podkolodnyy N.L. The mammalian circadian clock: Gene regulatory network and computer analysis. *Russ J Genet Appl Res*. 2015; 5 (4/2): 354–62]. <https://doi.org/10.1134/S2079059715040115>
87. Takahashi JS. Transcriptional architecture of the mammalian circadian clock. *Nat Rev Genet*. 2017; 18: 164–79. doi: 10.1038/nrg.2016.150
88. Patke A, Young MW, Axelrod S. Molecular mechanisms and physiological importance of circadian rhythms. *Nat Rev Mol Cell Biol*. 2020; 21: 67–84. doi: 10.1038/s41580-019-0179-2
89. Nakamura TJ, Nakamura W, Yamazaki S, et al. Age-related decline in circadian output. *J. Neurosci*. 2011; 31: 10201–5. doi: 10.1523/JNEUROSCI.0451-11.2011
90. Sellix MT, Evans JA, Leise TL, et al. Aging differentially affects the re-entrainment response of central and peripheral circadian oscillators. *J. Neurosci*. 2012; 32: 16193–202. doi: 10.1523/JNEUROSCI.3559-12.2012
91. Li H, Satinoff E. Fetal tissue containing the suprachiasmatic nucleus restores multiple circadian rhythms in old rats. *Am J Physiol. Regul Integr Comp Physiol*. 1998; 275: R1735–R1744. doi: 10.1152/ajpregu.1998.275.6.R1735
92. Farajnia S, Michel S, Deboer T, et al. Evidence for neuronal desynchrony in the aged suprachiasmatic nucleus clock. *J. Neurosci*. 2012; 32 (17): 5891–9. doi: 10.1523/JNEUROSCI.0469-12.2012
93. Acosta-Rodriguez VA, Rijo-Ferreira F, Green CB, Takahashi JS. Importance of circadian timing for aging and longevity. *Nat Commun*. 2021; 12: 2862. doi: 10.1038/s41467-021-22922-6
94. Nie C, Li Y, Li R, et al. Distinct biological ages of organs and systems identified from a multi-omics study. *Cell Rep*. 2022; 38: 110459. doi: 10.1016/j.celrep.2022.110459
95. Ahadi S, Zhou W, Schüssler-Fiorenza Rose SM, et al. Personal aging markers and ageotypes revealed by deep longitudinal profiling. *Nat Med*. 2020; 26: 83–90. doi: 10.1038/s41591-019-0719-5
96. Jansen R, Han LK, Verhoeven JE, et al. An integrative study of five biological clocks in somatic and mental health. *eLife*. 2021; 10: e59479. doi: 10.7554/eLife.59479
97. Elliott ML, Caspi A, Houts RM, et al. Disparities in the pace of biological aging among midlife adults of the same chronological age have implications for future frailty risk and policy. *Nat Aging*. 2021; 1 (3): 295–308. doi: 10.1038/s43587-021-00044-4

Вклад авторов в работу: М.В. Зуева — концепция, анализ литературы, написание статьи, В.И. Котелин — анализ литературы, написание статьи; Н.В. Нероева — научное редактирование, анализ литературы; Н.Б. Чеснокова, Н.В. Балацкая — анализ литературы, редактирование; А.Н. Журавлева, М.В. Рябина — научное редактирование.

Author's contribution: M.V. Zueva — concept, literature analysis, writing of the article; V.I. Kotelin — literature analysis, writing of the article; N.V. Neroeva — scientific editing of the article, literature analysis; N.B. Chesnokova, N.V. Balatskaya — literature analysis, editing of the article; A.N. Zhuravleva, M.V. Ryabina — scientific editing of the article.

Поступила: 18.02.2025. Переработана: 27.02.2025. Принята к печати: 28.02.2025

Originally received: 18.02.2025. Final revision: 27.02.2025. Accepted: 28.02.2025

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ/INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

ФГБУ «НМИЦ глазных болезней им. Гельмгольца» Минздрава России, ул. Садовая-Черногрозская, д. 14/19, Москва, 105062, Россия

Марина Владимировна Зуева — д-р биол. наук, профессор, главный научный сотрудник, начальник отдела клинической физиологии зрения им. С.В. Кравкова, ORCID 0000-0002-0161-5010

Владислав Игоревич Котелин — канд. мед. наук, старший научный сотрудник отдела клинической физиологии зрения им. С.В. Кравкова, ORCID 0000-0003-4675-9648

Наталья Владимировна Нероева — д-р мед. наук, ведущий научный сотрудник, начальник отдела патологии сетчатки и зрительного нерва, ORCID 0000-0003-1038-2746

Наталья Борисовна Чеснокова — д-р биол. наук, профессор, главный специалист отдела патофизиологии и биохимии, ORCID 0000-0002-7856-8005

Анастасия Николаевна Журавлева — канд. мед. наук, старший научный сотрудник отдела глаукомы, ORCID 0000-0002-5926-6132

Наталья Владимировна Балацкая — канд. биол. наук, ведущий научный сотрудник, начальник отдела иммунологии и вирусологии, ORCID 0000-0001-8007-6643

Марина Владимировна Рябина — канд. мед. наук, старший научный сотрудник отдела патологии сетчатки и зрительного нерва, ORCID 0000-0001-7961-8695

Для контактов: Марина Владимировна Зуева, visionlab@yandex.ru

Helmholtz National Medical Research Center of Eye Diseases, 14/19, Sadovaya-Chernogryazskaya, Moscow, 105062, Russia

Marina V. Zueva — Dr. of Biol. Sci., professor, chief researcher, head of the department of clinical physiology of vision named after S.V. Kravkov, ORCID 0000-0002-0161-5010

Vladislav I. Kotelin — Cand. of Med. Sci., senior researcher, department of clinical physiology of vision named after S.V. Kravkov, ORCID 0000-0003-4675-9648

Natalia V. Neroeva — Dr. of Med. Sci., leading researcher, head of the department of pathology of the retina and optic nerve, ORCID 0000-0003-1038-2746

Natalia B. Chesnokova — Dr. of Biol. Sci., professor, chief specialist of the department of pathophysiology and biochemistry, ORCID 0000-0002-7856-8005

Anastasia N. Zhuravleva — Cand. of Med. Sci., senior researcher, department of glaucoma, ORCID 0000-0002-5926-6132

Natalia V. Balatskaya — Cand. of Biol. Sci., leading researcher, head of the department of immunology and virology, ORCID 0000-0001-8007-6643

Marina V. Ryabina — Cand. of Med. Sci., senior researcher, department of pathology of the retina and optic nerve, ORCID 0000-0001-7961-8695

For contacts: Marina V. Zueva, visionlab@yandex.ru