



<https://doi.org/10.21516/2072-0076-2026-19-1-91-98>

Роль морфометрических и биомеханических параметров роговицы в мониторинге глаукомы

А.В. Малышев^{1,2}, А.С. Апостолова^{1,3✉}, А.А. Сергиенко^{1,4}, А.Ф. Тешев^{1,5},
Г.Ю. Карапетов^{1,2}, М.К. Ашхамахова^{1,5}, Б.Н. Хацукова^{1,5}

¹ ФГБОУ ВО «Майкопский государственный технологический университет» ул. Первомайская, д. 191, Майкоп, Республика Адыгея, 385000, Россия

² ГБУЗ «Научно-исследовательский институт — Краевая клиническая больница № 1 им. профессора С.В. Очаповского», ул. 1 Мая, д. 167, Краснодар, 350086, Россия

³ Клиника заботы о зрении «ЗЗ», ул. Красных Партизан, д. 18, Краснодар, 350047, Россия

⁴ ГБУЗ «Детская Краевая клиническая больница» Минздрава Краснодарского края, пл. Победы, д. 1, Краснодар, 350007, Россия

⁵ ГБУЗ РА «Адыгейская республиканская клиническая больница», ул. Жуковского, д. 4, Майкоп, 385000, Россия

Цель работы — изучить роль морфометрических и биомеханических показателей роговицы в диагностике и мониторинге глаукомы. **Материал и методы.** Обследованы 463 глаза пациентов в возрасте от 17 до 94 лет: 18 глаз молодых здоровых лиц (без глаукомы), 91 глаз без псевдоэксфолиативного синдрома (ПЭС) старшей возрастной группы, 33 глаза без глаукомы с ПЭС, 30 глаз лиц молодого возраста с близорукостью, 69 глаз с первичной открытоугольной глаукомой, 81 глаз с псевдоэксфолиативной глаукомой, 60 глаз с глаукомой низкого давления, 62 глаза с синдромом пигментной дисперсии, 19 глаз с ювенильной глаукомой. Во всех случаях глаукома была компенсирована. С помощью CorVis ST (Oculus) определяли внутриглазное давление (ВГД) с учетом биомеханических свойств фиброзной оболочки глаза (bIOP), а также биомеханические показатели: DA Ratio, Integr. Radius (IR), SP-A1, SSI. **Результаты.** Выявлена зависимость между центральной толщиной роговицы (ЦТР) и развитием глаукомы ($r = -0,244$, $p = 0,000$), а также уровнем ВГД, измеренным стандартной бесконтактной тонометрией ($r = 0,301$, $p = 0,000$). Установлено, что с возрастом снижается ЦТР ($r = -0,205$, $p = 0,000$) и bIOP ($r = -0,111$, $p = 0,012$) и увеличивается SSI ($r = 0,516$, $p = 0,000$). DA Ratio и IR связаны с bIOP ($r = -0,647$ и $r = -0,652$ соответственно, $p = 0,000$) и с ЦТР ($r = -0,449$ и $r = -0,456$ соответственно, $p = 0,000$). DA Ratio снижается при старении ($r = 0,108$, $p = 0,016$), IR не изменяется ($p = 0,208$). SP-A1 увеличивается при росте bIOP ($r = 0,481$, $p = 0,000$) и при «толстых» роговицах ($r = 0,421$, $p = 0,000$). Индекс SSI взаимосвязан с аксиальной длиной глаза и снижается при ее увеличении ($r = -0,441$, $p = 0,000$), он более высокий при «толстых» роговицах ($r = 0,142$, $p = 0,001$). **Заключение.** ЦТР является независимым фактором риска развития глаукомы, изменяется с возрастом и при развитии глаукомного поражения. Показатели жесткости роговицы важно оценивать в динамике для определения достижения толерантного ВГД.

Ключевые слова: первичная открытоугольная глаукома; глаукома низкого давления; центральная толщина роговицы; тонометрия; роговично-компенсированное давление; биомеханические свойства фиброзной оболочки глаза

Конфликт интересов: отсутствует.

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

Благодарность: исследование проводилось при поддержке гранта Минобрнауки России ФГБОУ ВО «МГТУ», приказ № 66 от 07.02.2014 (НП123-2024).

Для цитирования: Малышев А.В., Апостолова А.С., Сергиенко А.А., Тешев А.Ф., Карапетов Г.Ю., Ашхамахова М.К., Хацукова Б.Н. Роль морфометрических и биомеханических параметров роговицы в мониторинге глаукомы. Российский офтальмологический журнал. 2026; 19 (1): 91-8. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2026-19-1-91-98>

The role of morphometric and biomechanical parameters of the cornea in glaucoma monitoring

Aleksey V. Malyshev^{1,2}, Anastasia S. Apostolova^{1,3}✉, Aleksey A. Sergienko^{1,4}, Adam F. Teshev^{1,5}, Garry Yu. Karapetov^{1,2}, Marina K. Ashkhamakhova^{1,5}, Bella N. Hatsukova^{1,5}

¹ Maykop State Technological University, 192, Pervomaiskaya st., Maykop, Adygea Republic, 385000, Russia

² Scientific Research Institution — S.V. Ochapovsky Regional Clinic Hospital No. 1, 167, May St., Krasnodar, 350086, Russia

³ Vision care clinic “3Z”, 18, Krasnykh Partizan St., Krasnodar, 350047, Russia

⁴ Children’s Regional Clinical Hospital, Ministry of Health of the Krasnodar Territory, 1, Pobedy Square, Krasnodar, 1350007, Russia

⁵ Adygean Republican Clinical Hospital of the Republic of Adygea, 4, Zhukovsky St., Maikop, 385000, Russia
apostolovan@mail.ru

Purpose: to study the role of morphometric and biomechanical parameters of the cornea in the diagnosis and monitoring of glaucoma. **Materials and methods.** A total of 463 eyes of patient aged 17 to 94 years were analyzed: 18 healthy, without glaucoma, without PEX of the older age group — 91, without glaucoma with PEX — 33, young myopic — 30, with POAG — 69, with primary open-angle pseudoexfoliation glaucoma (PXG) — 81, with normal tension glaucoma (NTG) — 60, with pigment dispersion syndrome — 62, with juvenile glaucoma (JG) — 19. In case of glaucoma, it was compensated. IOP was studied taking into account the biomechanical properties of the fibrous membrane of the eye (bIOP), DA Ratio, Integr. Radius (IR), SP-A1, SSI. **Results.** There is a relationship between the central corneal thickness (CCT) and the development of glaucoma ($r = -0.244$, $p = 0.000$), IOP level measured by standard non-contact tonometry ($r = 0.301$, $p = 0.000$). It was found a decrease of CCT ($r = -0.205$, $p = 0.000$) and bIOP ($r = -0.111$, $p = 0.012$) with age. DA Ratio and Integr. Radius are associated with bIOP ($r = -0.647$ and $r = -0.652$, respectively, $p = 0.000$) and with CCT ($r = -0.449$ and $r = -0.456$, respectively, $p = 0.000$). DA Ratio decreases with patient aging ($r = 0.108$, $p = 0.016$), but IR does not change ($p = 0.208$). SP-A1 increases with increasing bIOP level ($r = 0.481$, $p = 0.000$), is higher with “thick” corneas ($r = 0.421$, $p = 0.000$). The SSI index is related to the axial length of the eye and decreases as it increases ($r = -0.441$, $p = 0.000$), is higher in “thick” corneas ($r = 0.142$, $p = 0.001$), and this index also increases with age ($r = 0.516$, $p = 0.000$). **Conclusions.** CCT is an independent risk factor for glaucoma development, undergoes changes with age and development of glaucomatous damage. Corneal rigidity indicators are important to evaluate dynamically to determine the achievement of tolerant IOP.

Keywords: central corneal thickness; tonometry; corneal-compensated pressure; biomechanical properties of the fibrous capsule of the eye; primary open-angle glaucoma; normal tension glaucoma

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.

Acknowledgment: the study was carried out with the support of the grant from the Ministry of Education and Science of Russia from the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “MSTU”, No. 66 of 02/07/2014 (NP123-2024)

For citation: Malyshev A.V., Apostolova A.S., Sergienko A.A., Teshev A.F., Karapetov G.Yu., Ashkhamakhova M.K., Hatsukova B.N. The role of morphometric and biomechanical parameters of the cornea in glaucoma monitoring. Russian ophthalmological journal. 2026; 19 (1): 91-8 (In Russ.). <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2026-19-1-91-98>

Роговица — это уникальная биологическая ткань с идеально построенной асферической формой, которая должна быть достаточно жесткой, чтобы противостоять внешним воздействиям и выдерживать внутриглазное давление (ВГД), не теряя своей топографии или прозрачности. Это возможно благодаря гистологической структуре роговицы, которая обуславливает ее сложные вязкоупругие свойства, которые играют важную роль в краткосрочной эластичности, а также в долгосрочных изменениях жесткости [1].

Многими авторами признана наиболее оптимальной методика измерения ВГД с возможностью получения роговично-компенсированного ВГД с помощью эласто-тонометрии и двунаправленной пневмоаппланации роговицы [2, 3]. На сегодняшний день одной из самых современных методик контроля ВГД является исследование при помощи анализатора биомеханических свойств фиброзной оболочки глаза с использованием технологии визуализации роговицы (CorVis ST, Oculus). При этом на сегодняшний день отсутствуют нормативные значения показателей био-

механических свойств роговицы и склеры для разных групп пациентов, в клинической практике полученные данные чаще всего сравнивают со среднестатистической нормой, в некоторых случаях дополнительно учитывают рефракцию и стадию глаукомы [4]. Однако структура роговицы может быть нарушена в некоторых клинических ситуациях, которые могут быть физиологическими, как в процессе старения, так и патологическими, как при развитии эктатических заболеваний, или вызванными операциями [5]. Эти события влияют на биомеханическое поведение роговицы и могут привести к изменениям ее геометрии и снижать точность измерения ВГД, влияя на тактику лечения глаукомы [6]. Помимо того, на показатели биомеханики роговицы оказывают влияние возраст, уровень ВГД, длительность гипотензивной терапии, длина переднезадней оси (ПЗО) глаза, объем передней камеры глаза, состояние глазной поверхности, наличие псевдоэксфолиативного синдрома, перенесенные кераторефракционные и антиглаукомные вмешательства в анамнезе [7, 8].

Таблица 1. Основные характеристики групп пациентов, включенных в исследование
Table 1. Main characteristics of the patients groups included in the study

Показатели Parameters	Здоровые Healthy	Без глаукомы, без ПЭС No glaucoma, no PEX	Без глаукомы с ПЭС No glaucoma with PEX	Миопия Myopia	ПОУГ POAG	ПЭГ PXG	ГНД NTG	СПД PDS	ЮГ UG
Возраст, лет Age, yrs	37,00 ± 1,93	61,97 ± 0,90	68,3 ± 1,4	40,27 ± 1,80	60,2 ± 1,0	68,93 ± 0,80	64,9 ± 1,3	35,0 ± 1,3	30,1 ± 1,5
ЦТР, мкм CCT, mm	566,9 ± 6,3	564,30 ± 4,26	557,82 ± 6,30	539,73 ± 18,80	559,4 ± 4,2	542,4 ± 3,7	513,43 ± 3,90	556,98 ± 5,10	558,32 ± 6,80
ПЗО, мм AL, mm	23,29 ± 0,13	23,05 ± 0,07	23,41 ± 0,15	25,71 ± 0,25	23,33 ± 0,16	23,63 ± 0,12	24,53 ± 0,18	25,51 ± 0,10	25,81 ± 0,34

Примечание. ПЭС — псевдоэкссфолиативный синдром, ПОУГ — первичная открытоугольная глаукома, ПЭГ — псевдоэкссфолиативная глаукома, ГНД — глаукома низкого давления, СПД — синдром пигментной дисперсии, ЮГ — ювенильная глаукома, ЦТР — центральная толщина роговицы, ПЗО — переднезадняя ось глаза.

Note. PEX — pseudoexfoliative syndrome, POAG — primary open-angle glaucoma, PXG — pseudoexfoliative glaucoma, NTG — normal tension glaucoma, PDS — pigment dispersion syndrome, UG — uvenil glaucoma, CCT — central corneal thickness, AL — axial length.

В России, по данным статистики, от глаукомы страдает около 1 млн человек, а среди 218 тыс. слепых и слабовидящих значительная доля приходится на больных глаукомой. В Краснодарском крае на долю глаукомы приходится не менее трети всех случаев первичного выхода на инвалидность.

За последние десятилетия возрос интерес к оценке биомеханики роговицы при различных заболеваниях, в том числе при глаукоме. Учитывая взаимодействие и структурную непрерывность между роговицей и склерой, можно предположить, что оценка биомеханики роговицы может продвинуть нас в понимании патогенеза, диагностики, определения прогрессирования и лечения глаукомы. Поэтому некоторые специалисты рекомендуют базовую оценку биомеханики роговицы у всех пациентов с глаукомой и подозрением на глаукому. По некоторым данным, исследования могут ограничиваться включением пациентов с глаукомой, принимающих местные аналоги простагландинов, которые могут изменять биомеханику роговицы и способствовать противоречивым результатам и неправильной их интерпретации на основе факторов, которые искажаются изменениями ВГД [9].

Таблица 2. Характеристика групп пациентов с глаукомой
Table 2. Characteristics of groups of patients with glaucoma

Показатели Parameters	ПОУГ POAG	ПЭГ PXG	ГНД NTG	ПГ PG	ЮГ UG
ВГД Po, мм рт. ст. IOP Po, mm Hg	20,81 ± 1,10	20,91 ± 0,90	15,08 ± 0,40	20,11 ± 1,65	20,94 ± 1,90
bIOP, мм рт. ст. bIOP, mm Hg	18,15 ± 0,80	18,7 ± 0,6	14,14 ± 0,20	18,29 ± 1,30	18,4 ± 1,3
Начальная, % Initial stage, %	55	41	23	42,5	42
Развитая, % Advanced stage, %	20	30	42	42,5	31,5
Далеко зашедшая, % Developed stage, %	17,5	20	32	9,5	21
Терминальная, % Terminal stage, %	7,5	9	3	5,5	5,5

Примечание. ПОУГ — первичная открытоугольная глаукома, ПЭГ — псевдоэкссфолиативная глаукома, ГНД — глаукома низкого давления, ПГ — пигментная глаукома, ЮГ — ювенильная глаукома, ВГД Po — ВГД, измеренное методом стандартной бесконтактной тонометрии; bIOP — ВГД с учетом биомеханических свойств фиброзной оболочки глаза.

Note. POAG — primary open-angle glaucoma, PXG — pseudoexfoliative glaucoma, NTG — normal tension glaucoma, PG — pigmentary glaucoma, UG — juvenile glaucoma, IOP Po — intraocular pressure, measured by standard non-contact tonometry; bIOP — IOP taking into account the biomechanical properties of the fibrous capsule of the eye.

Оценка биомеханических параметров роговицы и других показателей позволяет дополнительно оценить риски прогрессирования глаукомы, чему посвящен ряд научных работ [2], может быть полезна для оценки состояния и тяжести глаукомы и дифференцировки клинических типов заболевания [10].

ЦЕЛЬ работы — изучить роль и влияние на диагностику и мониторинг глаукомы морфометрических и биомеханических показателей роговицы.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Проанализированы данные 463 глаз пациентов в возрасте от 17 до 94 лет, включавшие 18 здоровых глаз; без глаукомы и псевдоэкссфолиативного синдрома (ПЭС) старшей возрастной группы — 91 глаз; без глаукомы с ПЭС — 33 глаза; молодых близоруких пациентов — 30 глаз; с первичной открытоугольной глаукомой (ПОУГ) — 69 глаз; с псевдоэкссфолиативной глаукомой (ПЭГ) — 81 глаз; с глаукомой низкого давления (ГНД) — 60 глаз; с синдромом пигментной дисперсии — 62 глаза; с ювенильной глаукомой — 19 глаз.

Группы пациентов различались по возрасту, центральной толщине роговицы (ЦТР) и ПЗО глаза (табл. 1). Женщин было в два раза больше — 347 (68 %), чем мужчин — 163 (32 %). Глаза после перенесенной радиальной кератотомии были исключены в связи с выраженными изменениями роговицы, не позволявшими ее сравнивать с неоперированными глазами.

Пациенты с глаукомой на момент проведения исследования имели компенсированный уровень ВГД, распределение по тяжести заболевания представлено в таблице 2.

Диагностическое обследование на глаукому включало визометрию, тонометрию, пахиметрию, гоноскопию, оптическую когерентную томографию (Cirrus HD-OCT 5000, Carl Zeiss), стандартную автоматизированную периметрию (САП) на периметре TomeyAP-1000 по программе «Глаукома скрининг». Биометрические параметры глаза оценивали на при-

боре ZeissIOLMaster 700. Стандартная бесконтактная тонометрия проводилась на приборе Reichert 7 CR с возможностью получения роговично-компенсированного давления. В комплекс обследования входил также осмотр лазерного хирурга с оценкой угла передней камеры (УПК) — степени его открытости (по Шафферу), степени и характера пигментации (класс пигментации по Шейе) и конфигурации корня радужной оболочки. Томографию роговицы и биомеханические параметры определяли с помощью Pentacam (Oculus) и CorVis ST соответственно.

Мы оценивали следующие биомеханические параметры: DA Ratio — соотношение амплитуды деформации центральной вершины роговицы и величины средней деформации двух точек, расположенных на расстоянии 2 мм по обе стороны от вершины (назально и темпорально). Этот показатель позволяет судить о степени жесткости роговицы. Чем жестче роговица, т. е. более устойчива к деформациям, тем меньше разброс значений в центре и 2-мм зоне, тем выше уровень ВГД и ниже показатель DA, а у эластичной роговицы, наоборот, DA выше, и за счет способности к деформациям она нивелирует скачки ВГД и тем самым компенсирует возможный его рост. Integr. Radius (IR) — радиус роговицы, вписанный в вогнутую поверхность, или обратное значение вписанного радиуса кривизны роговицы. Рассчитывается центральный радиус кривизны роговицы во время вогнутой фазы деформации, затем рассчитывается обратный радиус (1/R) и площадь под ним, определяется кривая зависимости радиуса от времени. Эта область называется интегрированным радиусом. Чем меньше вдавливание (т. е. «жесткая» роговица), тем больше радиус вдавливания, значит, обратное значение этого радиуса меньше. SP-A1 — параметр жесткости для количественной оценки сопротивления роговицы деформации, определяемый как отношение нагрузки давления на роговицу к смещению между вершиной недеформированной роговицы и отклонению при первой аппланации, который измеряется в мм рт. ст. / мм. Этот параметр описывают как смещение между вершиной роговицы в недеформированном состоянии и смещением роговицы при первой аппланации, что является полезным индикатором устойчивости роговицы к деформации. Данный показатель отражает жесткость роговицы и внутреннюю биомеханику. У представленных выше трех биомеханических показателей (DA Ratio, Integr. Radius и SP-A1) в протоколе исследования помимо числовых значений представлено стандартное отклонение (SD) средних значений в нормативной базе. Если SD стремится к 0-му значению, это говорит о среднем значении жесткости и косвенно свидетельствует о толерантном ВГД, если SD отклоняется в отрицательные значения, мы имеем дело с увеличением жесткости ткани, и наоборот. Stress Strain Index (SSI) — индекс напряжения и деформации, используется для оценки внутренней жесткости материала (ткани роговицы). Этот фактор был принят за 1,0 для среднего экспериментального поведения, полученного для ткани роговицы пациента в возрасте 50 лет [11], который основан на входных и выходных параметрах численного моделирования ЦТР, биомеханически скорректированного ВГД и SP (параметра жесткости) при максимальной вогнутости роговицы. BGF — биомеханический глаукомный фактор — это показатель, характеризующий риск развития глаукомы при низких цифрах ВГД. Его определение можно считать скринингом на ГНД. Полученные значения BGF корректны только в случае нормального офтальмотонуса, по представленной шкале значения до 0,25 — риска развития глаукомы нет, 0,25–0,50 — минимальный риск развития глаукомы, более 0,50 — высокий риск развития глаукомы при низком ВГД.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для реализации цели исследования мы изучили зависимость ЦТР от различных показателей, таких как стадия глаукомы, уровень ВГД, определенный различными методами, возраст пациента.

Анализ показал высокую достоверную обратную корреляцию между толщиной роговицы и развитием глаукомы ($r = -0,244$, $p = 0,000$), что согласуется со многими зарубежными результатами [12, 13], которые рассматривают ЦТР как независимый фактор риска развития глаукомы и демонстрируют, что самые высокие глаукомные риски у пациентов с «тонкой» роговицей в сравнении со «средней» и «толстой» [14]. Так как в нашем исследовании контроль ВГД осуществлялся у пациентов посредством bIOP, который не зависит от ЦТР ($r = 0,023$, $p = 0,600$), полученные нами данные также могут свидетельствовать о том, что в глазах с «тонкими» роговицами глаукомный процесс развивается чаще.

Выявлена также высокая достоверная корреляция между ЦТР и уровнем ВГД, полученным стандартной бесконтактной тонометрией ($r = 0,301$, $p = 0,000$) (рис. 1). При этом между ЦТР и bIOP взаимосвязи не обнаружено ($r = 0,046$, $p = 0,305$) (рис. 2).

Помимо того, мы получили высокую достоверную обратную корреляцию между толщиной роговицы и возрастом ($r = -0,205$, $p = 0,000$) (рис. 3), что создает необходимость пересмотра давления цели у глаукомного пациента в зависимости от возраста.

Интересно, что мы не получили взаимосвязи между возрастом и уровнем ВГД, полученным стандартной бесконтактной тонометрией ($r = -0,024$, $p = 0,587$), вне зависимости от того, есть глаукома у пациентов или нет. Тогда как в случае с bIOP получена обратная корреляция с возрастом ($r = -0,111$, $p = 0,012$), что указывает на то, что с возрастом биомеханические свойства роговицы изменяются, и это находит свое отражение в уровне ВГД, измеренного с учетом этих свойств, тогда как при стандартной тонометрии их влияние невозможно

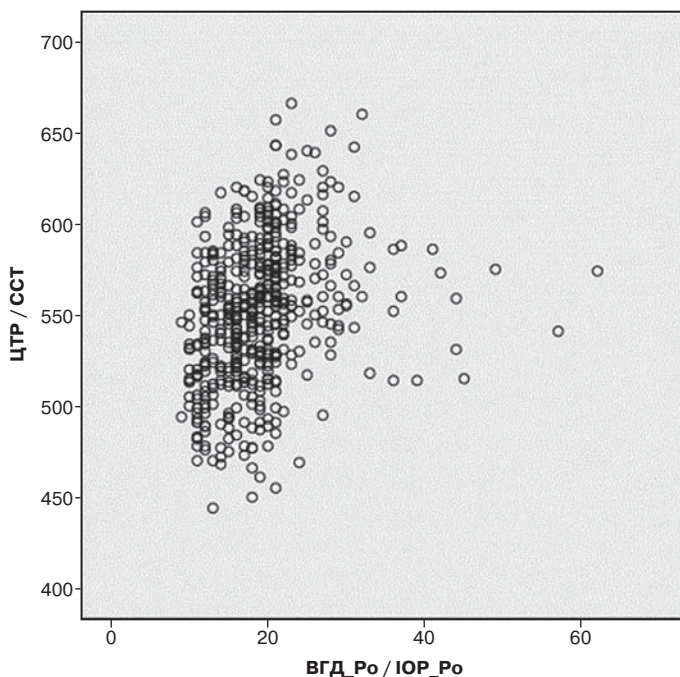


Рис. 1. Связь ВГД, полученного с помощью стандартной бесконтактной тонометрии, с центральной толщиной роговицы

Fig. 1. Relation between IOP measured using standard non-contact tonometry (abscissa axis) and central corneal thickness (ordinate axis)

но оценить. При этом достоверность корреляции обеспечивалась пациентами без глаукомы ($r = -0,307$, $p = 0,000$), в отличие от пациентов с глаукомой, где зависимости не выявлено ($r = -0,033$, $p = 0,596$). Данный факт можно объяснить тем, что пациенты без глаукомы имеют больший разброс возраста и они моложе — $54,95 \pm 1,03$ года против пациентов без глаукомы, которым в среднем было $59,6 \pm 0,9$ года ($p = 0,001$). При этом есть данные, свидетельствующие о повышении ВГД у пациентов с глаукомой с возрастом [14]. Опубликованы также данные о том, что ВГД не зависит от возраста, но зависит от пола: у женщин выше [15]. Есть указания на то, что в здоровых глазах и после 45 лет нет значимых изменений уровней ригидности, флуктуации и ВГД по Гольдману, измеренных с помощью ORA [16].

С возрастом роговица становится жесткой и менее упругой, что приводит к уменьшению корнеального гистерезиса [17], который на сегодняшний день рассматривается как один из важнейших показателей развития и прогрессирования глаукомы [18]. Структурно-биомеханические изменения фиброзной оболочки глаза, связанные с возрастом, затрагивают все соединительнотканые компоненты, а также компоненты межуточной субстанции [19]. Помимо изменений в процессе старения, при глаукоме нарушаются структурно-биомеханические свойства склеры в связи с увеличением поперечной связанности коллагена [20]. Эти изменения отражаются на функциональном состоянии роговицы и склеры, что необходимо учитывать при диагностике и мониторинге глаукомы.

Оценка взаимосвязи биомеханических показателей, отражающих состояние роговицы, с возрастом, уровнем ВГД, развитием глаукомы и морфометрическими характеристиками показала следующие результаты (табл. 3).

Из данных таблицы 3 видно, что показатели жесткости роговицы (DA Ratio и Integr. Radius) показывают более низкие значения при росте уровня ВГД, а также при больших значениях ЦТР, и наоборот. Отметим, что более высокие

показатели жесткости при более «толстой» роговице можно отнести к физиологической погрешности, тогда как в случае повышения ВГД эти изменения патологические. При снижении ВГД предполагается возрастание DA Ratio и Integr. Radius, и в случае достижения ими нормативных значений, что будет отражаться в динамике SD, можно рассматривать полученное при этом ВГД как давление цели. Взаимосвязи между DA Ratio и Integr. Radius и ПЗО не выявлено, равно как и нет связи этих параметров с развитием глаукомы. Интересно, что смещаемость роговицы в центральной зоне снижается при старении пациентов, однако обратный радиус, вписанный в эту окружность вдавления, не изменяется.

Мы также прослеживаем закономерности в отношении параметра SP-A1, который увеличивается с ростом уровня ВГД и выше при «толстых» роговицах. Потому снижение этого параметра также важно оценивать как критерий достижения давления цели. При этом взаимосвязи с другими клиническими параметрами (ПЗО, возраст, глаукома) не получено. Ранее также было показано, что SP-A1 зависит от уровня ВГД и ЦТР [21]. Считается, что более высокая жесткость роговицы отражает более высокую перипапиллярную жесткость склеры и, следовательно, большую уязвимость зрительного нерва [22].

Значение SSI не связано с уровнем биомеханически скорректированного ВГД и развитием глаукомы. Данный параметр снижается при увеличении ПЗО, он более высокий при «толстых» роговицах, что важно при оценке возможного целевого значения ВГД в конкретной клинической ситуации. А также данный индекс увеличивается при старении, что очередной раз демонстрирует зависимость биомеханики глаза от возраста. Данный факт также определяет необходимость пересмотра давления цели в более низкие значения с увеличением возраста пациента. В ранее проведенных работах зарубежных авторов также есть указания на корреляцию биомеханического индекса SSI с возрастом, однако отмечается, что это значимо для возраста выше 50 лет и здорового эмме-

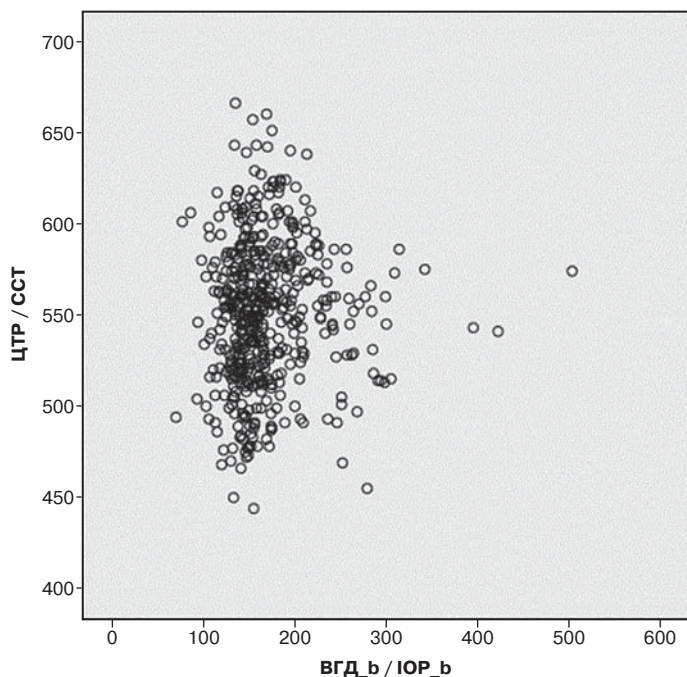


Рис. 2. Связь роговично-компенсированного внутриглазного давления с центральной толщиной роговицы

Fig. 2. Relation between IOP corneal-compensated intraocular pressure (abscissa axis) and the central corneal thickness (ordinate axis)

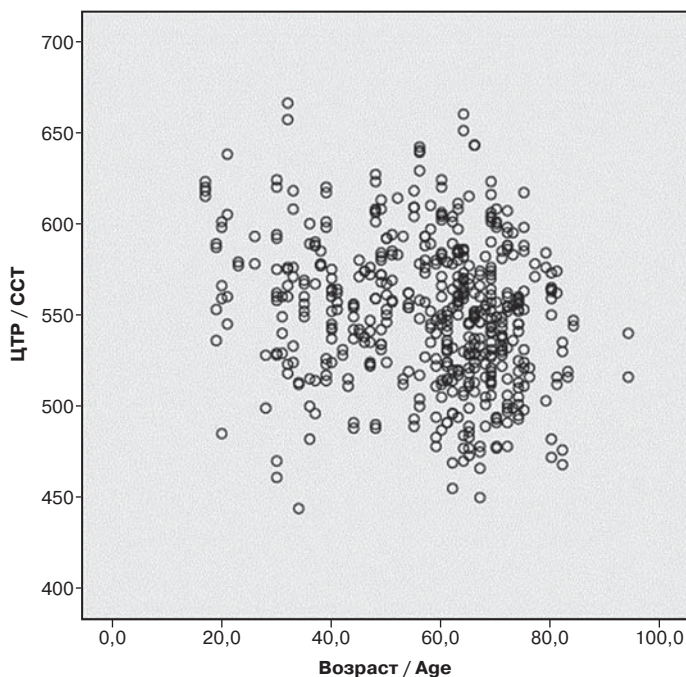


Рис. 3. Снижение центральной толщины роговицы с увеличением возраста

Fig. 3. Decrease of central corneal thickness (ordinate axis) with age (abscissa axis)

Таблица 3. Зависимость биомеханических показателей роговицы от различных клинических параметров
Table 3. Dependence of biomechanical parameters of the cornea on various clinical parameters

Показатели Parameters	ВГД Po, мм рт. ст. IOP Po, mm Hg	bIOP, мм рт. ст. bIOP, mm Hg	ПЗО, мм AL, mm	ЦТР, мкм CCT, mm	Возраст, лет Age, yrs	Глаукома Glaucoma
DA Ratio	$r = -0,672$ $p = 0,000$	$r = -0,647$ $p = 0,000$	$r = -0,036$ $p = 0,422$	$r = -0,449$ $p = 0,000$	$r = 0,108$ $p = 0,016$	$r = 0,050$ $p = 0,259$
Integr. Radius (IR), мм Integr. Radius (IR), mm	$r = -0,703$ $p = 0,000$	$r = -0,652$ $p = 0,000$	$r = -0,002$ $p = 0,969$	$r = -0,465$ $p = 0,000$	$r = 0,056$ $p = 0,208$	$r = 0,056$ $p = 0,213$
SP-A1, рт. ст. / мм SP-A1, Hg / mm	$r = 0,514$ $p = 0,000$	$r = 0,481$ $p = 0,000$	$r = -0,012$ $p = 0,781$	$r = 0,421$ $p = 0,000$	$r = 0,050$ $p = 0,263$	$r = -0,003$ $p = 0,944$
SSI	$r = 0,193$ $p = 0,000$	$r = 0,047$ $p = 0,297$	$r = -0,441$ $p = 0,000$	$r = 0,142$ $p = 0,001$	$r = 0,516$ $p = 0,000$	$r = -0,008$ $p = 0,856$

Примечание. ВГД Po — ВГД, измеренное методом стандартной бесконтактной тонометрии; bIOP — ВГД с учетом биомеханических свойств фиброзной оболочки глаза, ПЗО — переднезадняя ось глаза, ЦТР — центральная толщина роговицы, DA Ratio — соотношение между амплитудой деформации роговицы на вершине и в 2-мм зоне; Integr. Radius (IR) — радиус роговицы, вписанный в вогнутую поверхность; SP-A1 — разность между силой воздушного импульса на поверхности роговицы и биомеханически скорректированным ВГД; SSI — индекс напряжения-деформации.

Note. IOP Po — intraocular pressure, measured by standard non-contact tonometry; bIOP — IOP taking into account the biomechanical properties of the fibrous capsule of the eye, CCT — central corneal thickness, AL — axial length, DA Ratio — the ratio between the amplitude of deformation of the cornea at the apex and in the 2-millimeter zone, Integr. Radius (IR) — radius of the cornea inscribed in a concave surface; SP-A1 — difference between the strength of the air pulse on the surface of the cornea and the biomechanically corrected IOP; SSI — stress-strain index.

тропического глаза [11], тогда как в нашем случае исследование проводилось на более разнородной выборке пациентов.

В одном из недавних исследований авторы изучали множество биомеханических параметров (длину, скорость и время первой и второй аппланации роговицы, наибольший радиус вогнутости, наибольшее пиковое расстояние вогнутости, наибольшую амплитуду деформации вогнутости, наибольшее время вогнутости, SSI, SP-A1, отношение DA, IR и биомеханически скорректированные значения ВГД) до и после назначения гипотензивного режима у пациентов с глазной гипертензией. Показано, что после 5 нед лечения показатели SSI, SP-A1 и другие уменьшились, а DA, IR и другие значительно увеличились ($p < 0,05$). Отмечено также, что SP-A1 был значимо и последовательно связан с ВГД и может служить потенциальными биомаркером для оценки эффективности гипотензивного лечения [21]. Эти данные согласуются с полученными нами результатами в полной мере. В одном из зарубежных исследований авторы связывают индекс жесткости SSI с прогрессированием изменений светочувствительности сетчатки при глаукоме. Такие выводы сделаны на основании анализа 63 глаз с вновь выявленной глаукомой, 47 из которых были со стабильным течением и 16 глаз с прогрессирующим — по результатам исследования поля зрения. После месяца лечения аналогами простагландинов индекс SSI в глазах с прогрессирующей глаукомой был достоверно выше при равных значениях ВГД [23].

Помимо изменений, вносимых в биомеханику роговицы возрастом, уровнем ВГД и другими параметрами, необходимо рассматривать такие изменения, как самостоятельный маркер клинических вариантов глаукомы. В наблюдательном исследовании 209 глаз разделили на четыре группы: высокая миопия и ПОУГ, высокая миопия без ПОУГ, эметропия с ПОУГ, эметропия без глаукомы. Выявлено, что биомеханика роговицы различается в глазах с глаукомой в основном при миопии, была также построена биомеханическая модель, скорректированная с учетом миопии высокой степени, для правильного прогнозирования глаукоматозного поражения с общей вероятностью более 90 % [24]. В одном из недавних исследований, которое включало 156 глаз (41 глаз с глаукомой высокого давления, 33 глаза с глаукомой низкого давления, 45 случаев с офтальмогипертензией и 37 контрольных), авторы подчеркивают, что роговица при ГНД значительно мягче и более деформируемая, чем в контрольной

группе, при офтальмогипертензии и ГНД, о чем свидетельствуют значительно более низкие значения параметров жесткости (SP-A1 и DA Ratio) и более высокие значения IR ($p < 0,05$). Выявлена значимая корреляция ($p < 0,05$) между MD, PSD и более мягкой или более податливой роговицей, при которой чаще наблюдались дефекты поля зрения. Из исследования следует вывод, что биомеханика роговицы может быть значительным искажающим фактором показателей ВГД, который следует учитывать при принятии клинических решений, а аномалия биомеханики роговицы у пациентов с ГНД и значимая корреляция с параметрами поля зрения могут указывать на риск развития или прогрессирования данного вида глаукомы [25]. В другом исследовании авторы получили сходный результат: роговица при ГНД более деформируемая, чем в здоровых глазах и при глаукоме высокого давления. Время аппланации достоверно связано с глаукоматозным дефектом поля зрения при ГНД, тогда как ПЗО — с тяжестью глаукомы [26]. Данные результаты в полной мере согласуются с полученными ранее данными, демонстрирующими значительные биомеханические и структурные отличия ГНД от ПОУГ [27].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате нашего исследования выявлена зависимость между ЦТР и развитием глаукомы в ($r = -0,244$, $p = 0,000$), что позволяет рассматривать «тонкие» роговицы как независимый фактор риска развития глаукомы. ЦТР также оказалась связана с уровнем ВГД, определенным с помощью стандартной бесконтактной тонометрии ($r = 0,301$, $p = 0,000$), тогда как с bIOP взаимосвязи не получено ($r = 0,046$, $p = 0,305$). Помимо того, оказалось, что с возрастом ЦТР снижается ($r = -0,205$, $p = 0,000$), что создает необходимость пересмотра давления цели в зависимости от возраста. Не выявлено взаимосвязи между возрастом и уровнем ВГД при использовании стандартной бесконтактной тонометрии, $r = -0,024$, $p = 0,587$, а в случае с bIOP обратная корреляция с возрастом получена ($r = -0,111$, $p = 0,012$) за счет пациентов без глаукомы, что указывает на то, что с возрастом биомеханические свойства роговицы изменяются, и это вносит свои изменения в биомеханически скорректированный уровень офтальмотонуса. Показатели жесткости роговицы (DA Ratio и Integr. Radius) показывают более низкие значения при возрастании уровня ВГД ($p = 0,000$),

а также при больших значениях ЦТР ($p = 0,000$), и наоборот. Возрастание DA Ratio и Integr. Radius и достижение ими нормативных значений возможно использовать для контроля достижения толерантного ВГД. Отметим тот факт, что смещаемость роговицы в центральной зоне (DA Ratio) снижается при старении пациента ($p = 0,016$), однако обратный радиус, вписанный в эту окружность давления (IR), не изменяется, ($p = 0,208$). Параметр общей жесткости SP-A1 увеличивается при возрастании уровня ВГД, выше при «толстых» роговицах, потому его снижение также важно оценивать в динамике как критерий достижения давления цели. Значение SSI взаимосвязано с аксиальной длиной глаза и снижается при больших ее значениях ($p = 0,000$), оно выше при «толстых» роговицах ($p = 0,001$), что важно для оценки возможного целевого значения ВГД в конкретной клинической ситуации. Кроме того, данный индекс увеличивается с возрастом, что определяет необходимость пересмотра давления цели в сторону более низких значений с увеличением возраста пациента в связи с изменением биомеханики фиброзной оболочки глаза в таких случаях.

ЦТР является независимым фактором риска развития глаукомы, претерпевает изменения с возрастом, при развитии глаукомных изменений в глазу. Показатели жесткости роговицы важно оценивать в динамике для определения достижения толерантного ВГД. С учетом взаимосвязи ЦТР и ее биомеханических показателей с возрастом важно пересматривать давление цели в сторону снижения при старении пациентов.

Литература/References

- Meek KM, Knupp C. Corneal structure and transparency. *Prog Retin Eye Res*. 2015 Nov; 49: 1–16. doi: 10.1016/j.preteyeres.2015.07.001
- Luce DA. Determining in vivo biomechanical properties of the cornea with an ocular response analyzer. *J Cataract Refract Surg*. 2005 Jan; 31 (1): 156–62. doi: 10.1016/j.jcrs.2004.10.044
- Аветисов С.Э., Бубнова И.А., Антонов А.А. Исследование влияния биомеханических свойств роговицы на показатели тонометрии. *Бюл. СО РАМН*. 2009; 138 (4): 30–3. [Avetisov S.E., Bubnova I.A., Antonov A.A. Study of the influence of the biomechanical properties of the cornea on tonometry parameters. *Bulletin CO RAMS*. 2009. 138 (4). 30–3 (In Russ.)].
- Francis BA, Wang M, Lei H, et al. Changes in axial length following trabeculectomy and glaucoma drainage device surgery. *Br J Ophthalmol*. 2005 Jan; 89 (1): 17–20. doi: 10.1136/bjo.2004.043950
- Dawson DG, Randleman JB, Grossniklaus HE, et al. Corneal ectasia after excimer laser keratorefractive surgery: histopathology, ultrastructure, and pathophysiology. *Ophthalmology*. 2008 Dec; 115 (12): 2181–91.e1. doi: 10.1016/j.ophtha.2008.06.008
- Okafor KC, Brandt JD. Measuring intraocular pressure. *Curr Opin Ophthalmol*. 2015 Mar; 26 (2): 103–9. doi: 10.1097/ICU.0000000000000129
- Pradhan ZS, Deshmukh S, Dixit S, et al. A comparison of the corneal biomechanics in pseudoexfoliation glaucoma, primary open-angle glaucoma and healthy controls using Corvis ST. *PLoS One*. 2020 Oct 26; 15 (10): e0241296. doi: 10.1371/journal.pone.0241296. eCollection 2020
- Wu N, Chen Y, Yang Y, Sun X. The changes of corneal biomechanical properties with long-term treatment of prostaglandin analogue measured by Corvis ST. *BMC Ophthalmol*. 2020 Oct 20; 20 (1): 422. doi: 10.1186/s12886-020-01693-6
- Shen SR, Fleming GP, Jain SG, Roberts CJ. A review of corneal biomechanics and scleral stiffness in topical prostaglandin analog therapy for glaucoma. *Curr Eye Res*. 2023 Feb; 48 (2): 172–81. doi: 10.1080/02713683.2022.2099903
- Zarei R, Zamani MH, Eslami Y, et al. Comparing corneal biomechanics and intraocular pressure between healthy individuals and glaucoma subtypes: A cross-sectional study. *Ann Med Surg (Lond)*. 2022 Sep 15; 82: 104677. doi: 10.1016/j.amsu.2022.104677
- 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*. May 2019; 7: 105. doi: 10.3389/fbioe.2019.00105
- Kass MA, Heuer DK, Higginbotham EJ, et al. The ocular hypertension treatment study: a randomized trial determines that topical ocular hypotensive medication delays or prevents the onset of primary open-angle glaucoma. *Arch Ophthalmol*. 2002 Jun; 120 (6): 701–13; discussion 829–30. doi: 10.1001/archophth.120.6.701
- Medeiros FA, Weinreb RN. Is corneal thickness an independent risk factor for glaucoma? *Ophthalmology*. 2012 Mar; 119 (3): 435–6. doi: 10.1016/j.ophtha.2012.01.018
- Gordon MO, Beiser JA, Brandt JD, et al. The ocular hypertension treatment study: baseline factors that predict the onset of primary open-angle glaucoma. *Arch Ophthalmol*. 2002 Jun; 120 (6): 714–20; discussion 829–30. doi: 10.1001/archophth.120.6.714
- Eysteinnsson T, Jonasson F, Sasaki H, et al; Reykjavik Eye Study Group. Central corneal thickness, radius of the corneal curvature and intraocular pressure in normal subjects using non-contact techniques: Reykjavik Eye Study. *Acta Ophthalmol Scand*. 2002 Feb; 80 (1): 11–5. doi: 10.1034/j.1600-0420.2002.800103.x
- Светлова О.В., Кошиц И.Н., Панкратов Р.М., Макаровская О.В., Засеева М.В. Об адекватных зонах истинного ВГД в здоровых и глаукомных глазах. *Национальный журнал Глаукома*. 2023; 22 (1): 3–23. [Svetlova O.V., Koshits I.N., Pankratov R.M., Makarovskaya O.V., Zaseeva M.V. On adequate zones of true intraocular pressure in healthy and glaucoma eyes. *National Journal glaucoma*. 2023; 22 (1): 3–23 (In Russ.)]. <https://doi.org/10.53432/2078-4104-2023-22-1-3-23>
- Murphy ML, Pokrovskaya O, Galligan M, O'Brien C. Corneal hysteresis in patients with glaucoma-like optic discs, ocular hypertension and glaucoma. *BMC Ophthalmol*. 2017 Jan 10; 17 (1): 1. doi: 10.1186/s12886-016-0396-9
- Zimprich L, Diedrich J, Bleeker A, Schweitzer JA. Corneal hysteresis as a biomarker of glaucoma: Current insights. *Clin Ophthalmol*. 2020 Aug 10; 14: 2255–64. doi: 10.2147/OPTH.S236114
- Иомдина Е.Н., Петров С.Ю., Антонов А.А., Новиков И.А., Пахомова И.А. Корнеосклеральная оболочка глаза: анализ структурно-биомеханических особенностей в возрастном аспекте. Обзор литературы. *Офтальмология*. 2016; 13 (1): 10–9. [Iomdina E.N., Petrov S.Yu., Antonov A.A., Novikov I.A., Pahomova I.A. The corneoscleral shell of the eye: an age-related analysis of structural biomechanical properties. Literature review. *Ophthalmology in Russia*. 2016; 13 (1): 10–9. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2016-1-10-19>
- Иомдина Е.Н., Арутюнян Л.Л., Игнатиева Н.Ю. Сравнительное изучение возрастных особенностей уровня поперечной связанности коллагена склеры пациентов с различными стадиями первичной открытоугольной глаукомы. *Российский офтальмологический журнал*. 2016; 9 (1): 19–26. [Iomdina E.N., Arutyunyan L.L., Ignatieva N.Yu. A comparative study of age-related level of sclera collagen crosslinking in patients with different stages of primary open angle glaucoma. *Russian Ophthalmological Journal*. 2016; 9 (1): 19–26 (In Russ.)]. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2016-9-1-19-26>
- Liu Q, Pang C, Liu C, et al. Correlations among corneal biomechanical parameters, stiffness, and thickness measured using Corvis ST and Pentacam in patients with ocular hypertension. *J Ophthalmol*. 2022 Dec 3; 2022: 7387581. doi: 10.1155/2022/7387581
- Qassim A, Mullany S, Abedi F, et al. Corneal stiffness parameters are predictive of structural and functional progression in glaucoma suspect eyes. *Ophthalmology*. 2021 Jul; 128 (7): 993–1004. doi: 10.1016/j.ophtha.2020.11.021
- Martinez-Sánchez MI, Bolívar G, Dastiridou A, Escámez P, Teus MA. Predictive value of dynamic corneal response parameters evaluated with Scheimpflug High-Speed Video (Corvis ST) on the visual field progression in prostaglandin treated ocular hypertension and open-angle glaucoma patients. *Ophthalmol Ther*. 2023 Dec; 12 (6): 3177–86. doi: 10.1007/s40123-023-00810-0
- Baptista PML, Ferreira AS, Silva NP, et al. Scheimpflug-based corneal biomechanical analysis as a predictor of glaucoma in eyes with high myopia. *Clin Ophthalmol*. 2024 Feb 22; 18: 545–63. doi: 10.2147/OPTH.S426635
- Vinciguerra R, Rehman S, Vallabh NA, et al. Corneal biomechanics and biomechanically corrected intraocular pressure in primary open-angle glaucoma, ocular hypertension and controls. *Br J Ophthalmol*. 2020 Jan; 104 (1): 121–6. doi: 10.1136/bjophthalmol-2018-313493
- Wu N, Chen Y, Sun X. Association between ocular biomechanics measured with Corvis ST and glaucoma severity in patients with untreated primary open angle glaucoma. *Transl Vis Sci Technol*. 2022 Jun 1; 11 (6): 10. doi: 10.1167/tvst.11.6.10
- Патент № 2823133 C1 Российская Федерация, МПК A61B 5/00, A61F 9/00. Способ прогнозирования риска развития глаукомы низкого давления: № 2023134091: заявл. 18.12.2023: опубли. 18.07.2024 / А.В. Малышев, А.С. Апостолова, А.А. Сергиенко [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Майкопский государственный технологический университет». — EDN SVYJUM. [Patent No. 2823133 C1 Russian Federation, IPC A61B 5/00, A61F 9/00. Method for predicting the risk of developing normal-tension glaucoma: No. 2023134091: declared 12/18/2023: published 07/18/2024 / A.V. Malyshev, A.S. Apostolova, A.A. Sergienko [et al.]; applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Maikop State Technological University». — EDN SVYJUM].

Вклад авторов в работу: все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией. А.В. Малышев — концепция и дизайн исследования; А.С. Апостолова — концепция и дизайн исследования, сбор и статистическая обработка данных, написание статьи; Г.Ю. Карапетов — сбор и обработка данных; А.Ф. Тешев — сбор и обработка данных, редактирование статьи; А.А. Сергиенко — написание и редактирование статьи; М.К. Ашхамыхова, Б.Н. Хацукова — редактирование статьи.

Author's contribution: all authors made a significant contribution to the development of the concept, conducting the study and preparing the article, read and approved the final version before publication. A.V. Malyshev — concept and design of the study; A.S. Apostolova — concept and design of the study, data collection and statistical processing, writing of the article; G.Yu. Karapetov — data collection and processing; A.F. Teshev — data collection and processing, editing of the article; A.A. Sergienko — writing and editing of the article; M.K. Ashkhamakhova, B.N. Khatsukova — editing of the article.

Поступила: 04.08.2024. Переработана: 05.09.2024. Принята к печати: 06.09.2024

Originally received: 04.08.2024. Final revision: 05.09.2024. Accepted: 06.09.2024

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ/INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

¹ ФГБОУ ВО «Майкопский государственный технологический университет» ул. Первомайская, д. 191, Майкоп, Республика Адыгея, 385000, Россия

² ГБУЗ «Научно-исследовательский институт — Краевая клиническая больница № 1 им. профессора С.В. Очаповского», ул. 1 Мая, д. 167, Краснодар, 350086, Россия

³ Клиника заботы о зрении «3Z», ул. Красных Партизан, д. 18, Краснодар, 350047, Россия

⁴ ГБУЗ Детская краевая клиническая больница Минздрава Краснодарского края, пл. Победы, д. 1, Краснодар, 350007, Россия

⁵ ГБУЗ РА «Адыгейская республиканская клиническая больница», ул. Жуковского, д. 4, Майкоп, 385000, Россия

Алексей Владиславович Малышев — д-р мед. наук, профессор, заведующий кафедрой офтальмологии¹, заведующий отделением офтальмологии², ORCID 0000-0002-1448-9690

Анастасия Станиславовна Апостолова — канд. мед. наук, доцент кафедры офтальмологии¹, врач-глаукоматолог³, ORCID 0009-0006-3177-4342

Алексей Анатольевич Сергиенко — канд. мед. наук, доцент кафедры офтальмологии¹, врач глазного отделения⁴

Адам Феликсович Тешев — доцент кафедры офтальмологии¹, заведующий отделением⁵

Гарри Юрьевич Карапетов — канд. мед. наук, доцент кафедры офтальмологии¹, врач глазного отделения²

Марина Кадыровна Ашхамыхова — ассистент кафедры офтальмологии¹, врач глазного отделения⁵

Белла Нальбиевна Хацукова — ассистент кафедры офтальмологии¹, врач глазного отделения⁵

Для контактов: Анастасия Станиславовна Апостолова, apostolovan@mail.ru

¹ Maykop State Technological University, 192, Pervomaiskaya st., Maykop, Adygea Republic, 385000, Russia

² Scientific Research Institution — S.V. Ochapovsky Regional Clinic Hospital No. 1, 167, May St., Krasnodar, 350086, Russia

³ Vision care clinic "3Z", 18, Krasnykh Partizan St., Krasnodar, 350047, Russia

⁴ Children's Regional Clinical Hospital, Ministry of Health of the Krasnodar Territory, 1, Pobedy Square, Krasnodar, 1350007, Russia

⁵ Adygean Republican Clinical Hospital of the Republic of Adygea, 4, Zhukovsky St., Maikop, 385000, Russia

Aleksey V. Malyshev — Dr. of Med. Sci., professor, head of chair of ophthalmology¹, head of the department of ophthalmology², ORCID 0000-0002-1448-9690

Anastasia S. Apostolova — Cand. of Med. Sci., assistant professor of chair of ophthalmology¹, glaucoma specialist³, ORCID 0009-0006-3177-4342

Aleksey A. Sergienko — Cand. of Med. Sci., assistant professor of chair of ophthalmology¹, ophthalmologist⁴

Adam F. Teshev — assistant professor of chair of ophthalmology¹, head of the ophthalmology department⁵

Garry Yu. Karapetov — Cand. of Med. Sci., assistant professor of chair of ophthalmology¹, ophthalmologist of the ophthalmology department²

Marina K. Ashkhamakhova — assistant professor of chair of ophthalmology¹, ophthalmologist of the ophthalmology department⁵

Bella N. Hatsukova — assistant professor of chair of ophthalmology¹, ophthalmologist of the ophthalmology department⁵

For contacts: Anastasia S. Apostolova, apostolovan@mail.ru