

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 персонализированному 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: молодой возраст (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 applanation, 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,

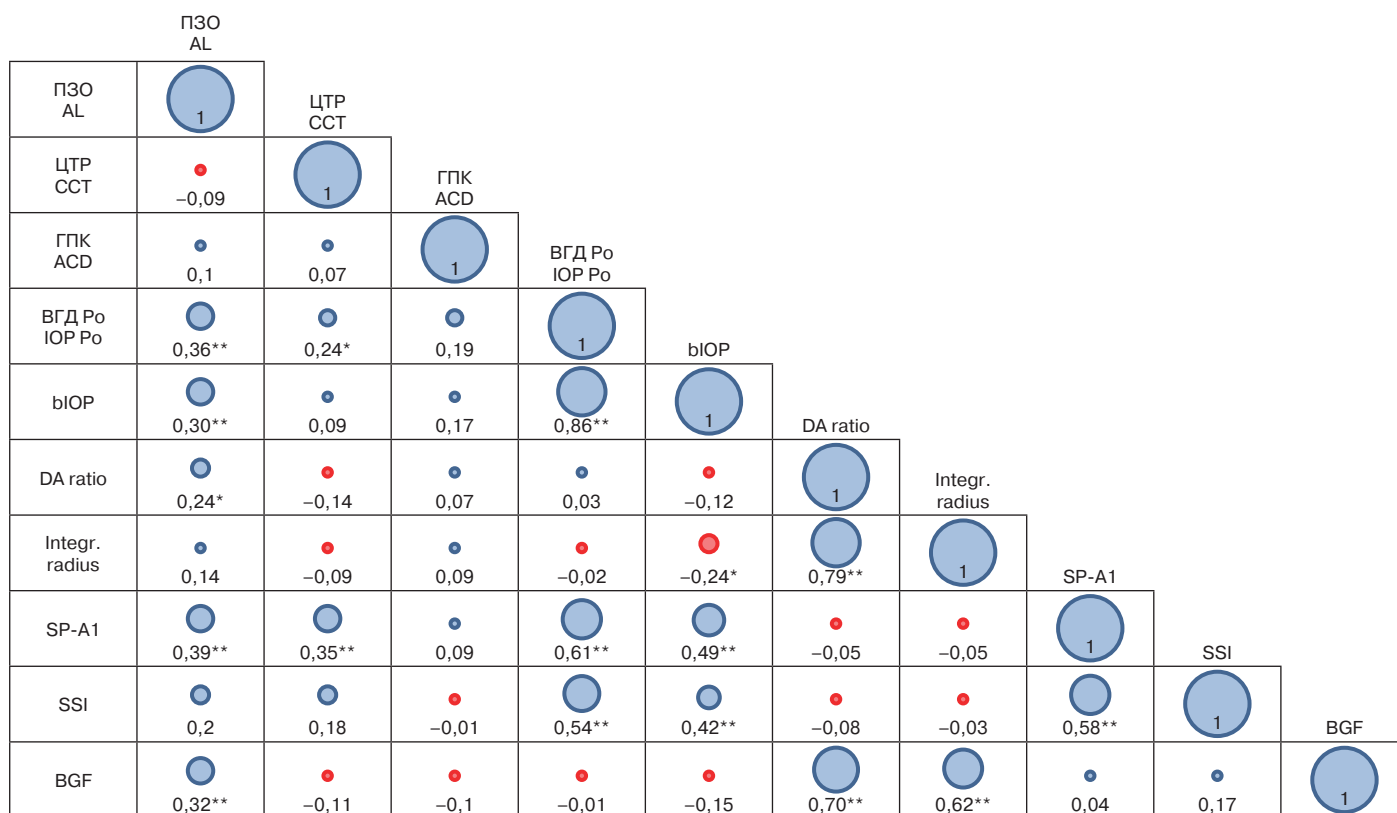


Рис. 1. Корреляционный профиль показателей ЦТР, ПЗО, ВГД и биомеханических индексов фиброзной оболочки глаза у пациентов с ПЗУГ. Здесь и на рисунках 2, 3: ПЗО — переднезадняя ось глаза; ЦТР — центральная толщина роговицы; ГПК — глубина передней камеры; ВГД Po — ВГД, измеренное методом стандартной бесконтактной 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

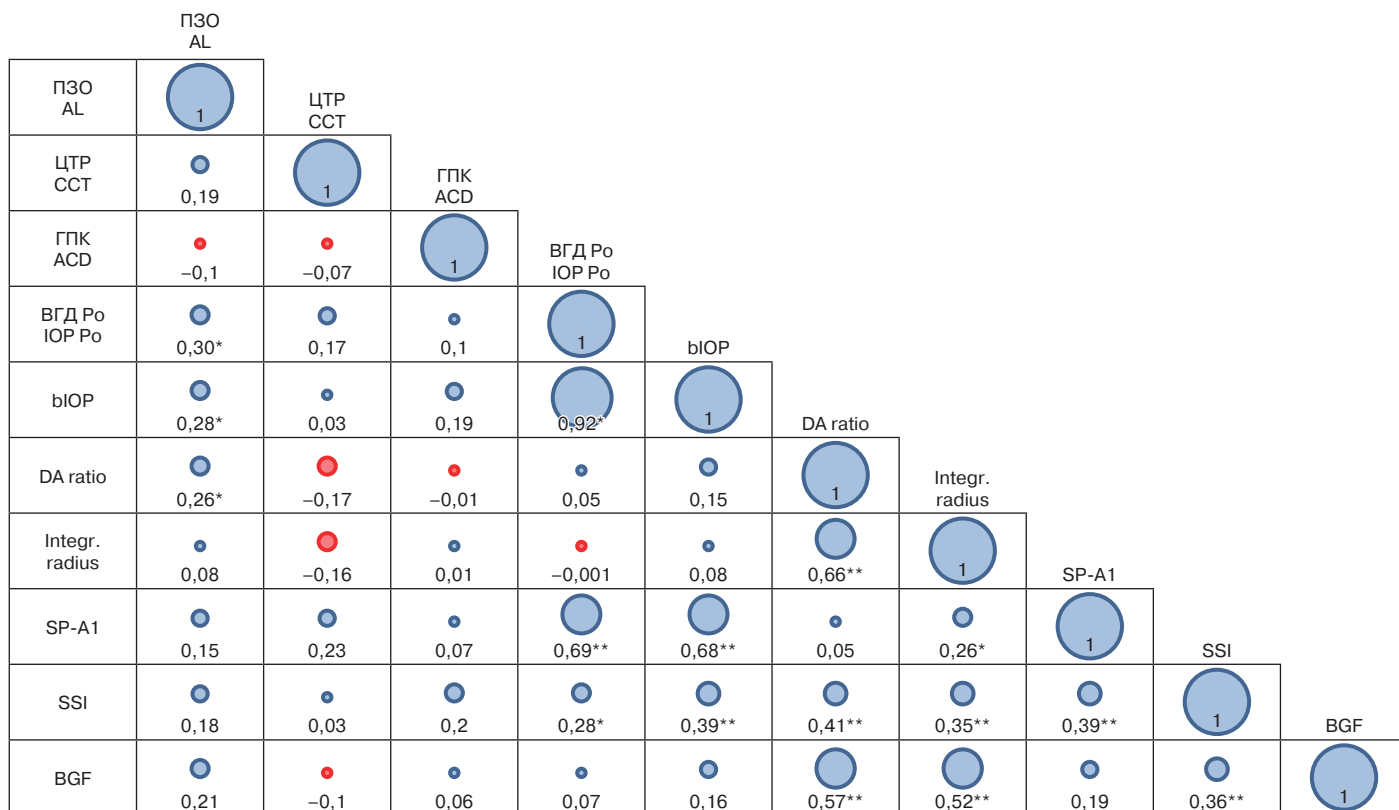


Рис. 2. Корреляционный профиль ЦТР, ПЗО, ВГД и биомеханических индексов фиброзной оболочки глаза у пациентов с ПОУГ
Fig. 2. Correlation profile of the central corneal thickness, intraocular pressure (IOP Po), bIOP biomechanical indices of the fibrous membrane of the eye in patients with primary angle-open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

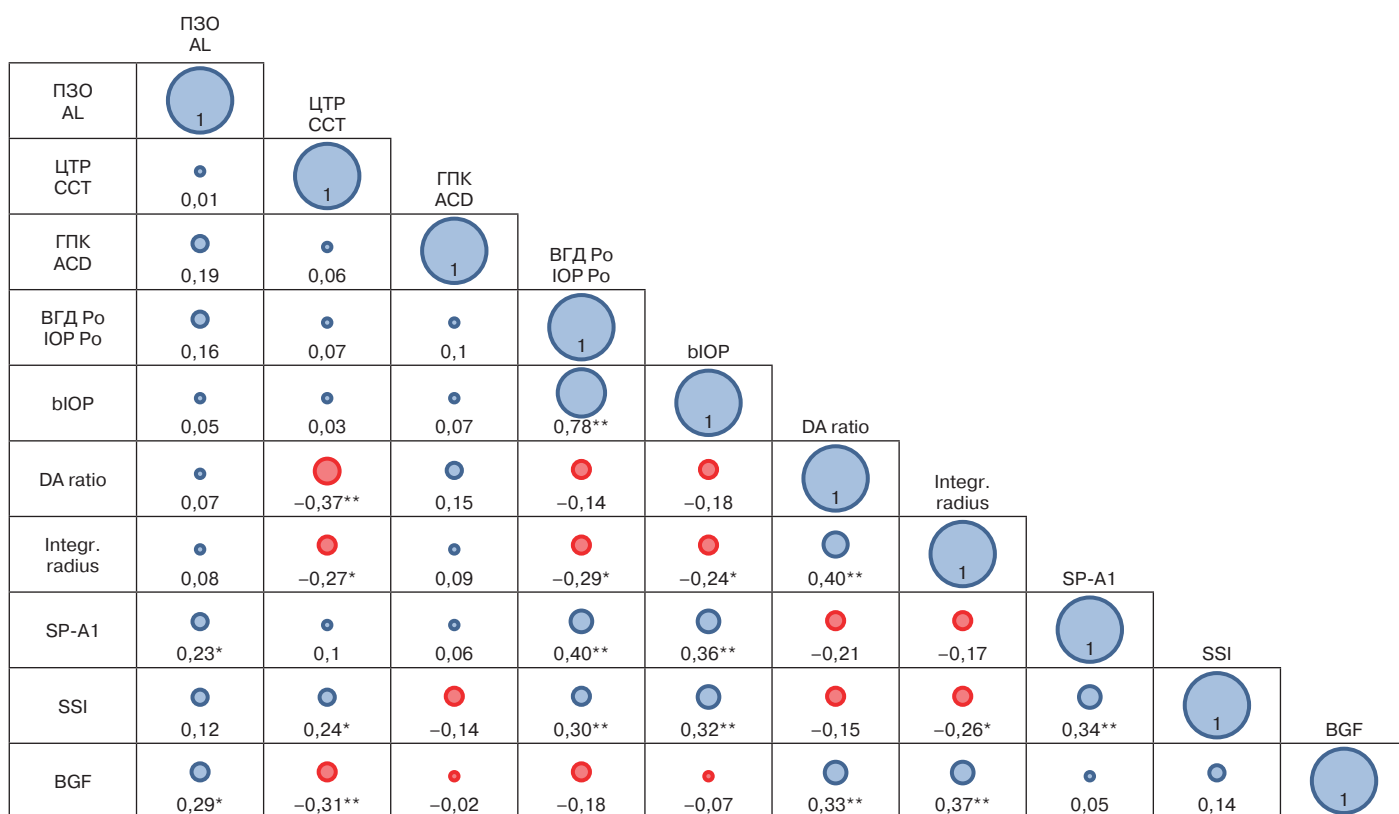


Рис. 3. Корреляционный профиль ЦТР, ПЗО, ВГД и биомеханических индексов фиброзной оболочки глаза у пациентов группы контроля
Fig. 3. Correlation profile of the central corneal thickness, intraocular pressure (IOP Po), bIOP biomechanical indices of the fibrous membrane of the eye in patients of the control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

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

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-Черногрозская, 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

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

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