

DOI: <https://doi.org/10.17816/OV630644>

Биомеханические показатели фиброзной оболочки глазного яблока при псевдоэксфолиативной глаукоме в сравнении с первичной открытоугольной глаукомой

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 Майкопский государственный технологический университет, Майкоп, Республика Адыгея, Россия;

² Научно-исследовательский институт — Краевая клиническая больница № 1 им. проф. С.В. Очаповского, Краснодар, Россия;

³ Клиника заботы о зрении «3Z», Краснодар, Россия;

⁴ Детская краевая клиническая больница, Краснодар, Россия;

⁵ Адыгейская республиканская клиническая больница, Майкоп, Республика Адыгея, Россия

АННОТАЦИЯ

Актуальность. Псевдоэксфолиативный синдром на сегодняшний день рассматривают как системное нарушение метаболизма соединительной ткани с накоплением депозитов псевдоэксфолиативного материала во всех слоях клеток роговицы, которые нарушают её морфологию и биомеханику.

Цель — изучить особенности биомеханических показателей фиброзной оболочки глаз при первичной открытоугольной глаукоме (ПОУГ) в сравнении с псевдоэксфолиативной глаукомой (ПЭГ).

Материалы и методы. Сравнили 65 глаз с ПОУГ и 77 глаз с ПЭГ у пациентов в возрасте до 80 лет. Группа контроля составила 18 здоровых глаз. Сравнивали биомеханические показатели, такие как: DA Ratio, Integr. Radius, SP-A1, SSI, BGF, биомеханически скорректированное внутриглазное давление (bIOP) по данным Pentacam (Oculus) и CorVis ST.

Результаты. Пациенты с ПЭГ были старшего возраста ($68,013 \pm 0,75$ года) в отличие от пациентов с ПОУГ ($60,03 \pm 1,05$ года, $p = 0,001$), имели более тонкую центральную толщину роговицы (ЦТР) — $543,99 \pm 3,9$ мкм против $559,33 \pm 4,4$ при ПОУГ, $p = 0,010$. Уровень внутриглазного давления не различался между группами, корреляции с ЦТР не выявлено. Показатели жёсткости роговицы DA Ratio, Integr. Radius не различались между пациентами с ПОУГ, ПЭГ и контрольной группой. Параметр SP-A1 также не различался между ПОУГ и ПЭГ, при этом есть различия между ПЭГ и группой контроля ($p = 0,046$). При этом в глазах с ПОУГ SP-A1 прямо коррелирует с внутриглазным давлением P_o ($p = 0,001$) и ЦТР ($p = 0,001$), при ПЭГ — $p = 0,001$ и $p = 0,001$ соответственно. Индекс SSI при ПЭГ выше и составил $1,38 \pm 0,03$ против $1,27 \pm 0,03$ при ПОУГ ($p = 0,013$), при этом коррелировал с возрастом только в случае ПЭГ ($p = 0,007$). Выявлена также корреляция SSI и ЦТР — при ПОУГ ($p = 0,018$) и ПЭГ ($p = 0,001$). При ПЭГ BGF демонстрирует более высокие значения ($25,92 \pm 2,3$), чем при ПОУГ ($17,71 \pm 2,2$; $p = 0,010$). BGF не взаимосвязан с возрастом ($p = 0,094$ и $p = 0,737$ при ПОУГ и ПЭГ соответственно), зависит от ЦТР ($p = 0,001$ и $p = 0,027$ соответственно), bIOP ($p = 0,001$ и $p = 0,001$ соответственно) и SP-A1 ($p = 0,009$ и $p = 0,001$ соответственно). Единственный параметр — SSI, который при ПЭГ был выше, чем при ПОУГ, не коррелировал с показателем BGF ($p = 0,642$ и $p = 0,327$ соответственно).

Выводы. Принципиальных отличий по биомеханике при ПЭГ и ПОУГ, которые бы объяснили значительные темпы прогрессирования ПЭГ, мы не получили. На основании наших данных очевидно, что глаз при ПЭГ отличается от ПОУГ большей ригидностью даже при сходных значениях внутриглазного давления.

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

Как цитировать

Малышев А.В., Апостолова А.С., Сергиенко А.А., Тешев А.Ф., Карапетов Г.Ю., Ашхамахова М.К., Хацукова Б.Н. Биомеханические показатели фиброзной оболочки глазного яблока при псевдоэксфолиативной глаукоме в сравнении с первичной открытоугольной глаукомой // Офтальмологические ведомости. 2025. Т. 18. № 1. С. 25–34. DOI: <https://doi.org/10.17816/OV630644>

DOI: <https://doi.org/10.17816/OV630644>

Biomechanical parameters of the fibrous capsule of the eyeball in pseudoexfoliative glaucoma in comparison with primary open-angle glaucoma

Alexey V. Malyshev^{1,2}, Anastasiya 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. Khatsukova^{1,5}

¹ Maykop State Technological University, Maykop, Adygea Republic, Russia;

² Scientific Research Institution — Ochapovsky Regional Clinic Hospital No. 1, Krasnodar, Russia;

³ Vision Care Clinic “3Z”, Krasnodar, Russia;

⁴ Children’s Regional Clinical Hospital, Krasnodar, Russia;

⁵ Adygean Republican Clinical Hospital, Maikop, Adygea Republic, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: Pseudoexfoliation syndrome is currently considered as a systemic disorder of the connective tissue metabolism with the accumulation in all corneal cell layers of pseudoexfoliation syndrome deposits, which disrupt corneal morphology and biomechanics.

AIM: to study the features of biomechanical parameters of the fibrous capsule of eyes in primary open-angle glaucoma (POAG) in comparison with those in pseudoexfoliative glaucoma (PEG).

MATERIALS AND METHODS: We compared 65 eyes with POAG and 77 eyes with PEG aged under 80 years. The control group consisted of 18 healthy eyes. Biomechanical indicators were compared, such as: DA Ratio, Integr. Radius, SP-A1, SSI, BGF, biomechanically corrected intraocular pressure (bIOP) obtained with Pentacam (Oculus) and CorVis ST.

RESULTS: Patients with PEG were elder (68.013 ± 0.75 years) in contrast to POAG patients (60.03 ± 1.05 years) ($p = 0.001$), had a thinner central retinal thickness (CRT) — $543.99 \pm 3.9 \mu\text{m}$ versus $559.33 \pm 4.4 \mu\text{m}$ in those with POAG ($p = 0.010$). The IOP level did not differ between groups, and no correlation with CRT was detected. Indicators of corneal stiffness: DA ratio Integr. Radius did not differ between POAG, PEG and control group. The SP-A1 parameter also did not differ between POAG and PEG patients, while there were differences between PEG patients and the control group ($p = 0.046$). Moreover, in eyes with POAG, SP-A1 directly correlates with IOP Po ($p = 0.001$) and CRT ($p = 0.001$), in those with PEG — $p = 0.001$ and $p = 0.001$, respectively. The SSI index in PEG was higher and amounted to 1.38 ± 0.03 versus 1.27 ± 0.03 in POAG ($p = 0.013$), while it correlated with age only in the case of PEG ($p = 0.007$). A correlation between SSI and CTR was also revealed — in POAG ($p = 0.018$), in PEG ($p = 0.001$). In PEG, BGF shows higher values (25.92 ± 2.3) than in POAG (17.71 ± 2.2 ; $p = 0.010$). BGF has no correlation with age ($p = 0.094$ and $p = 0.737$ for POAG and PEG, respectively), depends on CRT ($p = 0.001$ and $p = 0.027$, respectively), on bIOP ($p = 0.001$ and $p = 0.001$, respectively), and on SP-A1 ($p = 0.009$ and $p = 0.001$, respectively). The only parameter that was higher in PEG than in POAG was SSI, which did not correlate with the BGF indicator ($p = 0.642$ and $p = 0.327$, respectively).

CONCLUSIONS: We did not find any fundamental differences in biomechanics between PEG and POAG, which could explain the significant rates of progression of PEG. Based on our data, it is obvious that the eye with PEG differs from that with POAG being more rigid, even at similar IOP values.

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

To cite this article

Malyshev AV, Apostolova AS, Sergienko AA, Teshev AF, Karapetov GYu, Ashkhamakhova MK, Khatsukova BN. Biomechanical parameters of the fibrous capsule of the eyeball in pseudoexfoliative glaucoma in comparison with primary open-angle glaucoma. *Ophthalmology Reports*. 2025;18(1):25–34. DOI: <https://doi.org/10.17816/OV630644>

Received: 22.04.2024

Accepted: 13.07.2024

Published online: 31.03.2025

АКТУАЛЬНОСТЬ

Псевдоэксфолиативный синдром (ПЭС) — это генетически детерминированное возрастное заболевание, характеризующееся образованием и накоплением аномальных фибриллярных внеклеточных агрегатов на структурах переднего сегмента глаза [1]. На сегодняшний день его рассматривают как системное нарушение метаболизма соединительной ткани, так как депозиты ПЭС выявлены во внутренних органах, таких как печень, почки, сердце, оболочки мозга и кожа [2]. Накоплены данные о морфологических изменениях во всех слоях клеток роговицы в глазах с ПЭС. Документально подтверждено, что глаза с ПЭС имеют отложение псевдоэксфолиативного материала на эндотелии, значительно более низкую плотность клеток в базальном эпителии, передней и задней строме роговицы и эндотелии по сравнению с контролем [3]. Ранее установлено, что биомеханика роговицы изменена при ПЭС. Используя двунаправленную аппланационную пневмотонометрию (прибор Ocular Response Analyzer, ORA, США) обнаружили снижение гистерезиса роговицы и фактора резистентности роговицы в глазах с ПЭС и псевдоэксфолиативной глаукомой (ПЭГ) по сравнению со здоровыми глазами. В ретроспективном обзоре М. Ayala [4] обнаружено снижение корнеального гистерезиса в глазах с ПЭГ по сравнению с глазами с первичной открытоугольной глаукомой (ПОУГ) [4]. Доказанные изменения в переднем отрезке глаза, в частности в роговице, могут быть результатом аномалии внеклеточного матрикса и потенциально могут указывать на изменение во всей корнеосклеральной оболочке. Если фибробласты склеры аналогичным образом редуцируются или изменяются у пациентов с ПЭС, то могут наблюдаться структурные изменения всей корнеосклеральной оболочки, что существенно, поскольку показано, что изменения в механике перипапиллярной склеры и решётчатой пластины влияют на деформации зрительного нерва с повышением внутриглазного давления (ВГД) [5]. ПЭС в настоящее время считается одной из распространённых причин развития и прогрессирования открытоугольной глаукомы. ПЭГ — одна из ведущих причин слепоты и слабовидения в мире и имеет более прогрессирующее течение по сравнению с ПОУГ [6].

Таблица 1. Основные характеристики группы пациентов

Table 1. Main characteristics of the patients' group

Показатель		Первичная открытоугольная глаукома	Псевдоэксфолиативная глаукома
Пол	мужской	15 (22,5 %)	31 (40 %)
	женский	50 (76,5 %)	46 (60 %)
Глаукома	начальная	35 (53 %)	31 (40 %)
	развитая	13 (20 %)	23 (30 %)
	далекозашедшая	12 (18 %)	15 (19,5 %)
	терминальная	5 (8 %)	7 (9,5 %)

Цель — изучить особенности биомеханических показателей фиброзной оболочки глаз при ПОУГ в сравнении с ПЭГ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Нами были проанализированы данные 65 глаз с компенсированной ПОУГ и 77 глаз с ПЭГ пациентов в возрасте до 80 лет (табл. 1).

Группу контроля составили 18 здоровых глаз, в которую включены пациенты без глаукомы, с переднезадней осью глаза не более 24,00 мм, в возрасте $37 \pm 1,93$ года, без признаков ПЭС. Среднее значение переднезадней оси составило $23,29 \pm 0,13$ мм, средняя центральная толщина роговицы (ЦТР) — $566,89 \pm 6,3$ мкм.

Диагностическое обследование на глаукому включало визометрию, тонометрию, пахиметрию, гониоскопию, оптическую когерентную томографию (Cirrus HD-OCT 5000, Carl Zeiss, Германия), стандартную автоматизированную периметрию (Tomex AP-1000, Германия) по программе «Глаукома-скрининг». Биометрические параметры глаза исследовали на приборе IOLMaster 700 (Carl Zeiss, Германия). Стандартную бесконтактную тонометрию проводили на приборе Reichert 7CR (США) с возможностью получения роговично-компенсированного давления.

Томографию роговицы и биомеханические параметры определяли с помощью Oculus (Pentacam, США) и Corvis ST (Oculus GmbH, Германия) соответственно.

Оценивали следующие биомеханические параметры:

- показатель DA Ratio, определяемый как амплитуда деформации центральной вершины роговицы, делённая на среднюю деформацию двух точек, расположенных на расстоянии 2 мм по обе стороны от вершины (назально и темпорально). Он позволяет судить о степени жёсткости роговицы. Чем жёстче роговица, то есть более устойчива к деформациям, тем меньше разброс значений в центре и 2-миллиметровой зоне и показатель DA будет ниже, иными словами — обратно пропорционален;
- Integr. Radius (R) — радиус роговицы, вписанный в вогнутую поверхность или обратное значение вписанного радиуса кривизны роговицы. Рассчитывается

центральный радиус кривизны роговицы во время вогнутой фазы деформации, затем обратный радиус ($1/R$) и площадь под ним, определяется кривая зависимости радиуса от времени. Эта область называется интегрированным радиусом. Чем меньше вдавливание (то есть «жесткая» роговица), тем больше радиус вдавливания, значит обратное значение этого радиуса меньше. Другими словами, чем выше жесткость роговицы, тем этот показатель ниже;

- 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 описывается как смещение между вершиной роговицы в недеформированном состоянии и смещением роговицы при первой аппланации и является полезным индикатором устойчивости роговицы к деформации. Данный показатель отражает жесткость роговицы и внутреннюю биомеханику, зависит от уровня ВГД и ЦТР [7].

У представленных выше трёх биомеханических показателей (DA Ratio, Integr. Radius и SP-A1) на протоколе исследования помимо числовых значений представлено стандартное отклонение (SD) от средних значений нормативной базы. В случае, если SD стремится к значению 0, 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, характеризующий жесткость роговицы. Этот фактор был принят за 1,0 для среднего экспериментального поведения, полученного для ткани роговицы пациента в возрасте 50 лет. Более высокие значения SSI в этом случае будут свидетельствовать о более высокой жесткости ткани, и наоборот. SSI — скорректированный биомеханический индекс, который не зависит от ВГД и ЦТР, он основан на входных и выходных параметрах численного моделирования ЦТР, биомеханически скорректированного ВГД и SP (параметра жесткости) при максимальной вогнутости роговицы. Используется для оценки внутренней жесткости материала (ткани роговицы) [8].

BGF — биомеханический глаукомый фактор, показатель, характеризующий риск развития глаукомы при низких цифрах ВГД. Его определение можно считать скринингом на глаукому низкого давления. Полученные значения BGF корректны только в случае нормального офтальмотонуса (при высоком ВГД показатель минимальный), по представленной шкале значения до 0,25 — риска развития глаукомы нет, 0,25–0,5 — минимальный риск развития глаукомы, более 0,5 — высокий риск развития глаукомы при низком ВГД.

Статистический анализ полученных результатов проводили с использованием стандартного пакета программ SPSS v.16.0 для Windows с обработкой данных методами вариационной статистики, включающими вычисление средних значений, стандартных отклонений, ошибок средних. Нормальность распределения выборки определялась при помощи теста Колмогорова–Смирнова и теста Шапиро–Уилка. Приводимые параметры с нормальным распределением представлены в формате $M \pm m$, где M — среднее значение, m — стандартная ошибка среднего.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Основные сравнительные характеристики групп представлены в табл. 2.

Из данных табл. 2 видно, что сравниваемые группы ПОУГ и ПЭГ были неоднородны по возрасту, то есть очередной раз продемонстрировано, что возраст — основной фактор риска развития и прогрессирования ПЭС. Множеством исследований подтверждено, что он характерен для лиц более старшего возраста с максимальной встречаемостью у пациентов старше 80 лет [1, 9]. Выявлены достоверные отличия в ЦТР. Возможно предположить, что данное различие связано с возрастом, так как по этому параметру группы различаются, однако при исследовании корреляции между ЦТР и возрастом оказалось, что при ПОУГ она составила $p = 0,084$, при ПЭГ — $p = 0,615$. Это даёт возможность рассматривать другие причины изменения ткани роговицы, не связанные с возрастом.

При ПЭС определяются выраженные изменения в роговице глаза. В одном из зарубежных исследований авторы получили данные, что глаза с ПЭС имели значительно более низкую плотность клеток в базальном эпителии,

Таблица 2. Различия в возрасте и морфометрических показателях глаза у пациентов с псевдоэкзофоллиативной глаукомой и первичной открытоугольной глаукомой

Table 2. Differences in age and morphometric parameters of the eye in patients with pseudoexfoliative glaucoma and those with primary open-angle glaucoma

Показатель	Первичная открытоугольная глауком	Псевдоэкзофоллиативная глаукома	Достоверность различий между группами, p
Возраст, лет	60,03 ± 1,05	68,013 ± 0,75	0,001
Центральная толщина роговицы, мкм	559,33 ± 4,4	543,99 ± 3,9	0,010
Переднезадняя ось глаза, мм	23,39 ± 0,17	23,64 ± 0,12	0,157

строме и эндотелии, имели меньшую плотность и большую извитость суббазальных нервов, а также сниженную чувствительность роговицы в сравнении со здоровыми глазами [10].

В недавнем обзоре J.R. Palko и соавт. [11] показана чёткая связь между изменениями роговицы и ПЭС, которая имеет тенденцию усиливаться у пациентов с ПЭГ. Авторы пришли к выводу, что параметры роговицы, такие как плотность эндотелиальных клеток и плотность суббазальных нервных клеток, могут рассматриваться в качестве клинических биомаркеров ПЭС для оценки тяжести заболевания и определения риска перехода пациентов с ПЭС в ПЭГ [11].

В проведённом нами ранее исследовании состояния эндотелия роговицы при ПЭС по данным эндотелиальной микроскопии мы выявили различия в плотности эндотелиальных клеток роговицы (ПЭК), а также величины средней площади эндотелиальной клетки между глазами с ПЭС и без ПЭС. При этом интересен факт, что ПЭК имеет снижение в зависимости от возраста — наибольший показатель имел место в возрастной группе 40–50 лет ($2722,75 \pm 63,05$ кл/мм²), в 81–90 лет ПЭК снизилась до $1872,67 \pm 417,29$ кл/мм², и от стадии глаукомы [12].

В рамках нашего исследования мы провели анализ уровня ВГД в глазах с ПОУГ и ПЭГ (табл. 3).

Из данных табл. 3 видно, что уровень ВГД, установленный стандартной бесконтактной тонометрией, равно как и биомеханически скорректированный уровень ВГД (bIOP), не различается между группами. Но так как в наших группах различается ЦТР, мы решили проверить, есть ли корреляция между данными показателями. При ПОУГ корреляция между ЦТР и P_0 выявлена ($p = 0,02$), а между bIOP и ЦТР нет ($p = 0,569$). При ПЭГ корреляции между ЦТР и обеими видами тонометрии не было ($p = 0,128$ и $p = 0,249$ соответственно). Не выявлено также различий между bIOP при ПОУГ от группы контроля ($p = 0,264$), тогда как при ПЭГ различия достоверны ($p = 0,010$). Помимо того, получена положительная прямая корреляция между возрастом и bIOP у пациентов с ПОУГ ($p = 0,041$), в то время как у пациентов с ПЭГ такой корреляции не было ($p = 0,423$).

При исследовании биомеханических параметров фиброзной оболочки глаза были получены следующие данные, представленные в табл. 4. Из данных, представленных в табл. 4, видно, что мы не получили различий в показателях жёсткости роговицы в сравниваемых группах: DA Ratio и Integr. Radius не различались между ПОУГ, ПЭГ и группой контроля.

Аналогичные данные получили авторы из Индии, которые сравнили 132 глаза, ранее не подвергавшиеся лечению:

Таблица 3. Сравнение уровня внутриглазного давления, полученного методом стандартной бесконтактной тонометрии, и биомеханически скорректированного при псевдоэксфолиативной глаукоме и первичной открытоугольной глаукоме

Table 3. Comparison of IOP levels obtained by standard non-contact tonometry and biomechanically corrected IOP in primary open-angle glaucoma and pseudoexfoliative glaucoma

Показатель	Первичная открытоугольная глаукома	Псевдоэксфолиативная глаукома	Достоверность различий между группами, p	Группа контроля
ВГД P_0 , мм рт. ст.	$20,83 \pm 1,18$	$21,04 \pm 0,86$	0,885	$18,35 \pm 0,73$
bIOP, мм рт. ст.	$18,21 \pm 0,85$	$18,76 \pm 0,64$	0,598	$16,37 \pm 0,56$

Примечание. ВГД P_0 — внутриглазное давление, измеренное методом стандартной бесконтактной тонометрии; bIOP — внутриглазное давление с учётом биомеханических свойств фиброзной оболочки глаза.

Note. IOP P_0 , intraocular pressure, measured by standard non-contact tonometry; bIOP, IOP taking into account the biomechanical properties of the fibrous capsule of the eye

Таблица 4. Биомеханические характеристики фиброзной оболочки глаза у пациентов с первичной открытоугольной глаукомой в отличие от псевдоэксфолиативной глаукомы

Table 4. Biomechanical characteristics of the fibrous capsule of the eye in patients with POAG as compared with those with PEG

Показатель	Первичная открытоугольная глаукома	Псевдоэксфолиативная глаукома	Достоверность отличий между группами, p	Группа контроля ($n = 18$)
DA Ratio	$4,07 \pm 0,09$	$4,01 \pm 0,07$	0,624	$4,02 \pm 0,08$
Integr. Radius (R), мм	$7,495 \pm 0,23$	$7,455 \pm 0,16$	0,883	$7,63 \pm 0,23$
SP-A1, мм рт. ст. / мм	$128,32 \pm 2,9$	$128,93 \pm 2,64$	0,877	$115,64 \pm 6,77$
SSI	$1,27 \pm 0,03$	$1,38 \pm 0,03$	0,013	$1,21 \pm 0,05$
BGF	$17,71 \pm 2,2$	$25,92 \pm 2,3$	0,010	$7,44 \pm 1,31$

Примечание. DA Ratio — соотношение между амплитудой деформации роговицы на вершине и в 2-миллиметровой зоне; Integr. Radius (R) — радиус роговицы, вписанный в вогнутую поверхность; SP-A1 — разность между силой воздушного импульса на поверхности роговицы и биомеханически скорректированным внутриглазным давлением; SSI — индекс напряжения-деформации; BGF — биомеханический глаукомный фактор.

Note. DA Ratio, the ratio between the amplitude of deformation of the cornea at the apex and in the 2-millimeter zone; Integr. Radius (R), 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, BGF, biomechanical glaucoma factor

44 глаза с ПЭГ, 42 глаза с ПОУГ и 46 здоровых. Сравнивали такие биомеханические параметры роговицы, как скорость движения роговицы, длину апплированной поверхности роговицы, амплитуду деформации (DA), максимальное расстояние и радиус кривизны. Авторы пришли к выводу, что биомеханические параметры роговицы, измеренные на Corvis ST, не различаются между глазами с ПЭГ, ПОУГ и здоровыми людьми после поправки на ВГД [13]. К аналогичному заключению пришли в исследовании глаз с ПЭС, с ПЭС и глазной гипертензией, с ПЭГ и здоровых людей и сделали вывод, что, поскольку ПЭГ является глаукомой высокого давления, биомеханика роговицы может не играть важной роли в её диагностике и патогенезе [14].

Параметр SP-A1, который указывает на жёсткость всей фиброзной оболочки глазного яблока, также не различался. При этом имеются достоверные различия между ПЭГ и группой контроля ($p = 0,046$), тогда как при ПОУГ различие недостоверно ($p = 0,055$). Известно, что SP-A1 зависит от уровня ВГД и ЦТР в здоровых глазах. При анализе корреляций в глазах с ПОУГ оказалось, что SP-A1 прямо зависит от ВГД P_0 ($p = 0,001$) и ЦТР ($p = 0,001$; рис. 1), тогда как при ПЭГ коэффициент корреляции составил $p = 0,001$ и $p = 0,001$ соответственно (рис. 2). С учетом того что в нашей выборке пациенты с ПЭГ отличаются более тонкой роговицей, можно предположить, что при равном SP-A1 пациенты с ПЭГ отличаются более высокими показателями жёсткости фиброзной оболочки глаза.

Из данных табл. 4 также видно, что индекс напряжения-деформации (SSI) при ПЭГ выше, чем при ПОУГ, что свидетельствует о повышенной ригидности глазного яблока. Известно, что данный показатель коррелирует с возрастом, это значимо для возраста свыше 50 лет

и здорового глаза [8] и можно предположить, что более высокие цифры SSI при ПЭГ в сравнении с ПОУГ связаны именно с тем, что эти пациенты старше. При исследовании корреляции между SSI и возрастом оказалось, что при ПОУГ такой зависимости не установлено ($p = 0,355$), тогда как при ПЭГ она высокодостоверна ($p = 0,007$). Известны данные, что SSI в здоровых глазах не зависит от ЦТР, однако в нашей выборке пациентов такая зависимость получена: при ПОУГ — $p = 0,018$, при ПЭГ — $p = 0,001$. Корреляции SSI с bIOP не выявлено в группе ПОУГ и ПЭГ ($p = 0,998$ и $p = 0,529$ соответственно). Весьма интересны данные, полученные нами, которые демонстрируют корреляцию SSI с возрастом при ПЭГ, что предполагает рост параметра по мере старения пациента, с одной стороны, и прямую зависимость от ЦТР — с другой, что предполагает увеличение SSI при увеличении ЦТР. Однако в нашем исследовании пациенты с ПЭГ имели более тонкую ЦТР в сравнении с ПОУГ при более высоком SSI, что, очевидно, говорит о возрастании SSI за счёт увеличения жёсткости роговицы и старшего возраста пациентов. Считается, что более высокая жёсткость роговицы отражает более высокую перипапиллярную жёсткость склеры и, следовательно, большую уязвимость головки зрительного нерва [15].

По нашим ранним клиническим наблюдениям, чем более низкая ригидность фиброзной капсулы глаза (SD биомеханических параметров смещено в положительные значения), тем большие значения BGF мы получаем. Интересными мы посчитали данные BGF, демонстрирующие более высокие значения в группе ПЭГ в сравнении с ПОУГ. В попытке объяснить данный факт, мы исследовали корреляцию между BGF и другими параметрами, которые, возможно, оказывают влияние (табл. 5).

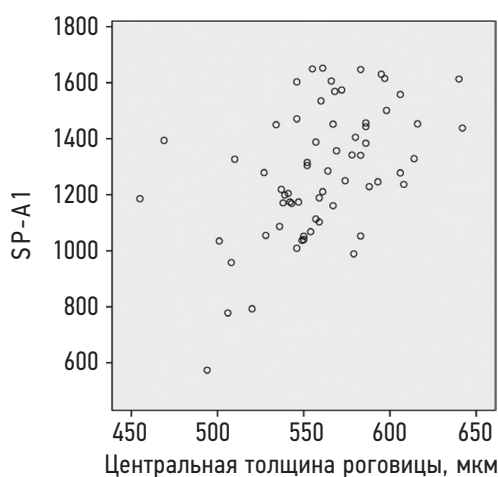


Рис. 1. Зависимость параметра жёсткости фиброзной оболочки глазного яблока SP-A1 от центральной толщины роговицы при первичной открытоугольной глаукоме

Fig. 1. Dependence of the stiffness parameter of the fibrous capsule of the eyeball SP-A1 on the central corneal thickness in primary open-angle glaucoma

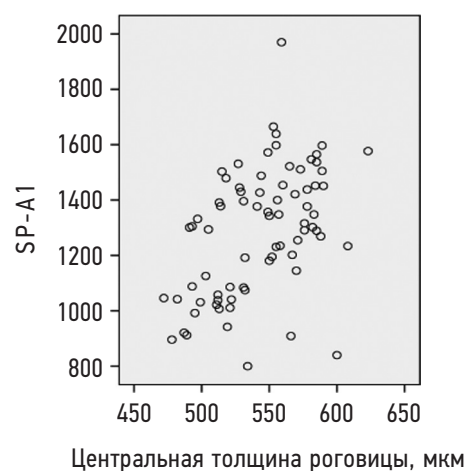


Рис. 2. Зависимость параметра жёсткости фиброзной оболочки глазного яблока SP-A1 от центральной толщины роговицы при псевдоэксфолиативной глаукоме

Fig. 2. Dependence of the stiffness parameter of the fibrous capsule of the eyeball SP-A1 on the central corneal thickness in pseudoexfoliative glaucoma

Таблица 5. Корреляции между биомеханическим глаукомным фактором и различными показателями, возможно оказывающими влияние на его значение у пациентов с первичной открытоугольной глаукомой и псевдоэксфолиативной глаукомой

Table 5. Correlations indicator between the biomechanical glaucoma factor and various indicators that may influence its value in patients with POAG and PEG

Показатель	При первичной открытоугольной глаукоме	При псевдоэксфолиативной глаукоме
Возраст	$p = 0,094$	$p = 0,737$
Центральная толщина роговицы	$p = 0,001$	$p = 0,027$
Переднезадняя ось глаза	$p = 0,175$	$p = 0,096$
bIOP	$p = 0,001$	$p = 0,001$
SP-A1	$p = 0,009$	$p = 0,001$
SSI	$p = 0,642$	$p = 0,327$

Примечание. bIOP — внутриглазное давление с учётом биомеханических свойств фиброзной оболочки глаза; SP-A1 — разность между силой воздушного импульса на поверхности роговицы и биомеханически скорректированным внутриглазным давлением; SSI — индекс напряжения-деформации; BGF — биомеханический глаукомный фактор.

Note. bIOP, IOP taking into account the biomechanical properties of the fibrous capsule of the eye, 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, BGF, biomechanical glaucoma factor.

Большие значения BGF при ПЭГ возрастом объяснить нельзя, несмотря на то что возраст в этой группе старше; ЦТР так же нельзя, так как при ПЭГ она ниже и, следовательно, стоило ожидать и BGF ниже в данной группе. Показателями bIOP и SP-A1 также объяснить не представляется возможным, так как эти параметры хоть и коррелируют с BGF, однако между ПОУГ и ПЭГ не различаются. А индекс SSI выше в группе ПЭГ, однако не взаимосвязан с BGF (табл. 5). Вероятно, изменение биомеханического фактора в сторону повышения при ПЭГ связано с рядом других параметров, не исследованных нами.

В проведённом нами исследовании принципиальных отличий по биомеханике при ПЭГ и ПОУГ, которые бы объяснили значительные темпы прогрессирования ПЭГ в сравнении с ПОУГ, мы не получили. Вероятно, более быстрое прогрессирование болезни в большей степени связано с повреждением сосудистой стенки при ПЭС и с нарушением васкуляризации структур зрительного нерва и сетчатки. Так, в работах, сравнивающих плотность макулярной и перипапиллярной сосудистой сети с помощью оптической когерентной томографической ангиографии (ОКТА) на примере 36 глаз с ПОУГ и 34 глаз с ПЭГ показано, что при ПЭГ плотность поверхностных макулярных сосудов имела меньшие значения, особенно в парафовеальной области. Площадь фовеальной аваскулярной зоны была больше при ПЭГ, чем при ПОУГ, как и большинство показателей в радиальном перипапиллярном кровотоке, плотность сосудистой сети при ПЭГ была ниже в сравнении с ПОУГ [16]. В другом исследовании авторы сравнили 26 глаз с ПОУГ и 23 глаза с ПЭГ с использованием ОКТА и обнаружили, что средняя плотность перифовеального сплетения была значительно ниже в глазах с ПЭГ, чем в глазах с ПОУГ. Однако средние

параметры капиллярной перфузии поверхностного перипапиллярного сплетения, а также размер фовеальной аваскулярной зоны не различались между обеими группами. В данном исследовании авторы пришли к выводу, что тяжесть глаукомы имеет решающее значение для плотности перипапиллярной и макулярной перфузии, а не формы глаукомы [17]. S. Moghimi и соавт. [18] обнаружили истончение решётчатой мембраны склеры в группе пациентов с ПЭС без глаукомы по сравнению с контрольной группой того же возраста с использованием расширенной спектральной ОКТ с визуализацией глубины [18]. S. Kim и соавт. [19] обнаружили, что, несмотря на сходство уровня ВГД и тяжести глаукомы между двумя группами, решётчатая пластина была значительно тоньше в глазах с ПЭГ по сравнению с глазами с ПОУГ, что указывает на возможное изменение структуры заднего отрезка глаза у пациентов с ПЭС [19].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам нашего исследования возраст в группе ПЭГ был достоверно выше ($p = 0,001$), чем в группе ПОУГ. Группы были также разнородны по ЦТР, которая была ниже в группе ПЭГ и составила $543,99 \pm 3,9$ мкм против $559,33 \pm 4,4$ мкм при ПОУГ ($p = 0,010$), что не связано с возрастом.

Уровень ВГД, установленный стандартной бесконтактной тонометрией, равно как и биомеханически скорректированный уровень ВГД (bIOP) не различается между группами, что оказалось не взаимосвязано с ЦТР. При этом уровень bIOP при ПОУГ от группы контроля не отличался ($p = 0,264$), тогда как при ПЭГ различия достоверны ($p = 0,010$).

При исследовании показателей жёсткости фиброзной оболочки глаза мы не получили различий в показателях жёсткости роговицы в сравниваемых группах: DA Ratio и Integr. Radius не различались между ПОУГ, ПЭГ и группой контроля. Параметр SP-A1 также не различался между ПОУГ и ПЭГ, при этом имеются достоверные различия между ПЭГ и группой контроля ($p = 0,046$), тогда как при ПОУГ различие недостоверно ($p = 0,055$). При анализе зависимости в глазах с ПОУГ оказалось, что SP-A1 прямо коррелирует с ВГД P_0 ($p = 0,001$) и ЦТР ($p = 0,001$), при ПЭГ коэффициент корреляции составил $r = 0,001$ и $r = 0,001$ соответственно. С учетом того, что в нашей выборке пациенты с ПЭГ отличаются более тонкой роговицей, можно предположить, что при равном SP-A1 пациенты с ПЭГ отличаются более высокими показателями жёсткости фиброзной оболочки глаза.

Индекс напряжения-деформации (SSI) при ПЭГ выше и составил $1,38 \pm 0,03$ против $1,27 \pm 0,03$ при ПОУГ ($p = 0,013$), что свидетельствует от повышенной ригидности глазного яблока. При исследовании корреляции между SSI и возрастом оказалось, что при ПОУГ такой зависимости нет ($p = 0,355$), тогда как при ПЭГ она достоверна ($p = 0,007$). Ранее известны данные, что SSI в здоровых глазах не зависит от ЦТР, однако в нашей выборке пациентов такая зависимость получена: при ПОУГ — $r = 0,018$, при ПЭГ — $r = 0,001$.

При анализе BGF оказалось, что при ПЭГ он демонстрирует более высокие значения ($25,92 \pm 2,3$), тогда как при ПОУГ они составили $17,71 \pm 2,2$ ($p = 0,010$). В попытке объяснить полученные данные, оказалось, что BGF не взаимосвязан с возрастом ($p = 0,094$ и $p = 0,737$ при ПОУГ и ПЭГ соответственно). Выявлена положительная корреляция с ЦТР при ПОУГ и ПЭГ ($p = 0,001$ и $p = 0,027$ соответственно), что предполагает более низкое значение BGF при ПЭГ в нашем случае. Показатели bIOP также коррелируют с BGF — $r = 0,001$ и $r = 0,001$ при ПОУГ и ПЭГ соответственно, однако значения bIOP между группами не различаются. Мы также получили зависимость BGF от SP-A1, однако этот показатель между ПОУГ и ПЭГ не различался. И единственный параметр, который при ПЭГ был выше, чем при ПОУГ, — SSI — не коррелировал с показателем BGF ($p = 0,642$ и $p = 0,327$ соответственно). Вероятно, изменение биомеханического фактора в сторону повышения при ПЭГ связано с рядом других параметров, не исследованных нами.

Выводы

В нашем исследовании принципиальных отличий по биомеханике при ПЭГ и ПОУГ, которые бы объяснили значительные темпы прогрессирования ПЭГ в сравнении с ПОУГ, мы не получили. На основании наших данных очевидно, что глаз при ПЭГ отличается от ПОУГ большей ригидностью даже при сходных значениях ВГД.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией. Личный вклад каждого автора: А.В. Малышев — концепция исследования, научное редактирование, окончательное утверждение рукописи; А.С. Апостолова — разработка и дизайн исследования, сбор и обработка материала, написание текста, окончательное утверждение рукописи; А.А. Сергиенко — статистическая обработка, написание текста; А.Ф. Тешев — сбор и обработка материала, оформление библиографии; Г.Ю. Карпетов — редактирование текста, подготовка иллюстраций; М.К. Ашхамыхова — подготовка иллюстраций, техническое редактирование; Б.Н. Хацукова — оформление библиографии, техническое редактирование.

Источник финансирования. Исследование проведено при поддержке гранта Минобрнауки России (ФГБОУ ВО «Майкопский государственный технологический университет», приказ № 66 от 07.02.2014, НП12-2024).

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Информированное согласие на публикацию. Авторы получили письменное согласие пациентов на публикацию медицинских данных.

ADDITIONAL INFO

Authors' contribution. All authors made a substantial contribution to the conception of the study, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the article, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the study. Personal contribution of each author: A.V. Malyshev, research concept, scientific editing, final approval of the manuscript; A.S. Apostolova, research development and design, collection and processing of material, writing of the text, final approval of the manuscript; A.A. Sergienko, statistical processing, writing of the text, translation of the text; A.F. Teshev, collection and processing of material, bibliography; G.Yu. Karapetov, text editing, preparation of illustrations; M.K. Ashkhamakhova, preparation of illustrations, technical editing; B.N. Khatsukova, bibliography, technical editing.

Funding source. This work was supported by the grant from the Ministry of Education and Science of Russia from the Maykop State Technological University order No. 66, 2014 Feb 07 (НП12-2024).

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Consent for publication. Written consent was obtained from the patient for publication of relevant medical information within the manuscript.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Nazarali S., Damji F., Damji K.F. What have we learned about exfoliation syndrome since its discovery by John Lindberg 100 years ago? // *Br J Ophthalmol.* 2018. Vol. 102, N 10. P. 1342–1350. doi: 10.1136/bjophthalmol-2017-311321
2. Ritch R., Schlötzer-Schrehardt U. Exfoliation syndrome // *Surv Ophthalmol.* 2001. Vol. 45, N 4. P. 265–315. doi: 10.1016/s0039-6257(00)00196-x
3. Zheng X., Shiraishi A., Okuma S., et al. *In vivo* confocal microscopic evidence of keratopathy in patients with pseudoexfoliation syndrome // *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2011. Vol. 52, N 3. P. 1755–1761. doi: 10.1167/iovs.10-6098
4. Ayala M. Corneal hysteresis in normal subjects and in patients with primary open-angle glaucoma and pseudoexfoliation glaucoma // *Ophthalmic Res.* 2011. Vol. 46, N 4. P. 187–191. doi: 10.1159/000326896
5. Fortune B., Reynaud J., Hardin C., et al. Experimental glaucoma causes optic nerve head neural rim tissue compression: a potentially important mechanism of axon injury // *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2016. Vol. 57, N 10. P. 4403–4411. doi: 10.1167/iovs.16-20000
6. Musch D.C., Shimizu T., Niziol L.M., et al. Clinical characteristics of newly diagnosed primary, pigmentary and pseudoexfoliative open-angle glaucoma in the Collaborative Initial Glaucoma Treatment Study // *Br J Ophthalmol.* 2012. Vol. 96, N 9. P. 1180–1184. doi: 10.1136/bjophthalmol-2012-301820
7. 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. Vol. 2022. P. 7387581. doi: 10.1155/2022/7387581
8. Eliasy A., Chen K.J., 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. Vol. 7. P. 105. doi: 10.3389/fbioe.2019.00105
9. Mitchell P., Wang J.J., Hourihan F. The relationship between glaucoma and pseudoexfoliation: the Blue Mountains Eye Study // *Arch Ophthalmol.* 1999. Vol. 117, N 10. P. 1319–1324. doi: 10.1001/archophth.117.10.1319
10. Kumaran N., Girgis R. Pseudoexfoliative deposits on an intraocular lens implant // *Eye (Lond).* 2011. Vol. 25, N 10. P. 1378–1379. doi: 10.1038/eye.2011.159
11. Palko J.R., Qi O., Sheybani A. Corneal alterations associated with pseudoexfoliation syndrome and glaucoma: a literature review // *J Ophthalmic Vis Res.* 2017. Vol. 12, N 3. P. 312–324. doi: 10.4103/jovr.jovr_28_17
12. Апостолова А.С., Гурджиян К.М., Шипилов В.А. Состояние эндотелия роговицы при псевдоэксфолиативном синдроме (по данным эндотелиальной микроскопии) // *Офтальмология.* 2017. Т. 14, № 4. С. 347–354. EDN: URSBAK doi: 10.18008/1816-5095-2017-4-347-354
13. Pradhan Z.S., 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. Vol. 15, N 10. P. e0241296. doi: 10.1371/journal.pone.0241296
14. Pradhan Z.S., Deshmukh S., Dixit S., et al. A comparison of the corneal biomechanics in pseudoexfoliation syndrome, pseudoexfoliation glaucoma, and healthy controls using Corvis® Scheimpflug Technology // *Indian J Ophthalmol.* 2020. Vol. 68, N 5. P. 787–792. doi: 10.4103/ijo.IJO_1550_19
15. Qassim A., Mullany S., Abedi F., et al. Corneal stiffness parameters are predictive of structural and functional progression in glaucoma suspect eyes // *Ophthalmology.* 2021. Vol. 128, N 7. P. 993–1004. doi: 10.1016/j.ophtha.2020.11.021
16. Subasi S., Yuksel N., Basaran E., Pirhan D. Comparison of vessel density in macular and peripapillary regions between primary open-angle glaucoma and pseudoexfoliation glaucoma using OCTA // *Int Ophthalmol.* 2021. Vol. 41, N 1. P. 173–184. doi: 10.1007/s10792-020-01564-5
17. Cornelius A., Pilger D., Riechardt A., et al. Macular, papillary and peripapillary perfusion densities measured with optical coherence tomography angiography in primary open angle glaucoma and pseudoexfoliation glaucoma // *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.* 2022. Vol. 260, N 3. P. 957–965. doi: 10.1007/s00417-021-05321-x
18. Moghimi S., Mazloumi M., Johari M., et al. Evaluation of lamina cribrosa and choroid in nonglaucomatous patients with pseudoexfoliation syndrome using spectral-domain optical coherence tomography // *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2016. Vol. 57, N 3. P. 1293–1300. doi: 10.1167/iovs.15-18312
19. Kim S., Sung K.R., Lee J.R., Lee K.S. Evaluation of lamina cribrosa in pseudoexfoliation syndrome using spectral-domain optical coherence tomography enhanced depth imaging // *Ophthalmology.* 2013. Vol. 120, N 9. P. 1798–1803. doi: 10.1016/j.ophtha.2013.02.015

REFERENCES

1. Nazarali S, Damji F, Damji KF. What have we learned about exfoliation syndrome since its discovery by John Lindberg 100 years ago? *Br J Ophthalmol.* 2018;102(10):1342–1350. doi: 10.1136/bjophthalmol-2017-311321
2. Ritch R, Schlötzer-Schrehardt U. Exfoliation syndrome. *Surv Ophthalmol.* 2001;45(4):265–315. doi: 10.1016/s0039-6257(00)00196-x
3. Zheng X, Shiraishi A, Okuma S, et al. *In vivo* confocal microscopic evidence of keratopathy in patients with pseudoexfoliation syndrome. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2011;52(3):1755–1761. doi: 10.1167/iovs.10-6098
4. Ayala M. Corneal hysteresis in normal subjects and in patients with primary open-angle glaucoma and pseudoexfoliation glaucoma. *Ophthalmic Res.* 2011;46(4):187–191. doi: 10.1159/000326896
5. Fortune B, Reynaud J, Hardin C, et al. Experimental glaucoma causes optic nerve head neural rim tissue compression: a potentially important mechanism of axon injury. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2016;57(10):4403–4411. doi: 10.1167/iovs.16-20000
6. Musch DC, Shimizu T, Niziol LM, et al. Clinical characteristics of newly diagnosed primary, pigmentary and pseudoexfoliative open-angle glaucoma in the Collaborative Initial Glaucoma Treatment Study. *Br J Ophthalmol.* 2012;96(9):1180–1184. doi: 10.1136/bjophthalmol-2012-301820
7. 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;2022:7387581. doi: 10.1155/2022/7387581

8. 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
9. Mitchell P, Wang JJ, Hourihan F. The relationship between glaucoma and pseudoexfoliation: the Blue Mountains Eye Study. *Arch Ophthalmol.* 1999;117(10):1319–1324. doi: 10.1001/archophth.117.10.1319
10. Kumaran N, Girgis R. Pseudoexfoliative deposits on an intraocular lens implant. *Eye (Lond).* 2011;25(10):1378–1379. doi: 10.1038/eye.2011.159
11. Palko JR, Qi O, Sheybani A. Corneal alterations associated with pseudoexfoliation syndrome and glaucoma: a literature review. *J Ophthalmic Vis Res.* 2017;12(3):312–324. doi: 10.4103/jovr.jovr_28_17
12. Apostolova AS, Gurdzhijan KM, Shipilov VA. Corneal endothelium in eyes with pseudoexfoliation syndrome (data of endothelial microscopy). *Ophthalmology in Russia.* 2017;14(4):347–354. (In Russ.) EDN: URSBAK doi: 10.18008/1816-5095-2017-4-347-354
13. 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;15(10):e0241296. doi: 10.1371/journal.pone.0241296
14. Pradhan ZS, Deshmukh S, Dixit S, et al. A comparison of the corneal biomechanics in pseudoexfoliation syndrome, pseudoexfoliation glaucoma, and healthy controls using Corvis® Scheimpflug Technology. *Indian J Ophthalmol.* 2020;68(5):787–792. doi: 10.4103/ijo.IJO_1550_19
15. 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
16. Subasi S, Yuksel N, Basaran E, Pirhan D. Comparison of vessel density in macular and peripapillary regions between primary open-angle glaucoma and pseudoexfoliation glaucoma using OCTA. *Int Ophthalmol.* 2021;41(1):173–184. doi: 10.1007/s10792-020-01564-5
17. Cornelius A, Pilger D, Riechardt A, et al. Macular, papillary and peripapillary perfusion densities measured with optical coherence tomography angiography in primary open angle glaucoma and pseudoexfoliation glaucoma. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.* 2022;260(3):957–965. doi: 10.1007/s00417-021-05321-x
18. Moghimi S, Mazloumi M, Johari M, et al. Evaluation of lamina cribrosa and choroid in nonglaucomatous patients with pseudoexfoliation syndrome using spectral-domain optical coherence tomography. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2016;57(3):1293–1300. doi: 10.1167/iovs.15-18312
19. Kim S, Sung KR, Lee JR, Lee KS. Evaluation of lamina cribrosa in pseudoexfoliation syndrome using spectral-domain optical coherence tomography enhanced depth imaging. *Ophthalmology.* 2013;120(9):1798–1803. doi: 10.1016/j.ophtha.2013.02.015

ОБ АВТОРАХ

Алексей Владиславович Малышев, д-р мед. наук, профессор; ORCID: 0000-0002-1448-9690; eLibrary SPIN: 1381-6881; e-mail: mavr189@yandex.ru

***Анастасия Станиславовна Апостолова**, канд. мед. наук; адрес: Россия, 385000, Республика Адыгея, Майкоп, ул. Первомайская, д. 191; ORCID: 0009-0006-3177-4342; eLibrary SPIN: 7470-4628; e-mail: apostolovan@mail.ru

Алексей Анатольевич Сергиенко, канд. мед. наук; ORCID: 0000-0002-0285-4080; eLibrary SPIN: 4114-9050; e-mail: eyesurg@mail.ru

Адам Феликсович Тешев, главный офтальмолог Министерства здравоохранения Республики Адыгея; ORCID: 0009-0002-2434-7538; eLibrary SPIN: 1548-8310; e-mail: adam.teshev@gmail.com

Гарри Юрьевич Карапетов, канд. мед. наук; ORCID: 0000-0002-1511-1219; eLibrary SPIN: 7360-7360; e-mail: garry.karapetov@gmail.com

Марина Кадыровна Ашхамасхоева; ORCID: 0009-0000-0838-2013; e-mail: mashkhamakhova@gmail.ru

Белла Нальбиевна Хацукова; ORCID: 0009-0002-3728-8469; e-mail: bella-0191@mail.ru

AUTHORS' INFO

Alexey V. Malyshev, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor; ORCID: 0000-0002-1448-9690; eLibrary SPIN: 1381-6881; e-mail: mavr189@yandex.ru

***Anastasiya S. Apostolova**, MD, Cand. Sci. (Medicine); address: 191 Pervomaiskaya st., Maykop, 385000, Adygea Republic, Russia; ORCID: 0009-0006-3177-4342; eLibrary SPIN: 7470-4628; e-mail: apostolovan@mail.ru

Aleksey A. Sergienko, MD, Cand. Sci. (Medicine); ORCID: 0000-0002-0285-4080; eLibrary SPIN: 4114-9050; e-mail: eyesurg@mail.ru

Adam F. Teshev, MD, Chief ophthalmologist of the Ministry of Health Republic of Adygea; ORCID: 0009-0002-2434-7538; eLibrary SPIN: 1548-8310; e-mail: adam.teshev@gmail.com

Garry Yu. Karapetov, MD, Cand. Sci. (Medicine); ORCID: 0000-0002-1511-1219; eLibrary SPIN: 7360-7360; e-mail: garry.karapetov@gmail.com

Marina K. Ashkhamakhova, MD; ORCID: 0009-0000-0838-2013; e-mail: mashkhamakhova@gmail.ru

Bella N. Khatsukova, MD; ORCID: 0009-0002-3728-8469; e-mail: bella-0191@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author