



<https://doi.org/10.21516/2072-0076-2025-18-2-62-68>

Биомеханические показатели фиброзной капсулы глаза при синдроме пигментной дисперсии и пигментной глаукоме и их изменение после периферической иридэктомии

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

¹ ФГБОУ ВО «Майкопский государственный технологический университет», ул. Первомайская, д. 19, Майкоп, Республика Адыгея, 385000, Россия

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

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

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

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

Цель работы — изучить особенности биомеханических свойств фиброзной капсулы глаза при синдроме пигментной дисперсии (СПД) и пигментной глаукоме (ПГ), а также оценить влияние периферической иридэктомии (ПИЭ) при этих состояниях на биомеханику глаза. **Материал и методы.** Проведено сравнение биомеханических показателей 45 глаз 23 пациентов с СПД (26 глаз) и ПГ (19 глаз) в возрасте $33,6 \pm 1,5$ года. На 5 глазах пациентов этой группы было проведено кераторефракционное вмешательство («Фемто СуперЛАСИК»). На 34 глазах с СПД и ПГ была произведена ПИЭ. Обследовано также 30 глаз с миопией без СПД и ПГ в возрасте $40,2 \pm 1,8$ года (группа сравнения) и 18 глаз пациентов с эмметропией без глаукомы в возрасте $37,00 \pm 1,93$ года (группа контроля). Биомеханические показатели и биомеханически скорректированное ВГД (bIOP) определяли с помощью Pentacam (Oculus) и CorVis ST. **Результаты.** Глаза с СПД и ПГ достоверно не отличались по биомеханическим параметрам от миопических глаз без СПД и ПГ. В то же время биомеханический глаукомный фактор (BGF) при СПД и ПГ был ниже, чем при миопии ($p = 0,025$ и $p = 0,015$), что косвенно характеризует фиброзную оболочку глаз с СПД и ПГ как более ригидную. SSI (показатель внутренней жесткости роговицы) глаз с СПД, ПГ и миопией оказался сниженным в сравнении со здоровыми эметропичными глазами ($p = 0,000$, $p = 0,019$, $p = 0,005$ соответственно). После проведения ПИЭ уровень bIOP снизился ($p = 0,015$), изменились значения характеристик жесткости роговицы — увеличился Integr. Radius ($p = 0,002$) и снизился показатель SP-A1 ($p = 0,022$), что говорит о снижении жесткости ткани роговицы. При этом BGF увеличился ($p = 0,026$) и достиг соответствующих значений близоруких глаз без СПД и ПГ. **Заключение.** С учетом сниженного индекса SSI кераторефракционное вмешательство при СПД и ПГ следует проводить с осторожностью. ПИЭ при СПД и ПГ можно рекомендовать не только для снижения ВГД, но также для нормализации показателей биомеханики и приближении их значений к параметрам близорукого глаза без СПД и ПГ.

Ключевые слова: синдром пигментной дисперсии; пигментная глаукома; периферическая иридэктомия; центральная толщина роговицы; тонометрия; роговично-компенсированное давление; биомеханические свойства фиброзной оболочки глаза

Конфликт интересов: отсутствует.

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

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

Для цитирования: Малышев А.В., Апостолова А.С., Сергиенко А.А., Тешев А.Ф., Карапетов Г.Ю., Ашхамахова М.К., Хацукова Б.Н. Биомеханические показатели фиброзной капсулы глаза при синдроме пигментной дисперсии и пигментной глаукоме и их изменение после периферической иридэктомии. Российский офтальмологический журнал. 2025; 18 (2): 62-8. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2025-18-2-62-68>

Biomechanical parameters of the eye fibrous capsule in pigment dispersion syndrome and pigmentary glaucoma and their changes after peripheral iridectomy

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

¹ Maykop State Technological University, 19, Pervomaiskaya St., Maykop, Adygea Republic, 385000, Russia

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

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

⁴ Children’s Regional Clinical Hospital, 1, Pobedy Square, Krasnodar, 350007, Russia

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

Purpose of the work was to study the features of biomechanical properties of the fibrous capsule of the eye in pigment dispersion syndrome (PDS) and pigment glaucoma (PG), and to evaluate the effect of peripheral iridectomy (PIE) in these conditions on the biomechanics of the eye. **Material and methods.** Biomechanical parameters of 45 eyes of 23 patients with PDS (26 eyes) and PG (19 eyes) aged 33.6 ± 1.5 years were compared. Keratorefractive surgery (Femto Super LASIK) was performed on 5 eyes of patients in this group. PIE was performed on 34 eyes with PDS and PG. The examination also included 30 eyes with myopia without PDS and PG aged 40.2 ± 1.8 years (comparison group) and 18 eyes of patients with emmetropia without glaucoma aged 37.00 ± 1.93 years (control group). Biomechanical parameters and biomechanically corrected IOP (bIOP) were determined using Pentacam (Oculus) and CorVis ST. **Results.** Eyes with SPD and PG did not significantly differ in biomechanical parameters from myopic eyes without SPD and PG. At the same time, the biomechanical glaucoma factor (BGF) in SPD and PG was lower than in myopia ($p = 0.025$ and $p = 0.015$), which indirectly characterizes the fibrous membrane of the eyes with SPD and PG as more rigid. SSI (an indicator of internal corneal rigidity) of the eyes with SPD, PG and myopia was reduced in comparison with healthy emmetropic eyes ($p = 0.000$, $p = 0.019$, $p = 0.005$, respectively). After the PIE, the bIOP level decreased ($p = 0.015$), the values of corneal rigidity characteristics changed: Integr. Radius increased ($p = 0.002$) and the SP-A1 index decreased ($p = 0.022$), which indicates a decrease in corneal tissue rigidity. At the same time, BGF increased ($p = 0.026$) and reached the corresponding values of myopic eyes without SPD and PG. **Conclusion.** Taking into account the reduced SSI index, keratorefractive intervention in SPD and PG should be performed with caution. PIE in SPD and PG can be recommended not only to reduce IOP, but also to normalize biomechanics indicators and bring their values closer to the parameters of a myopic eyes without SPD and PG.

Keywords: pigment dispersion syndrome; laser basal iridectomy; pigmentary glaucoma; central corneal thickness; tonometry; corneal-compensated pressure; biomechanical properties of the fibrous capsule of the eye

Conflict of interests: there is no conflict of interests.

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

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

For citation: Malyshev A.V., Apostolova A.S., Sergienko A.A., Teshev A.F., Karapetov G.Yu., Ashkhamakhova M.K., Hatsukova B.N. Biomechanical parameters of the eye fibrous capsule in pigment dispersion syndrome and pigmentary glaucoma and their changes after peripheral iridectomy. Russian ophthalmological journal. 2025; 18 (2): 62-8 (In Russ.). <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2025-18-2-62-68>

Синдром пигментной дисперсии (СПД) — заболевание молодого возраста, развивается в глазу с миопией и приводит к развитию глаукомы в 25–30% случаев [1, 2]. Однако описаны случаи развития пигментной глаукомы (ПГ) при эметропической рефракции [2]. Распространенность СПД и ПГ у европеоидов в 4 и более раз выше, чем у чернокожих или азиатов, а скорость конверсии СПД в ПГ более чем на треть выше, что требует более агрессивного лечения и наблюдения [3, 4]. На сегодняшний день диагностика СПД возросла в связи с развитием эры кераторефракционных вмешательств и ростом числа пациентов, обращающихся на диагностическое обследование с данной проблемой [5]. Постановка диагноза СПД основана на определенных клинических особенностях

переднего отрезка глаза, таких как: задняя пигментация роговицы (веретено Крукенберга), трансиллюминация средней периферии радужной оболочки, экзогенная пигментация трабекулярной сети, наличие пигментации склеральной шпоры (линия Сампаолези), пролапс радужки и депигментация средней периферии радужки. Однако встречаемость этих симптомов различна. Так, при исследовании 20 глаз жителей Японии в возрасте от 13 до 46 лет пигментация задней части роговицы была обнаружена лишь в одном глазу, пигментация трабекулярной сети — в 6 глазах, ни у одного из них не было трансиллюминации средней периферии радужной оболочки, а линия Сампаолези, вогнутость радужки и депигментация среднепериферической зоны радужки были обнаружены

у всех пациентов, за исключением одного, у которого отсутствовала среднепериферическая депигментация [6]. Современная диагностика СПД включает новые методы визуализации, в том числе ультразвуковую биомикроскопию (УЗБМ) и оптическую когерентную томографию переднего отдела глаза (ОКТ ПОГ), которые облегчают визуализацию вогнутости радужной оболочки, характерную для глаз с СПД и ПГ [7]. Диагноз ПГ обычно ставится в возрасте от 40 до 50 лет, чаще у мужчин. Появление УЗБМ и ОКТ ПОГ способствовало расширению наших знаний об этом заболевании. Лечение ПГ основано на медикаментозной терапии, лазерной иридотомии, селективной лазерной трабекулопластике и фильтрационных процедурах [8].

Однако упоминаний об особенностях и изменениях фиброзной оболочки глаза при данной патологии в доступной литературе мы не встретили, хотя актуальность проблемы возросла в связи с повышенным запросом в последние годы на выполнение различных кераторефракционных вмешательств. Важно понимать, насколько безопасна для пациента подобная операция. Кроме того, не изучались также особенности выполнения данным пациентам периферической иридэктомии (ПИЭ) с учетом динамики биомеханических параметров фиброзной оболочки глазного яблока.

ЦЕЛЬ работы — изучить особенности биомеханических свойств фиброзной оболочки глаза при СПД и ПГ, а также оценить влияние ПИЭ при этих состояниях на биомеханику глаза.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Нами проанализированы данные 45 глаз 23 пациентов (26 глаз) с СПД и 22 пациентов (19 глаз) с ПГ, в том числе 18 (40%) женщин и 27 (60%) мужчин, в возрасте $33,64 \pm 1,50$ года. Длина переднезадней оси (ПЗО) глаза в среднем составила $25,40 \pm 0,14$ мм, средняя центральная толщина роговицы (ЦТР) — $556,9 \pm 6,6$ мкм. Глаукома не была диагностирована в 26 (58%) глазах, диагноз «глаукома» установлен в 19 (42%) глазах, из них начальная глаукома выявлена в 8 (18%) глазах, развитая — в 8 (18%) глазах, далеко зашедшая — в 2 (4%) глазах, терминальная — в одном (2%) глазу. К моменту проведения исследования в каждом случае ПГ была компенсирована медикаментозно. На 5 глазах пациентов этой группы было проведено кераторефракционное вмешательство («ФемтоСуперЛАСИК»).

ПИЭ была произведена в 34 глазах с СПД и ПГ, в 11 глазах вмешательства не было.

В качестве группы сравнения выбраны 30 глаз пациентов в возрасте $40,27 \pm 1,80$ года с миопией без глаукомы и без псевдоэксфолиативного синдрома (ПЭС) с ПЗО глаза $25,71 \pm 0,20$ мм и ЦТР $539,7 \pm 18,8$ мкм. Группы достоверно отличались по возрасту ($p = 0,006$), при этом есть указания зарубежных авторов на корреляцию биомеханического индекса (SSI) с возрастом, однако это зачимо для лиц старше 50 лет и здорового эметропичного глаза [9].

Группу контроля составили 18 здоровых глаз с эметропией, в которую включены пациенты в возрасте $37,00 \pm 1,93$ года, без глаукомы, с размером глаза не более 24,0 мм (в среднем $23,29 \pm 0,13$ мм), с ЦТР $566,89 \pm 6,30$ мкм без признаков ПЭС.

Диагностическое обследование включало визометрию, тонометрию, пахиметрию, гониоскопию, ОКТ (Cirrus HD-OCT 5000, CarlZeiss), стандартную автоматизированную периметрию (САП) на периметре TomeyAP-1000 по программе «Глаукома скрининг». Биометрические параметры глаза исследовались на приборе ZeissIOLMaster 700. Стандартная бесконтактная тонометрия проводилась на приборе

Reichert 7 CR с возможностью получения роговично-компенсированного давления.

Топографию роговицы и биомеханические параметры оценивали с помощью Pentacam (Oculus) и CorVis ST соответственно.

С помощью CorVis ST определяли несколько биомеханических параметров. Показатель DA Ratio, позволяющий судить о степени жесткости роговицы, представляет собой соотношение амплитуды деформации центральной вершины роговицы и средней деформации двух точек, расположенных на расстоянии 2 мм по обе стороны от вершины (назально и темпорально). Чем жестче роговица, т. е. более устойчива к деформациям, тем меньше разброс значений в центре и 2-мм зоне и тем ниже показатель DA. Integr. Radius (R) — радиус роговицы, вписанный в вогнутую поверхность, или обратная величина вписанного радиуса кривизны роговицы. Рассчитывается центральный радиус кривизны роговицы во время вогнутой фазы деформации, затем рассчитывается обратный радиус ($1/R$) и площадь под ним, определяется кривая зависимости радиуса от времени. Эта область называется интегрированным радиусом. Чем меньше вдавливание (т. е. чем более «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 давления на роговицу к смещению вершины роговицы при первой аппланации, измеряется в мм рт. ст. / мм и является полезным индикатором устойчивости роговицы к деформации, отражающим жесткость роговицы и ее внутреннюю биомеханику, зависит от уровня ВГД и ЦТР [10]. Считается, что более высокая жесткость роговицы отражает более высокую перипапиллярную жесткость склеры и, следовательно, большую уязвимость головки зрительного нерва [11].

У представленных выше трех биомеханических показателей (DA ratio, Integr. Radius и SP-A1) в протоколе исследования помимо числовых значений представлено стандартное отклонение (SD) от средних значений нормативной базы. Если SD стремится к значению 0, это означает, что измеренная величина близка к средней величине жесткости, что косвенно свидетельствует о толерантном ВГД.

Stress Strain Index (SSI) — индекс напряжения-деформации — также характеризует жесткость роговицы. Значение этого показателя принято равным 1,0 для ткани нормальной роговицы пациента в возрасте 50 лет. Более высокие значения SSI свидетельствуют 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) [9].

BGF — биомеханический глаукомный 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 означают отсутствие риска развития глаукомы, 0,25–0,50 — минимальный риск, более 0,5 — высокий риск развития глаукомы при низком ВГД.

В комплекс обследования входил также осмотр лазерного хирурга с оценкой угла передней камеры (УПК) — сте-

пени его открытости (по Шафферу), степени и характера пигментации (класс пигментации по Шейе) и конфигурации корня радужной оболочки.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В рамках нашего исследования мы провели сравнительный анализ уровня ВГД и биомеханических показателей фиброзной оболочки глаз с СПД, ПГ и миопией без СПД и ПГ (табл. 1).

Из данных таблицы 1 видно, что уровень ВГД, установленный стандартной бесконтактной тонометрией, в группе сравнения (миопия) не отличается от соответствующего показателя в группе контроля (эметропия). Различие ВГД Ро и биомеханически скорректированного уровня ВГД (bIOP) при СПД и ПГ с соответствующими показателями группы сравнения было также статистически недостоверно ($p = 0,69$, $p = 0,65$, $p = 0,75$, $p = 0,68$ соответственно).

Мы также не получили различий в показателях жесткости роговицы в сравниваемых группах: DA ratio не отличался при СПД и ПГ от группы сравнения ($p = 0,62$ и $p = 0,49$ соответственно); Integr. Radius также демонстрировал равные значения ($p = 0,52$ и $p = 0,79$ соответственно).

Параметр SP-A1 при СПД и ПГ немного превышал показатель группы сравнения, что говорит о несколько большей ригидности фиброзной капсулы при этих состояниях, чем при миопии без СПД и ПГ, однако различия были не достоверны ($p = 0,35$ и $p = 0,47$).

Анализ индекса «напряжение — деформация» (SSI) показал, что при СПД этот показатель отклонен в сторону снижения жесткости и отличается от группы сравнения, но не достоверно ($p = 0,087$), тогда как при ПГ отличий от группы сравнения не выявлено ($p = 0,85$). При этом у

пациентов с СПД и ПГ установлена достоверная прямая корреляция между возрастом и SSI ($p = 0,002$), что свидетельствует о росте данного показателя с увеличением возраста. Это отчасти противоречит данным, полученным ранее для здорового эметропичного глаза, и демонстрирует изменение жесткости при СПД и ПГ в более раннем возрасте (менее 50 лет). При этом в миопических глазах без СПД и ПГ корреляции SSI с возрастом не установлено ($p = 0,717$), хотя средний возраст в данной группе был выше, чем в группе контроля. Данная корреляция не отмечена и для глаз с эметропией ($p = 0,433$).

Однако при проведении сравнительного анализа основных групп с группой контроля (здоровые глаза с эметропией) мы установили, что в группе СПД, ПГ и в группе близоруких глаз внутренняя жесткость роговицы снижена в сравнении с эметропичным глазом ($p = 0,000$, $p = 0,019$, $p = 0,005$ соответственно). Этот аспект может быть важен, особенно в свете новых данных, которые получены в исследовании 1645 здоровых студентов среднего возраста 19 лет, где показано, что глаза с более низким SSI имели меньшую толщину слоя нервных волокон сетчатки (RNFL), особенно при более высоком bIOP. Авторы считают эти результаты новым доказательством взаимосвязи между биомеханикой роговицы и повреждением ганглиозных клеток сетчатки [12]. Полученные нами данные требуют дальнейшего изучения с целью долгосрочной безопасности проведения данным пациентам кераторефракционного вмешательства. Вместе с тем на сегодняшний день проведение подобных вмешательств у пациентов с СПД не редкость, и авторы отмечают безопасность данной процедуры [13, 14].

Интересные данные мы получили относительно биомеханического глаукомного фактора (BGF), который

демонстрирует более высокие значения в группе сравнения и достоверно отличается в большую сторону от СПД и ПГ ($p = 0,025$ и $p = 0,015$ соответственно) и группы контроля ($p = 0,006$). Этот факт фактором возраста объяснить нельзя, так как в группе СПД и ПГ, в которых средний возраст пациентов ниже, установлена прямая корреляция между возрастом и BGF ($p = 0,034$), а в группе миопических глаз без СПД и ПГ такой связи не было ($p = 0,603$). По нашим наблюдениям, чем ниже ригидность фиброзной капсулы глаза (SD биомеханических параметров смещено в положительные значения), тем большие значения BGF мы получаем, и отличия между эметропичными и близорукими глазами закономерны. А вот сниженный BGF при СПД и ПГ в сравнении с миопическими глазами без СПД и ПГ можно объяснить более высокой ригидностью глазного яблока в данных клинических ситуациях, и при достижении толерантных значений ВГД и стабилизации биомеханических показателей BGF у данных пациентов возрастает.

Для обоснования необходимости проведения ПИЭ мы провели исследование биомеханических особенностей фиброзной оболочки глаза при СПД до

Таблица 1. ВГД и биомеханические показатели фиброзной оболочки глаза у пациентов с синдромом пигментной дисперсии (СПД), пигментной глаукомой (ПГ), миопией и эметропией (группа контроля)

Table 1. IOP and biomechanical parameters of the fibrous capsule of the eyes with pigment dispersion syndrome (PDS), pigmentary glaucoma (PG), myopia and emmetropia (control group)

Показатели Parameters	СПД PDS n = 26	ПГ PG n = 19	Миопия Myopia n = 30	Эметропия Emmetropia n = 18
ВГД Ро, мм рт. ст. IOP Po, mm Hg	19,23 ± 0,80	20,11 ± 1,65	19,03 ± 1,14	18,35 ± 0,73
bIOP, мм рт. ст. bIOP, mm Hg	17,98 ± 0,66	18,29 ± 1,30	17,67 ± 0,72	16,37 ± 0,56
DA ratio	4,15 ± 0,11	4,21 ± 0,18	4,08 ± 0,09	4,02 ± 0,08
Integr. Radius (R), мм Integr. Radius (R), mm	7,51 ± 0,26	7,63 ± 0,48	7,76 ± 0,28	7,63 ± 0,23
SP-A1, мм рт. ст./мм SP-A1, mm Hg/mm	123,31 ± 4,24	122,49 ± 4,69	118,71 ± 2,86	115,64 ± 6,77
SSI	0,95 ± 0,03	1,04 ± 0,04	1,03 ± 0,03	1,21 ± 0,05
BGF	9,00 ± 1,98	8,93 ± 1,70	21,57 ± 4,60	7,44 ± 1,31

Примечание. Здесь и в таблице 2: ВГД Ро — 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 напряжения-деформации, BGF — биомеханический глаукомный фактор.

Note. Here and in the table 2: IOP Po — intraocular pressure, measured by standard non-contact tonometry, bIOP — IOP taking into account the biomechanical properties of the fibrous capsule of the eye, 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 — force divided by displacement at the first applanation, SSI — stress-strain index, BGF — biomechanical glaucoma factor.

и после проведения базальной иридэктомии (табл. 2).

Из данных таблицы 2 видно, что биомеханически скорректированный уровень ВГД различается в сравниваемых группах, после проведения ПИЭ он достоверно меньше. Наши данные согласуются с полученными ранее в крупном исследовании, которое включало 286 глаз с ПГ и СПД с повышенным или нормальным ВГД. Авторы пришли к выводу, что ПИЭ снижает уровень ВГД в долгосрочном периоде, однако влияние ПИЭ на изменения или прогрессирование дефектов поля зрения при ПГ и СПД не установлено [15].

Сравнение показателей жесткости роговицы до и после проведения ПИЭ не выявило достоверных отличий по параметру DA ratio в исследуемых группах, при этом значения Integr. Radius после лазерного вмешательства повысились, что говорит о снижении жесткости ткани роговицы. Для объяснения причин данного результата требуются дальнейшие исследования.

Параметр SP-A1 после ПИЭ демонстрирует более низкие значения, чем до вмешательства, что можно рассматривать как снижение ригидности фиброзной капсулы глаза. Данное изменение закономерно, так как SP-A1 прямо коррелирует с уровнем ВГД. Индекс SSI достоверно не изменился.

Биомеханический глаукомный фактор (BGF) достоверно увеличился после ПИЭ до значений, характерных для близоруких глаз без СПД и ПГ, что можно рассматривать как достижение толерантных значений показателей биомеханики фиброзной оболочки глаза.

На сегодняшний день данные литературы о необходимости ПИЭ при СПД разрознены. Есть единичные публикации, которые подвергают сомнению необходимость ПИЭ при СПД и ПГ в качестве лечебной и диагностической меры [16]. По другим данным, несмотря на снижение ВГД после ПИЭ, необходимость ее выполнения достоверно не обоснована [15]. По данным, сходным с нашими, авторы рекомендуют ПИЭ для улучшения прогноза заболевания [7, 17]. В пользу проведения ПИЭ при СПД и ПГ говорит также 15-летнее наблюдение за пациентами с СПД после ее проведения. Авторы заключают, что пигментация ткани трабекулы у пациентов с СПД ослабевает со временем после разрешения обратного зрачкового блока, при этом нижний квадрант очищается быстрее, чем другие квадранты. При последнем контрольном визите скорость снижения пигментации составила 37% в нижнем квадранте, тогда как в носовом, височном и верхнем квадранте она составила 28, 23 и 18% соответственно [18].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При сравнении глаз пациентов с СПД и ПГ с близорукими глазами без СПД и ПГ мы получили небольшие различия в показателях биомеханики глаза, которые не носили достоверного характера: показатели смещаемости роговицы имели более высокие значения, индекс ригидности фиброзной оболочки глаза был выше при СПД и ПГ. В то же время выявлены заметные отличия в показателе SSI между глазами с СПД, ПГ и миопическими глазами, где оказалось, что внутренняя жесткость роговицы снижена в сравнении со

Таблица 2. Изменение ВГД и биомеханических показателей фиброзной оболочки глаза при синдроме пигментной дисперсии после проведения периферической иридэктомии (ПИЭ)

Table 2. Change of IOP level and biomechanical parameters of the fibrous membrane of the eye in pigment dispersion syndrome after laser basal iridectomy (LBI)

Показатели Parameters	До ПИЭ Before LBI n = 19	После ПИЭ After LBI n = 19	Достоверность различий между группами Significance of differences between groups	Группа сравнения Comparison group n = 30
bIOP, мм рт. ст. bIOP, mm Hg	19,7 ± 1,3	16,01 ± 0,67	p = 0,015	17,67 ± 0,72
DA ratio	4,24 ± 0,18	4,41 ± 1,14	p = 0,238	4,08 ± 0,09
Integr. Radius (R), мм Integr. Radius (R), mm	7,57 ± 0,39	8,36 ± 0,30	p = 0,002	7,76 ± 0,28
SP-A1, мм рт. ст./мм SP-A1, mm Hg/mm	120,34 ± 5,35	107,80 ± 3,17	p = 0,022	118,71 ± 2,86
SSI	0,97 ± 0,03	0,94 ± 0,05	P = 0,397	1,03 ± 0,03
BGF	10,89 ± 2,60	25,32 ± 6,50	p = 0,026	21,57 ± 4,60

здоровыми эметропичными глазами (p = 0,000, p = 0,019, p = 0,005 соответственно). Этот вопрос требует дальнейшего изучения в аспекте долгосрочной безопасности проведения данным пациентам кераторефракционного вмешательства, в результате которого еще более изменяются вязкоэластические свойства роговицы. Получены также более низкие значения BGF при СПД и ПГ, чем при миопии (p = 0,025 и p = 0,015), что косвенно характеризует фиброзную оболочку глаз с СПД и ПГ как более ригидную.

Установлено, что после ПИЭ уровень биомеханически скорректированного ВГД стал достоверно ниже (p = 0,015). Мы не получили достоверных отличий по параметру DA ratio в сравниваемых группах до и после проведения ПИЭ, при этом значения Integr. Radius после этого вмешательства повысились (p = 0,002), что говорит о снижении жесткости ткани роговицы. Для интерпретации этих данных требуются дальнейшие исследования. Общая жесткость фиброзной оболочки глаза (SP-A1) после проведения ПИЭ снизилась (p = 0,022), что мы считаем благоприятным результатом. Мы получили также увеличение биомеханического глаукомного фактора (p = 0,026) после ПИЭ, который достиг значений близоруких глаз без СПД и ПГ. Данный результат можно рассматривать как положительную динамику биомеханических изменений и как косвенное свидетельство достижения толерантных значений показателей биомеханики фиброзной оболочки глаза. Эти данные позволяют считать, что ПИЭ оказывает положительное влияние не только за счет снижения ВГД, но также за счет снижения ригидности фиброзной капсулы глаза. В то же время, исходя из сниженного индекса напряжения-деформации при СПД и ПГ, выполнение кераторефракционного вмешательства следует проводить с осторожностью. Ведь помимо того, что мы имеем изначально глаза с измененной биомеханикой, при СПД и ПГ возможно повышение офталмотонуса, что оказывает дополнительное отрицательное воздействие, а хирургическое изменение биомеханических параметров может привести к неблагоприятному течению глаукомной оптиконеуропатии.

Литература/References

1. Niyadurupola N, Broadway DC. Pigment dispersion syndrome and pigmentary glaucoma: a major review. *Clin Exp Ophthalmol*. 2008 Dec; 36 (9): 868–82. doi: 10.1111/j.1442.9071.2009.01920.x

2. Ritch R, Mudumbai R, Liebmann JM. Combined exfoliation and pigment dispersion: paradigm of an overlap syndrome. *Ophthalmology*. 2000 May; 107 (5): 1004–8. doi: 10.1016/s0161 6420(00)00058 0
3. Verma N , Jawaid Q. Pigment dispersion syndrome and pigmentary glaucoma in an emmetropic young male. *Nepal J Ophthalmol*. 2020 Jan; 12 (23): 139–45. doi: 10.3126/nepjoph.v12i1.23972. PMID: 32799252.
4. Pang R, Labisi SA, Wang N. Pigment dispersion syndrome and pigmentary glaucoma: overview and racial disparities. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2023 Mar; 261 (3): 601–14. doi: 10.1007/s00417-022-05817-0
5. Doane JF, Rickstrew JJ, Tuckfield JQ, Cauble JE. Prevalence of pigment dispersion syndrome in patients seeking refractive surgery. *J Glaucoma*. 2019. May; 28 (5): 423–6. doi: 10.1097/IJG.0000000000001193
6. Yamashita T, Shiihara H, Terasaki H, et al. Characteristics of pigmentary glaucoma in Japanese individuals. *PLoS One*. 2022 Jun 23; 17 (6):e0268864. doi: 10.1371/journal.pone.0268864
7. Okafor K, Vinod K, Gedde SJ. Update on pigment dispersion syndrome and pigmentary glaucoma. *Curr Opin Ophthalmol*. 2017 Mar; 28 (2): 154–60. doi: 10.1097/ICU.0000000000000352
8. Scuderi G, Contestabile MT, Scuderi L, et al. Pigment dispersion syndrome and pigmentary glaucoma: a review and update. *Int Ophthalmol*. 2019 Jul; 39 (7): 1651–62. doi: 10.1007/s10792-018-0938-7
9. 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
10. Liu Q, Pang C, Liu C, et al. Correlations among corneal biomechanical parameters, stiffness, and thickness measured using Corvis ST and Pentacam in patients with ocular hypertension. *J Ophthalmol*. 2022 Dec 3; 2022: 7387581. doi: 10.1155/2022/7387581
11. Qassim A, Mullany S, Abedi F, et al. Corneal stiffness parameters are predictive of structural and functional progression in glaucoma suspect eyes. *Ophthalmology*. 2021 Jul; 128 (7):993–1004. doi: 10.1016/j.ophtha.2020.11.021
12. Liu MX, Li DL, Yin ZJ, et al. Corneal stress strain index in relation to retinal nerve fibre layer thickness among healthy young adults. *Eye (Lond)*. 2024 Feb 24. doi: 10.1038/s41433-024-02985-7
13. Chauhan T, Vohra S, Patyal S. Pigment dispersion syndrome diagnosed after photorefractive keratectomy A case report. *Indian J Ophthalmol*. 2020 Dec; 68 (12): 3041–3. doi: 10.4103/ijo.IJO_2706_20
14. Сахнов С.Н., Клокова О.А., Карагодина П.А., Арланова Т.И., Леонова А.А. Стратегия хирургического лечения при синдроме пигментной дисперсии и миопии. *Офтальмология*. 2023; 20 (4): 675–82. [Sakhnov S.N., Klokova O.A., Karagodina P.A., Arlanova T.I., Leonova A.A. Strategy of surgical treatment of patients with pigment dispersion syndrome and myopia. *Ophthalmology in Russia*. 2023; 20 (4): 675–82 (In Russ.)]. doi: 10.18008/1816-5095-2023-4-675-682
15. Buffault J, Leray B, Bouillot A, Baudouin C, Labbé A. Intérêt de l'iridotomie périphérique au laser dans le glaucome pigmentaire et le syndrome de dispersion pigmentaire: une revue de la littérature (In French). *J Fr Ophthalmol*. 2017 Dec; 40 (10): 889–97. doi: 10.1016/j.jfo.2017.04.006
16. Michelessi M, Lindsley K. Peripheral iridotomy for pigmentary glaucoma. *Cochrane Database Syst Rev*. 2016 Feb 12; 2 (2): CD005655. doi: 10.1002/14651858CD005655.pub2
17. Щуко А.Г., Юрьева Т.Н., Мищенко О.П., Ветрова Е.Л., Хантакова О.Ф. Эффективность лазерной иридэктомии как метода профилактики пигментной глаукомы. РМЖ. *Клиническая офтальмология*. 2007; 4: 150. [Shchuko A.G., Yurieva T.N., Mishchenko O.P., Vetrova E.L., Khantakova O.F. Effect of laser iridectomy as prophylactic method of pigment glaucoma. RMZh. *Clinical ophthalmology*. 2007; 4: 150 (In Russ.)].
18. Zhou R, Tang Q, Pu L, Qing G. Changes of trabecular meshwork pigmentation in patients with pigment dispersion syndrome: A 15-year study. *Medicine (Baltimore)*. 2021 Aug 6; 100 (31): e26567. doi: 10.1097/MD.00000000000026567

Вклад авторов в работу: А.В. Малышев — концепция и дизайн исследования; А.С. Апостолова — концепция и дизайн исследования, сбор и статистическая обработка материала, написание статьи; А.А. Сергиенко — написание и редактирование статьи; А.Ф. Тешев — сбор и обработка материала, написание статьи; Г.Ю. Карапетов — сбор и обработка материала, М.К. Ашхамыхова, Б.Н. Хацукова — редактирование статьи.

Authors' contribution: A.V. Malyshev — concept and design of the study; A.S. Apostolova — concept and design of the study, data collection and statistical processing, writing of the article; A.A. Sergienko — writing and editing of the article; A.F. Teshev — data collection and processing, writing of the article; G.Yu. Karapetov — data collection and processing; M.K. Ashkhamakhova, B.N. Hatsukova — editing of the article.

Поступила: 24.02.2024. Переработана: 27.03.2024. Принята к печати: 31.03.2024
Originally received: 24.02.2024. Final revision: 27.03.2024. Accepted: 31.03.2024

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ/INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

¹ ФГБОУ ВО «Майкопский государственный технологический университет», ул. Первомайская, д. 19, Майкоп, Республика Адыгея, 385000, Россия

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

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

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

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

Алексей Владиславович Малышев — д-р мед. наук, профессор, заведующий кафедрой офтальмологии¹, заведующий глазным отделением², ORCID 0000-0002-1448-9690

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

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

Адам Феликсович Тешев — доцент кафедры офтальмологии¹, заведующий глазным отделением⁵

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

Марина Кадыровна Ашхамыхова — ассистент кафедры офтальмологии¹, врач глазного отделения⁵

Белла Нальбиевна Хацукова — ассистент кафедры офтальмологии¹, врач глазного отделения⁵

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

¹ Maykop State Technological University, 19, Pervomaiskaya St., Maykop, Adygea Republic, 385000, Russia

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

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

⁴ Children's Regional Clinical Hospital, 1, Pobedy Square, Krasnodar, 350007, Russia

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

Alexey V. Malyshev — Dr. of Med. Sci., professor, head of chair of ophthalmology¹, head of ophthalmology department², ORCID 0000-0002-1448-9690

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

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

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

Garry Yu. Karapetov — Cand. of Med. Sci., assistant professor, chair of ophthalmology¹, ophthalmologist²

Marina K. Ashkhamakhova — assistant professor, chair of ophthalmology¹, ophthalmologist⁵

Bella N. Hatsukova — assistant professor, chair of ophthalmology¹, ophthalmologist⁵

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