



Гусева Ю.А.^{1,2} ✉, Позняк Н.И.¹, Беляковский П.В.¹

¹ Центр микрохирургии глаза VOKA, Минск, Беларусь

² Белорусский государственный медицинский университет, Минск, Беларусь

Решетчатая пластинка склеры у пациентов с миопией и первичной открытоугольной глаукомой

Конфликт интересов: не заявлен.

Вклад авторов: концепция и дизайн исследования, редактирование – Гусева Ю.А., Позняк Н.И.; сбор и обработка материала – Гусева Ю.А., Беляковский П.В.; статистическая обработка – Гусева Ю.А.; написание текста – Гусева Ю.А., Позняк Н.И.

Подана: 19.08.2024

Принята: 09.09.2024

Контакты: gusevay76@mail.ru

Резюме

Цель. Провести сравнительную оценку параметров решетчатой пластинки склеры (РПС) у пациентов с глаукомой, миопией и у здоровых лиц без глазной патологии с помощью оптической когерентной томографии (ОКТ).

Материалы и методы. В исследование включено 79 глаз 51 пациента, медиана возраста составила 55 лет [34–74]. С помощью оптической когерентной томографии (СОКТ) диска зрительного нерва (ДЗН) оценивали толщину и глубину расположения РПС, толщину преламинарной зоны, наличие и выраженность преламинарного ретиношизиса; рельеф передней (глазной) и задней (мозговой) поверхностей РПС; толщину хориоидеи и толщину слоя нервных волокон сетчатки (СНВС). Наблюдали 3 группы пациентов: I – пациенты с осевой миопией с величиной передне-задней оси (ПЗО) глаза более 24 мм (36 глаз); II – пациенты с диагнозом «первичная открытоугольная глаукома» (ПОУГ) II–III стадии (27 глаз); III группа – контрольная (16 глаз). Статистическая обработка данных проведена с использованием статистических пакетов Statistica 10,0 for Windows, расчета коэффициентов корреляции Пирсона, Спирмена. При сравнении групп применяли критерий Краскела – Уоллиса, Манна – Уитни.

Результаты. В глазах пациентов с миопией по мере увеличения ПЗО выявлена тенденция к снижению толщины хориоидеи и преламинарной зоны ($U=152,5$; $p<0,0074$), повышению рефлективности в центральных отделах РПС периваскулярно, наблюдалось формирование гамма-зоны перипапиллярной атрофии (ППА). В результате сравнения параметров РПС во II и III группах у пациентов с ПОУГ нами определено уменьшение толщины РПС ($U=34,500$; $p<0,00016$); увеличение глубины ее расположения ($U=152,5$; $p<0,0074$); а также снижение толщины хориоидеи ($U=42,00$; $p<0,00046$) и уменьшение толщины СНВС ($U=44,50$; $p<0,00064$) по сравнению с контрольной группой. Нами установлено, что при удлинении ПЗО глаз происходило прогрессивное увеличение диаметра отверстия в мембране Бруха (МБ) у пациентов II группы с миопией в сочетании с ПОУГ, что усугубляло изменения структуры РПС и сопровождалось снижением толщины преламинарной зоны. Выявлено неравномерное увеличение пористости и появление гипорефлективных дефектов, а также деформация контуров поверхностей РПС у пациентов с ПОУГ. У 33,3% пациентов с развитой



стадией ПОУГ мы наблюдали признак деформации заднего контура РПС – его проминенция кзади.

Преламинарный ретиношизис нами определялся у пациентов во всех группах, но частота встречаемости выраженного ретиношизиса преобладала у пациентов с ПОУГ ($R=0,561$; $p<0,05$). Частота встречаемости сосочка Бергмейстера в исследуемых группах составила: в I группе – 52,78%, II – 56,3%, III – 50,0%. Чаще он определялся в глазах со сниженной толщиной хориоидеи и преламинарной зоны ($R= -0,414$; $p<0,05$), что позволяет его рассматривать как предиктор выраженного преламинарного ретиношизиса у пациентов с ПОУГ.

Заключение. Представленные нами особенности параметров РПС (ее толщины, глубины, структуры, рельефа поверхностей) отражают изменения соединительной ткани, лежащие в основе патогенеза прогрессирующей миопии и ПОУГ. Нами определено, что с увеличением возраста наблюдаются тенденции к более поверхностному смещению РПС, дезорганизации ее структуры и деформации ее передней поверхности у пациентов во всех группах. Учитывая информативность ОКТ в оценке количественных и качественных параметров РПС, можно использовать их изменения как ОКТ-критерии риска возникновения, ранней диагностики и прогрессирования ПОУГ и миопии, а визуализацию РПС следует включить в протокол ОКТ ДЗН.

Ключевые слова: решетчатая пластинка склеры, оптическая когерентная томография, глаукома, миопия, диск зрительного нерва

Yuliya A. Huseva^{1,2} ✉, Mikalai I. Pazniak¹, Pavel V. Beliakovski¹

¹ Eye Microsurgery Centre VOKA, Minsk, Belarus

² Belarusian State Medical University, Minsk, Belarus

Lamina Cribrosa of the Sclera in Patients with Myopia and Primary Open-Angle Glaucoma

Conflict of interest: nothing to declare.

Authors' contribution: study conception design, editing – Huseva Y., Pazniak M.; material collection and processing – Huseva Y., Beliakovski P.; statistical processing – Huseva Y.; text writing – Huseva Y., Pazniak M.

Submitted: 19.08.2024

Accepted: 09.09.2024

Contacts: gusevay76@mail.ru

Abstract

Purpose. To analyze comparatively the lamina cribrosa (LC) of sclera in patients with glaucoma, myopia and individuals without eye pathology using optical coherence tomography (OCT).

Materials and methods. The study included 79 eyes of 51 patients, the median age was 55 years [34–74]. The thickness and the depth of the LC, the thickness of the prelaminar zone, the presence and severity of the prelaminar retinoschisis; the relief of the anterior (ocular) and posterior (cerebral) surfaces of the LC and the thickness of the choroid and the retinal nerve fiber layer (RNFL) were assessed using OCT of the optic nerve head (ONH). Three groups of patients were distinguished: I – patients with axial myopia with axial

length (AL) more than 24 mm (36 eyes); II – patients with primary open-angle glaucoma (POAG) stages II–III (27 eyes); III – control group (16 eyes). Statistical data processing was carried out using Statistica 10.0 for Windows, calculation of the Pearson's and Spearman's correlation coefficients. The groups were compared using the Kruskal – Wallis and Mann – Whitney tests.

Results. A tendency towards a decrease in the thickness of the choroid and prelaminar zone ($U=152.5$; $p<0.0074$), an increase in the reflectivity of the LC central parts and the formation of the gamma zone of peripapillary atrophy (PPA) were revealed in myopic eyes as the axial length increased. Comparison of LC of sclera in patients in groups II and III resulted in revealing decline in the LC thickness ($U=34.500$; $p<0.00016$); an increase in the depth of LC location ($U=152.5$; $p<0.0074$); a decrease in the choroidal thickness ($U=42.00$; $p<0.00046$) and a reduction in the RNFL thickness ($U=44.50$; $p<0.00064$) in patients with POAG compared to the control group.

A progressive increase in the diameter of the opening in the Bruch's membrane (BM) in patients of group II with myopia in combination with POAG were found. This increase with the lengthening of the AL of the eyes aggravated the changes in the structure of the LC and was accompanied by a decrease in the thickness of the prelaminar zone. An uneven growth in the porosity and the appearance of hyporeflective defects, as well as deformation of the LC surfaces in the group with POAG were detected. The sign of deformation of the LC posterior contour, its prominence posteriorly was found in 33.3% of patients with POAG. Prelaminar retinoschisis was detected in patients of all groups, but the frequency of occurrence of severe retinoschisis was higher in patients with POAG ($R=0.561$; $p<0.05$). The frequency of Bergmeister papilla in the studied groups was: in I group – 52.78%, II – 56.3%, III – 50.0%. It was more often detected in the eyes with reduced thickness of the choroid and prelaminar zone ($R = -0.414$; $p<0.05$), therefore it can be regarded as a predictor of severe prelaminar retinoschisis.

Conclusions. The presented patterns in the variability of the LC parameters (its thickness, depth, structure, surface relief) reflect changes in the connective tissue underlying the pathogenesis of progressive myopia and POAG. The in patients with axial myopia and POAG compared to the control group were revealed. The age-related tendencies of more superficial displacement of the LC, disorganization of its structure and deformation of its anterior surface were observed in patients of all groups. The quantitative and qualitative parameters of the LC received with OCT are considered to be used as OCT criteria for the risk of occurrence, early diagnosis and progression of POAG and myopia, and visualization of LC of sclera is recommended to be included in the OCT protocol of the optic nerve head.

Keywords: lamina cribrosa, optical coherence tomography, glaucoma, myopia, optic disc

■ ВВЕДЕНИЕ

Известно, что в патогенезе прогрессирующей миопии и глаукомы, которые остаются одними из самых актуальных проблем офтальмологии, характерные изменения соединительной ткани с ее ремоделированием играют важную роль [1]. Однако стимулы и механизмы, которые обуславливают изменения, различаются между этими 2 заболеваниями. При миопии перестройка соединительной ткани и изменение ее состава вызваны визуальными сигналами и приводят к осевому удлинению глазного

яблока [2], тогда как при глаукоме повышение внутриглазного давления и сосудистые механизмы запускают ремоделирование соединительной ткани и, прежде всего, вызывают изменение биомеханических свойств решетчатой пластинки склеры (РПС), изучению которых посвящен ряд фундаментальных работ Иомдиной Е.Н. с соавторами [3]. Деформации РПС блокируют аксоплазматический ток в аксонах ганглиозных клеток сетчатки, ведут к компрессии капилляров, в результате чего возникает ишемический инсульт аксонов. Впервые как объект изучения РПС вызвала интерес именно в патогенезе оптической нейропатии при глаукоме – ведущей причине необратимой слепоты у от 4,5 до 14,0 млн человек в мире [4]. В то же время изменения РПС, через которую проникают аксоны ганглиозных клеток сетчатки, входят в ключевые звенья патогенеза различных форм оптической нейропатии (ишемическая, воспалительная, компрессионная, инфильтративная, травматическая, митохондриальная, пищевая, токсическая, наследственная).

Если до недавнего времени исследовать РПС можно было лишь гистологически, то на современном этапе метод оптической когерентной томографии (ОКТ) сделал возможным не только визуализацию РПС, но и измерение ее параметров [5–8].

■ ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

С помощью ОКТ провести сравнительную оценку параметров РПС у пациентов с глаукомой, миопией и у здоровых лиц без глазной патологии.

■ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследование включен 51 пациент (79 глаз), медиана возраста составила 55 лет [34–74].

Всем пациентам помимо базового офтальмологического обследования (визометрия, авторефрактометрия, биомикроскопия, офтальмоскопия, биометрия, периметрия, тонометрия) проводили спектральную оптическую когерентную томографию (СОКТ) с помощью спектрального оптического когерентного томографа REVO NX 130 (OPTOPOL Technology). Использовали протокол исследования диска зрительного нерва (ДЗН) (радиальное и 3D-сканирование) и следующие параметры: размер радиального скана 6×6 мм, разрешение В-скана 2048, скорость сканирования до 130000 А-сканов в секунду.

Пациенты разделены на группы, представленные в табл. 1.

Таблица 1
Характеристика пациентов, обследованных на ОКТ
Table 1
Characteristic of patients examined with OCT

Параметры	I группа Миопия N=36	II группа Глаукома (ПОУГ) N=27	III группа Контроль N=16
Возраст пациента, Ме, лет	30 [24–44]	74,00 [62,00–80,00]	42,50 [29,50–49,00]
ПЗО глаза, мм	25,20 [24,65–26,21]	23,79 [22,87–24,51]	23,39 [22,49–23,75]
БТМ, мм рт. ст.	16,5±2,3	17,0±1,1	17,5±1,4

Примечание: достоверность различий в группах <0,05.

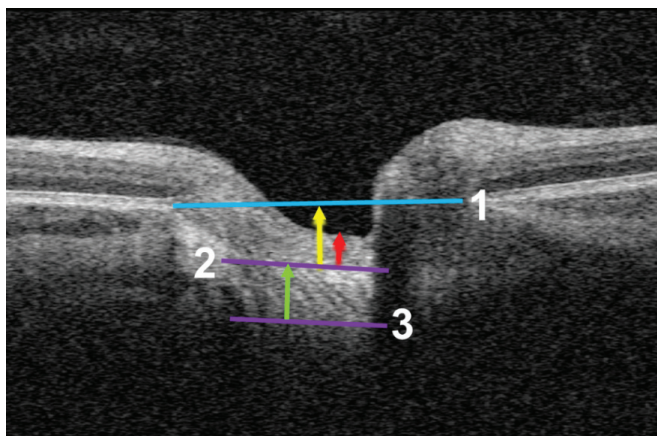


Рис. 1. ОКТ-скан и определяемые параметры: 1 – линия между концами отверстия в МБ; 2 – передняя поверхность РПС; 3 – задняя поверхность РПС

Fig. 1. OCT scan and determined parameters: 1 – line between the ends of the hole in the Bruch's membrane; 2 – front surface of the lamina cribrosa of the sclera; 3 – rear surface of the lamina cribrosa of the sclera

В I группу вошли пациенты с осевой миопией с величиной ПЗО глаза более 24 мм (36 глаз). Во II группу включены пациенты с диагнозом «первичная открытоугольная глаукома» (ПОУГ) II—III стадии с компенсированным внутриглазным давлением (ВГД) (27 глаз). В III группу (контрольную) включены практически здоровые пациенты без глазной патологии (16 глаз), без элонгации глазного яблока (медиана ПЗО составила 23,39 мм). Все пациенты не имели сопутствующей глазной патологии и тяжелых соматических заболеваний. В анамнезе пациентов с глаукомой присутствовала ишемическая болезнь сердца (ИБС).

На томограммах оценивали следующие параметры (рис. 1): глубину расположения РПС (ее определяли как расстояние от плоскости отверстия в мембране Бруха (МБ) до передней границы РПС) – желтая стрелка; толщину РПС – зеленая стрелка; толщину преламинарной зоны – красная стрелка; наличие и выраженность преламинарного ретиношизиса; рельеф передней (глазной) и задней (мозговой) поверхностей РПС. Толщину хориоидеи перипапиллярно рассчитывали мануально; за толщину слоя нервных волокон сетчатки (CHVC) принимали общее среднее значение в ОКТ-протоколе.

Статистическая обработка данных проведена с использованием статистических пакетов Statistica 10.0 for Windows, расчета коэффициентов корреляции Пирсона, Спирмена. При сравнении групп применяли критерий Краскела – Уоллиса, Манна – Уитни.

■ РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате сравнения параметров РПС у пациентов с миопией и контрольной группы статистически достоверных различий в толщине РПС, преламинарной зоны, в глубине расположения РПС нами не установлено (табл. 2).

Таблица 2
Сравнительная характеристика параметров РПС в I и в III группах
Table 2
Comparative characteristics of LC parameters in groups I and III

Группа пациентов	Толщина РПС, мкм	Глубина РПС, мкм	Толщина преламинарной зоны, мкм
I группа Миопия (N=36)	Me 193,00 [170,00–237,00]	Me 319,50 [256,50–372,00]	Me 111,50 [72,00–139,00]
III группа контрольная (N=16)	Me 224,00 [204,00–252,50]	Me 352,00 [277,00–451,50]	Me 132,00 [86,50–150,00]

Примечание: достоверность различий в группах <0,05.

В большинстве случаев структура РПС в I группе (52,78%) и III группе (68,75%) выглядела однородной, поры с пучками аксонов проходили параллельно друг другу, были распределены равномерно, четко дифференцировались передняя глазная и задняя мозговая поверхности РПС (рис. 2).

Установлено, что с увеличением ПЗО в 36,11% близоруких глаз наблюдалась тенденция к повышению рефлексивности в центральных отделах РПС за счет соединительной ткани, окружающей центральные артерию и вену сетчатки (рис. 3).

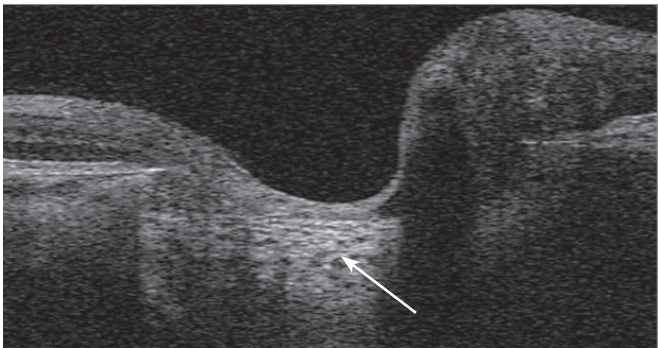


Рис. 2. ОКТ-скан ДЗН, ПЗО 24,59 мм (структура РПС обозначена стрелкой)
Fig. 2. OCT-scan of the optic disc, AL 24.59 mm (the structure of the LC is indicated by the arrow)

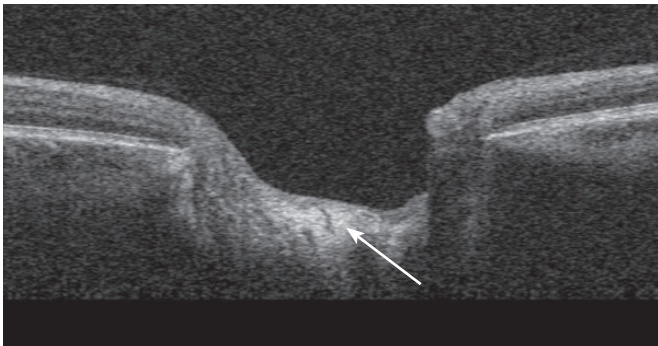


Рис. 3. ОКТ-скан ДЗН, ПЗО 26,32 мм (структура РПС обозначена стрелкой)
Fig. 3. OCT-scan of the optic disc, AL 26.32 mm (the structure of the LC is indicated by the arrow)

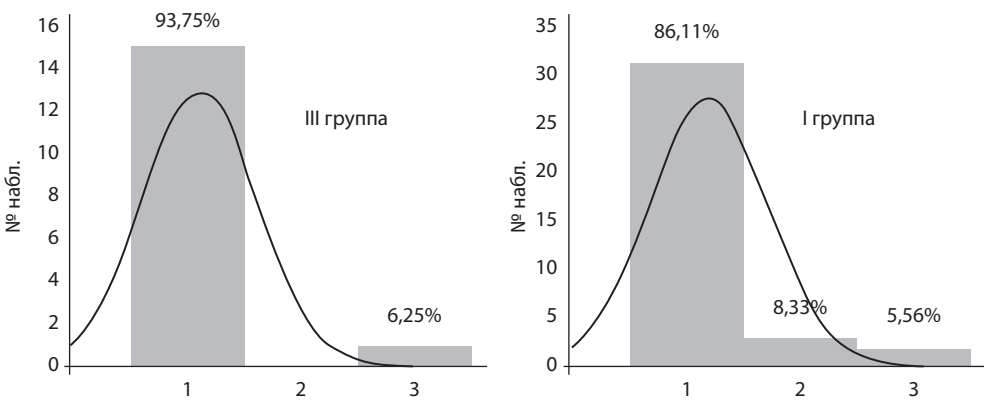


Рис. 4. Контур передней поверхности РПС: 1 – ровный дугобразный; 2 – уплощен; 3 – неровный деформированный
Fig. 4. Contour of the anterior surface of the LC: 1 – smooth, arc-shaped; 2 – flattened; 3 – uneven, deformed

Контур задней поверхности РПС имел форму пологой дуги и не отличался в I и III группах.

Не было обнаружено различий также в контуре передней поверхности РПС в данных группах. В большинстве глаз он был ровным дугобразным, за исключением случаев наклонного ДЗН, когда наблюдалась деформация передней поверхности РПС (рис. 4).

Нами выявлено, что толщина хориоидеи в группе пациентов с миопией была достоверно меньше (медиана 149,25 [132,38–178,75] мкм), чем в контрольной группе

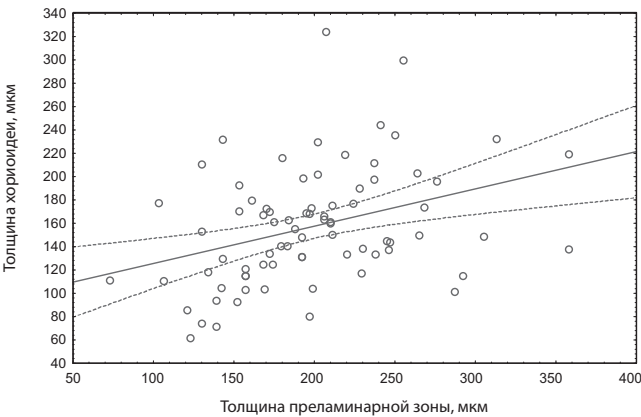


Рис. 5. Диаграмма рассеяния, демонстрирующая взаимосвязь между толщиной преламинарной зоны и толщиной хориоидеи (R=0,398; p<0,05)
Fig. 5. Scatterplot demonstrating the relationship between the prelaminar zone thickness and the choroidal thickness (R=0.398; p<0.05)

(медиана 199,85 [161,75–234,0] мкм). Наблюдаемое нами снижение толщины хориоидеи и преламинарной зоны по мере увеличения ПЗО (>26,3 мм) может служить доказательством начальных нарушений микроциркуляции в глазах с миопией ($U=152,5$; $p<0,0074$), что отмечается в данных литературы [9, 10].

Нами установлено формирование гамма-зоны перипапиллярной атрофии (ППА), в проекции которой отсутствовали ретинальный пигментный эпителий (РПЭ) и МБ, визуализировалась склера и СНВС наряду со снижением толщины хориоидеи и преламинарной зоны в глазах с миопией. Причиной формирования этих изменений, вероятно, является смещение МБ в связи с непропорциональным ростом между участками склеры, хориоидеи и сетчатки [11–13].

В результате сравнения свойств РПС в II и III группах нами выявлены достоверные морфометрические различия между ними (табл. 3): по сравнению с контрольной группой у пациентов с глаукомой уменьшение толщины РПС (на 59 мкм) ($U=34,500$; $p<0,00016$); увеличение глубины расположения РПС (на 60 мкм) ($U=152,5$; $p<0,0074$); снижение толщины хориоидеи (на 20,5 мкм) ($U=42,00$; $p<0,00046$) и уменьшение толщины СНВС (на 16 мкм) ($U=44,50$; $p<0,00064$).

В результате сравнения параметров РПС установлено, что у части пациентов (9 (33,3%)) II группы, у которых миопия сочеталась с глаукомой, удлинение ПЗО глаза коррелировало с прогрессивным увеличением диаметра отверстия в МБ (медиана 1873,00 [1726,00–1916,00] мкм) по сравнению с пациентами той же группы без миопии (18 (66,7%)), у которых медиана отверстия в МБ составляла 1678,00 [1584,00–1775,00] мкм. Вышеуказанные различия, в свою очередь, сопровождались более выраженными изменениями РПС и снижением толщины преламинарной зоны (рис. 6, 7), что согласуется с данными литературы [13].

С помощью ОКТ установлены не только морфометрические, но и характерные для ПОУГ качественные признаки дезорганизации структуры РПС: неравномерное увеличение пористости и появление гипорефлективных дефектов, а также деформация контуров ее поверхностей (рис. 8).

Появление характерных очаговых дефектов РПС в глазах пациентов, страдающих от глаукомы в сочетании с миопией высокой степени, вероятно, обусловлено уменьшением количества хориокапилляров [14, 15]. В 33,3% глаз с ПОУГ нами определен признак деформации заднего контура РПС – его проминенция – провисание кзади, обусловленное, вероятно, уменьшением эластичности РПС под воздействием повышенного ВГД (рис. 9).

Таблица 3
Сравнительная характеристика параметров РПС во II и III группах
Table 3
Comparative characteristics of parameters of LC in II and III groups

Группа пациентов	Толщина РПС, мкм	Глубина РПС, мкм	Толщина хориоидеи, мкм	Толщина СНВС, мкм
II группа Глаукома (N=18)	Me 155,00 [139,00–184,00]	Me 412,00 [376,00–498,00]	Me 111,50 [72,00–139,00]	Me 101,00 [84,00–112,00]
III группа Контроль (N=16)	Me 224,00 [204,00–252,50]	Me 352,0 [277,00–451,50]	Me 132,00 [86,50–150,00]	Me 117,00 [114,50–124,00]

Примечание: достоверность различий в группах <0,05.

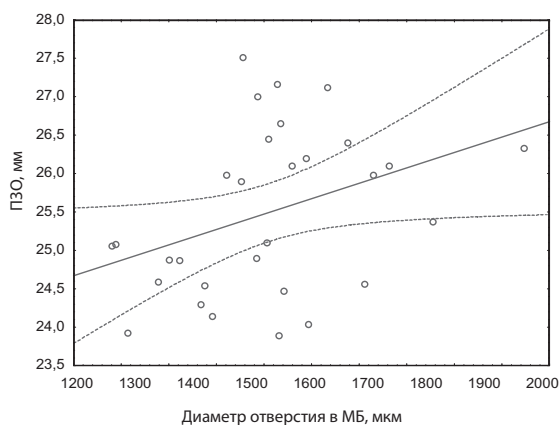


Рис. 6. Диаграмма рассеяния, демонстрирующая взаимосвязь между величиной ПЗО глаза и диаметром отверстия в МБ ($r=0,37$; $p=0,04$)

Fig. 6. Scatterplot demonstrating the relationship between the AL and the diameter of the BM opening ($r=0,37$; $p=0,04$)

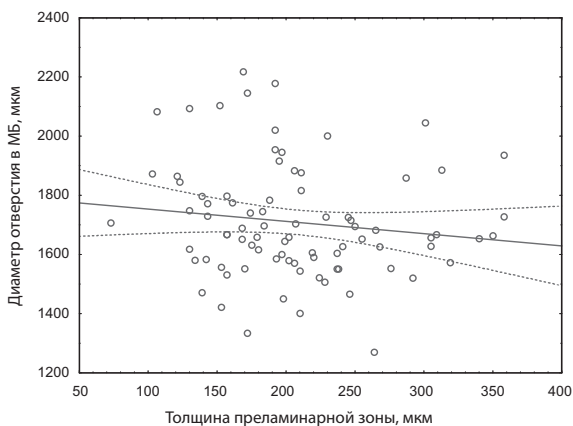


Рис. 7. Диаграмма рассеяния, демонстрирующая взаимосвязь между диаметром отверстия в МБ и толщиной преламинарной зоны ($r=0,24$; $p=0,04$)

Fig. 7. Scatterplot showing the relationship between BM opening diameter and prelaminar thickness ($r=0,24$; $p=0,04$)

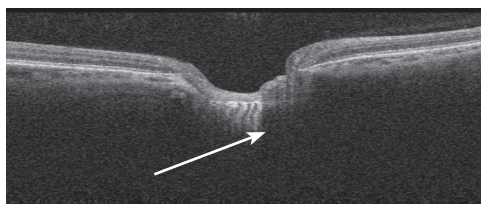
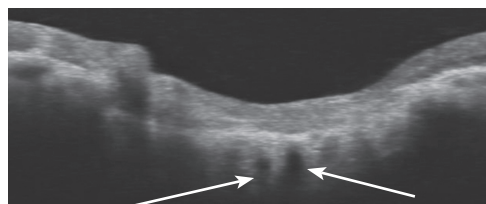


Рис. 8. ОКТ-сканы ДЗН пациента из группы IIB, ПЗО 27,5 мм (стрелками показаны участки дезорганизации структуры РПС)

Fig. 8. OCT-scans of the optic disc of a patient from group IIB, AL 27.5 mm (arrows indicate areas of disorganization of the LC structure)

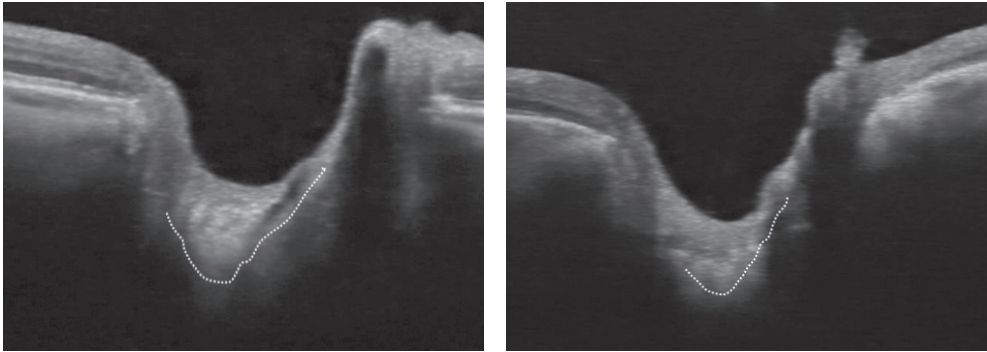


Рис. 9. ОКТ-скан пациента с ПОУГ (белой линией обозначен контур задней поверхности РПС)
Fig. 9. OCT-scan of a patient with POAG (the white line indicates the contour of the posterior surface of the LC)

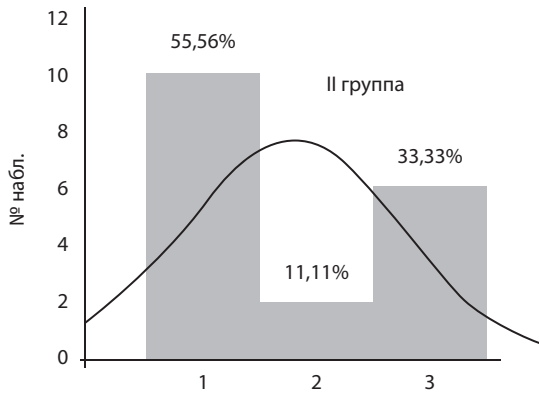


Рис. 10. Характеристика профиля задней поверхности РПС во II группе: 1 – пологая дуга; 2 – не определяется; 3 – провисание кзади
Fig. 10. Characteristics of the profile of the LC posterior surface in II group: 1 – flat arc; 2 – not determined; 3 – sagging backwards

В случаях глаукомы с низким давлением нами выявлен феномен «обратного прогиба» РПС. Он вызван, по-видимому, влиянием 2 противодействующих сил: внутриглазного давления и давления ликвора в межоболочечных пространствах ЗН, в результате чего развивается гипотония (рис. 11).

У пациентов всех исследуемых групп нами выявлен преламинарный ретиношизис – расщепление слоев сетчатки кпереди от РПС. Установлено, что частота встречаемости выраженного ретиношизиса преобладала у пациентов с глаукомой ($R=0,561$; $p<0,05$) (рис. 12).

Полученные нами данные о строении РПС говорят о различном генезе изменений в преламинарной зоне у пациентов исследуемых групп. В глазах с миопией формирование преламинарного ретиношизиса можно объяснить растяжением склеры, а вместе с ней – и других оболочек глазного яблока, а у пациентов с ПОУГ

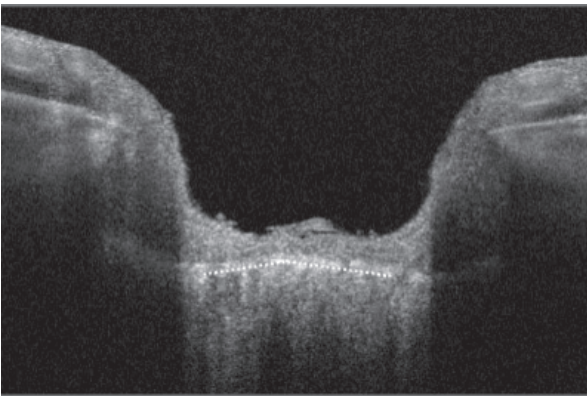


Рис. 11. ОКТ-скан ДЗН пациента с глаукомой с низким давлением (белой линией обозначен контур РПС, феномен «обратного прогиба»)
Fig. 11. OCT-scan of the optic disc of a patient with low-pressure glaucoma (the white line indicates the contour of the LC, the phenomenon of "reverse deflection")

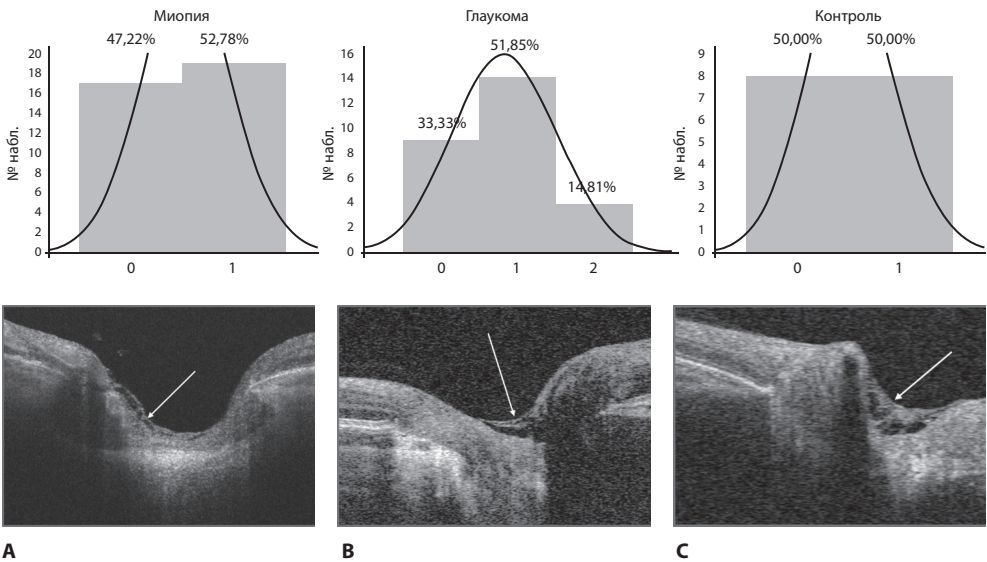


Рис. 12. Преламинарный ретиношизис у пациентов с миопией, глаукомой и контрольной группы по степени выраженности на ОКТ-сканах: 0 – отсутствует; 1 – начальный (А); 2 – выраженный (В, С)
Fig. 12. Prelaminar retinoschisis in the group of patients with myopia, glaucoma and control by the degree of expression on OCT-scans: 0 – absent; 1 – initial (A); 2 – pronounced (B, C)

он обусловлен «проседанием», то есть уменьшением толщины РПС, СНВС в ответ на сосудистые нарушения и изменения биомеханических свойств РПС [16].

Представляет интерес обнаруженный нами и видимый исключительно на ОКТ-скане фиброзный остаток гиалоидной артерии у центра ДЗН – сосочек Бергмейстера (Bergmeister's papilla) (рис. 13) [17, 18].

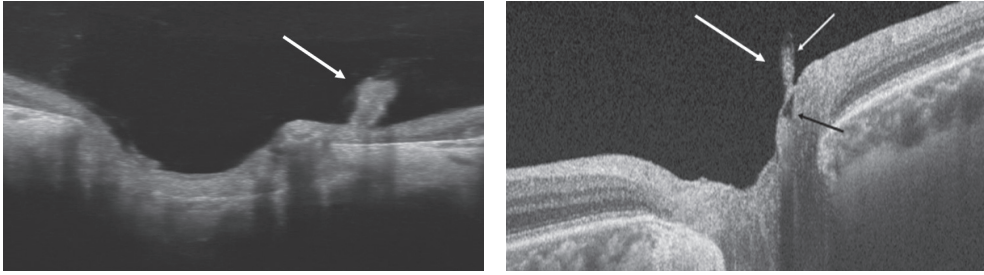


Рис. 13. Сосочек Бергмейстера на ОКТ-скане (обозначен белыми стрелками, черная стрелка указывает на начальный преламинарный ретиношизис)
Fig. 13. Bergmeister papilla on OCT-scan (marked with white arrows, black arrow indicates the initial prelaminar retinoschisis)

Нами установлено, что, несмотря на отсутствие достоверных различий в частоте его встречаемости в исследуемых группах (в I группе – 52,78%, II – 56,3%, III – 50,0% случаев), сосочек Бергмейстера чаще определялся в глазах со сниженной толщиной хориоидеи и преламинарной зоны ($R = -0,414$; $p < 0,05$). С нашей точки зрения, его можно расценивать как предиктор выраженного преламинарного ретиношизиса.

В результате изучения возрастных особенностей РПС у пациентов исследуемых групп нами установлено, что с увеличением возраста наблюдались тенденции к более поверхностному (по направлению к сетчатке) смещению РПС (рис. 14), к дезорганизации структуры РПС (рис. 15) и деформации ее передней поверхности во всех группах (рис. 16). Выявленные возрастные особенности РПС, на наш взгляд, обусловлены ремоделированием ее структуры, что находит подтверждение в результатах исследований других авторов [1–3].

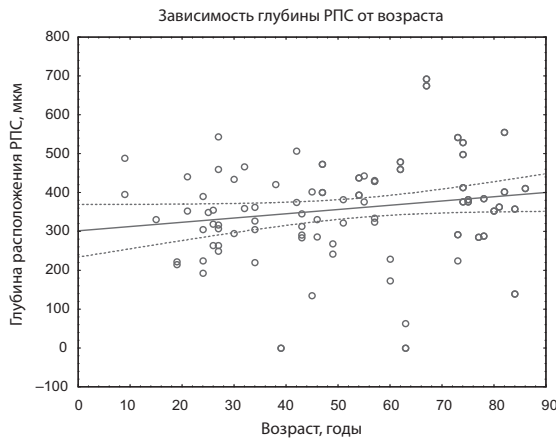


Рис. 14. Диаграмма рассеяния, демонстрирующая зависимость глубины расположения РПС от возраста ($R=0,200$; $p<0,05$)
Fig. 14. Scatterplot showing the relationship between the depth of the LC and age ($R=0.200$; $p<0.05$)

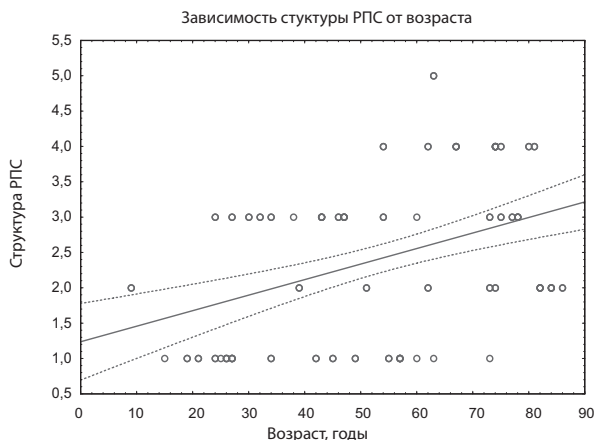


Рис. 15. Диаграмма рассеяния, демонстрирующая зависимость структуры РПС от возраста ($R=0,400$; $p<0,05$)

Fig. 15. Scatterplot showing the dependence of the LC structure on age ($R=0.400$; $p<0.05$)

Таким образом, полученные нами данные во многом согласуются с результатами исследований, подтверждающих роль склеры в патогенезе прогрессирующей осевой миопии и глаукомы [1–3, 5, 7, 19, 20]. Согласно трехфакторной теории развития миопии, сформулированной Аветисовым Э.С., именно слабость опорной соединительной ткани способствует удлинению глазного яблока [2]. Увеличение ПЗО глаза сопровождается снижением биомеханической прочности, растяжением и истончением склеры, которое усугубляется микроциркуляторными нарушениями. В работах ряда авторов описано, что вслед за склерой происходит растяжение и других оболочек глазного яблока [1, 10, 18]. Эти данные нашли подтверждение и в

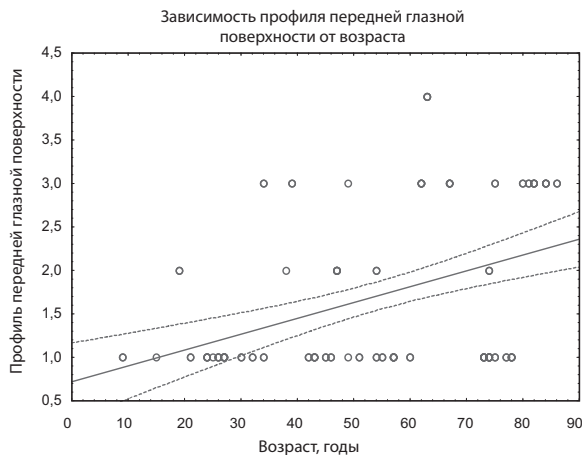


Рис. 16. Диаграмма рассеяния, демонстрирующая зависимость профиля передней поверхности РПС от возраста ($R=0,422$; $p<0,05$)

Fig. 16. Scatterplot showing the dependence of the anterior surface profile of the LC on age ($R=0.422$; $p<0.05$)



нашем исследовании: у пациентов с миопией по мере роста ПЗО глаза и растяжения склеры нами наблюдалось уменьшение толщины хориоидеи и преламинарной зоны. В связи с неравномерным растяжением хориоидеи и сетчатки на фоне увеличения диаметра отверстия в МБ мы наблюдали формирование зоны ППА. По мнению Иомдиной Е.Н., Киселевой О.А., Петрова С.Ю. и других авторов, ослаблению биомеханической устойчивости склеры предшествует изменение ее состава, в частности коллагена и иных белков [3, 19]. В этой связи выявленное нами увеличение рефлексивности в центральных отделах РПС на ОКТ-сканах, по нашему мнению, является косвенным доказательством структурных изменений соединительной ткани.

В глазах с глаукомой снижение эластичности и ригидность склеры в области РПС обусловлены нагрузкой на нее под влиянием повышенного ВГД [1, 15, 20]. Изменение распределения, толщины и ориентации коллагеновых волокон в РПС, описанное в работах других авторов [19], в нашем исследовании находит подтверждение в виде определенного нами на ОКТ-скане увеличения гипорефлексивных фокусов в связи с дезорганизацией структуры РПС.

Нами выявлено, что в глаукомном глазу к признакам перестройки соединительной ткани присоединялись признаки деформации нервной ткани, обусловленные «уязвимостью» аксонов ЗН в месте прохождения их через РПС. Наряду со снижением толщины РПС и увеличением глубины ее расположения, мы наблюдали уменьшение толщины СНВС и усиление выраженности преламинарного ретиношизиса. Необходимо подчеркнуть важность проводить оценку изменений РПС на ОКТ, потому что ремоделирование РПС при глаукоме предшествовало потере толщины СНВС в глазах исследуемых нами пациентов.

Известно, что изменения оболочек в глазу с миопией предрасполагают к патологическому ремоделированию соединительной ткани и являются фактором риска развития глаукомы [9, 10, 13, 16–18]. В нашем исследовании выявлено, что у пациентов с миопией в сочетании с ПОУГ рост ПЗО коррелировал с увеличением отверстия в МБ, а следовательно, и с расширением склерального канала, что, в свою очередь, усугубляло выраженность изменений в глазу: усиливались деформации РПС, в ней появлялись грубые очаговые дефекты, происходило прогрессирующее снижение толщины хориоидеи, преламинарной зоны, РПС и формировался изгиб РПС кзади.

Таким образом, выявленные нами изменения в РПС у пациентов с миопией и ПОУГ, по нашему мнению, следует рассматривать как индикаторы изменений соединительнотканной оболочки глаза, а склеральные деформации, в свою очередь, определяют прогноз зрительных функций.

Исследование роли соединительной ткани в патогенезе заболеваний и поиск маркеров в диагностике прогрессирования миопии и глаукомы могут быть приняты во внимание при разработке патогенетического лечения, направленного на регуляцию ремоделирования соединительной ткани.

■ ВЫВОДЫ

1. Для РПС-пациентов с миопией характерно уменьшение толщины хориоидеи (Me 149,25 [132,38–178,75] мкм) и преламинарной зоны (Me 111,50 [72,00–139,00] мкм) по сравнению с контрольной группой, формирование гамма-зоны ППА и тенденция к увеличению рефлексивности в центральных отделах РПС периваскулярно по мере роста ПЗО глаза ($p < 0,05$).

2. У пациентов с ПОУГ II–III стадии репрезентативно уменьшение толщины РПС (Me 155,00 [139,00–184,00] мкм) и увеличение глубины расположения РПС (Me 412,00 [376,00–498,00] мкм) по сравнению с контрольной группой наряду с тенденцией к снижению толщины хориоидеи и СНВС; изменение структуры РПС (неравномерное увеличение пористости, формирование гипорефлективных дефектов); деформация с проминенцией кзади заднего контура РПС (в 33,3% случаев) и увеличение частоты встречаемости выраженного ретиношизиса ($p < 0,05$).
3. В глазах пациентов с ПОУГ и миопией прогрессивное увеличение диаметра отверстия в МБ сочетается с усилением изменений РПС (появлением характерных очаговых дефектов) и более выраженным снижением толщины преламинарной зоны (Me 116,00 [69,00–153,00] мкм) ($p < 0,05$).
4. Изменения в РПС у пациентов с миопией, ПОУГ отражают преобразования соединительнотканной оболочки глаза, что может играть существенную роль в патогенезе этих заболеваний.
5. Учитывая информативность ОКТ в оценке количественных и качественных параметров РПС, их изменения можно использовать в качестве предикторов прогрессирования миопии и ПОУГ, а визуализацию РПС следует включить в протокол ОКТ ДЗН.

■ ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Grytz R. *Scleral remodelling in myopia / Biomechanics of the Eye*. Cynthia Roberts J., Dupps William J., Crawford Downs J. Kugler Publications. Amsterdam; 2018. P. 383–403.
2. Avetisov S.E., Bubnova I.A., Antonov A.A. Clinical and experimental aspects of studying the biomechanical properties of the fibrous membrane of the eye. *Vest. Ophthalmol.* 2013;5:82–90.
3. Kiseleva O.A., Iomdina E.N., Yakubova L.V., Khoziev D.D. Lamina cribrosa in glaucoma: biomechanical properties and possibilities of their clinical control. *Rus Ophthalmol J.* 2018;11(3):76–83. doi: 10.21516/2072-0076-2018-11-3-76-83. (in Russian)
4. Park H.-Y.L., Park C.K. Diagnostic capability of lamina cribrosa thickness by enhanced depth imaging and factors affecting thickness in patients with glaucoma. *Ophthalmology.* 2013;120(4):745–752. doi: 10.1016/j.ophtha.2012.09.051
5. Paulo A., Vaz P.G., Jesus D.A.D., et al. Optical coherence tomography imaging of the lamina cribrosa: Structural biomarkers in nonglaucomatous diseases. *J Ophthalmol.* 2021;8844614:1–31. doi: 10.1155/2021/8844614
6. Tun T.A., Thakku S.G., Png O., et al. Shape Changes of the Anterior Lamina Cribrosa in Normal, Ocular Hypertensive, and Glaucomatous Eyes Following Acute Intraocular Pressure Elevation. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2016;57(11):4869–4877. doi: 10.1167/iov.16-19753
7. Huseva Y.A., Pazniak M.I., Beliakovski P.V. Parameters of the optic nerve head as markers of myopia progression. *Ophthalmol. East Eur.* 2023;13(3):202–216. doi: 10.34883/PI.2023.13.3.011. (in Russian)
8. Luo H., Yang H., Gardiner S.K., et al. Factors influencing central lamina cribrosa depth: a multicenter study. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2018;59(6):2357–2370. doi: 10.1167/iov.17-23456
9. Jeoung J.W., Yang H., Gardiner S., et al. Optical coherence tomography optic nerve head morphology in myopia: implications of anterior scleral canal opening versus Bruch membrane opening offset. *Am J Ophthalmol.* 2020;218:105–119. doi: 10.1016/j.ajo.2020.05.015
10. Jonas J.B., Gusek G.C., Naumann G. Optic disk morphometry in high myopia. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.* 1988;226:587–590. doi: 10.1007/BF02169209
11. AttaAllah H.R., Omar I.A.N., Abdelhalim A.S. Evaluation of optic nerve head parameters and retinal nerve fiber layer thickness in axial myopia using SD OCT. *Ophthalmol Ther.* 2017;6(2):335–341. doi: 10.1007/s40123-017-0095-5
12. Cheng D., Ruan K., Wu M., et al. Characteristics of the optic nerve head in myopic eyes using swept-source optical coherence tomography. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2022;63(6):20. doi: 10.1167/iov.63.6.20
13. Jonas J.B., Ohno-Matsui K., Jiang W.J., et al. Bruch membrane and the mechanism of myopization: A new theory. *Retina.* 2017;37(8):1428–1440. doi: 10.1097/IAE.0000000000001464
14. Nadler Z., Wang B., Wollstein G., et al. Repeatability of in vivo 3D lamina cribrosa microarchitecture using adaptive optics spectral domain optical coherence tomography. *Biomed Opt Express.* 2014;5(4):1114–1123. doi: 10.1364/BOE.5.001114
15. Tanito M., Nitta K., Katai M., et al. Differentiation of glaucomatous optic discs with different appearances using optic disc topography parameters: the Glaucoma Stereo Analysis Study. *PLoS One.* 2017;12(2):e0169858. doi: 10.1371/journal.pone.0169858
16. Chang R.T., Singh K. Myopia and glaucoma: diagnostic and therapeutic challenges. *Curr Opin Ophthalmol.* 2013;24(2):96–101. doi: 10.1097/ICU.0b013e32835cef31
17. Zhukova S.I., Yureva Yu.N., Pomkina I.V., et al. Bioretinometric criteria for the diagnostics of glaucoma associated with myopia. *National J glaucoma.* 2019;18(1):39. doi: 10.25700/NJG.2019.01.01. (in Russian)
18. Lee S., Han S.X., Young M., et al. Optic Nerve Head and Peripapillary Morphometrics in Myopic Glaucoma. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2014;55(7):4378–4393. doi: 10.1167/iov.14-14227
19. Iomdina E.N., Petrov S.Yu., Antonov A.A., Novikov I.A., Pahomova I.A., Archakov A.Y. The corneoscleral shell of the eye: potentials of assessing biomechanical parameters in normal and pathological conditions. *Ophthalmology in Russia.* 2016;13(2):62–68. doi: 10.18008/1816-5095-2016-2-62-68. (in Russian)
20. Arutyunyan L.L., Morozova Yu.S., Anisimova S.Yu., Anisimov S.I. Evaluation of morphometric parameters of the optic disc in patients with diverse clinical forms of openangle glaucoma. *Russian Ophthalmological Journal.* 2022;15(2):24–30. doi: 10.21516/2072-0076-2022-15-2-supplement-24-30. (in Russian)