



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

¹ Центр микрохирургии глаза «ВОКА», Минск, Беларусь

² Белорусский государственный медицинский университет, Минск, Беларусь

Параметры диска зрительного нерва как маркеры прогрессирования близорукости

Конфликт интересов: не заявлен.

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

Подана: 13.06.2023

Принята: 28.08.2023

Контакты: gusevay76@mail.ru

Резюме

Цель. С помощью оптической когерентной томографии (ОКТ) проанализировать параметры диска зрительного нерва (ДЗН) в качестве маркеров прогрессирования близорукости.

Материалы и методы. В исследование включены 72 пациента (144 глаза) с миопией. В зависимости от величины передне-задней оси (ПЗО) глаза выделены 4 группы: 0 – с ПЗО <24 мм; I – 24–25 мм, II – 25–26 мм, III – ПЗО >26 мм. Помимо стандартных параметров ДЗН на ОКТ оценивали: наклон ДЗН, наличие и степень хориоретинальной перипапиллярной атрофии (ППА), расположение решетчатой пластинки (РП) склеры и основных стволов центральных сосудов сетчатки. Статистическая обработка данных проведена с использованием статистических пакетов Statistica 10.0 for Windows, расчета коэффициентов корреляции Пирсона (r), Спирмена (ρ). При сравнении групп применяли критерий Краскела – Уоллиса, Манна – Уитни.

Результаты. Выявлена положительная корреляционная связь между величиной ПЗО глаза и размерами экскавации ДЗН (ее площадью, горизонтальным и вертикальным диаметрами). Установлено неравномерное изменение объема, средней и максимальной глубины экскавации ДЗН: их рост до достижения ПЗО определенного критического значения (26,3 мм), после которого уменьшалась только глубина экскавации ДЗН. Выявлена обратная корреляционная связь между величиной ПЗО глаза и размерами нейроретинального пояса (НРП) (его площадью, объемом, соотношением НРП к ДЗН). Установлено при росте ПЗО увеличение выраженности зоны ППА с тенденцией к уменьшению толщины слоя нервных волокон сетчатки (СНВС) в нижнем, назальном верхнем и верхнем секторах ДЗН. Выявлено, что расположение зоны ППА соответствует направлению наклона ДЗН. Определено, что индекс наклона увеличивается при росте ПЗО до определенного порогового значения, после которого ДЗН становится более наклонным. Выявлена отрицательная корреляционная связь между величиной ПЗО глаза и глубиной расположения РП склеры. Определено смещение стволов центральных сосудов сетчатки на ДЗН в назальном или верхне-назальном направлении ($p < 0,05$).



Заключение. С помощью ОКТ выявлены параметры ДЗН, которые могут служить маркерами прогрессирования близорукости: изменение размеров экскавации ДЗН и НРП, уменьшение глубины расположения РП склеры; «назализация» основных стволов центральных сосудов сетчатки, появление и расширение хориоретинальной ППА, формирование в ней гамма-зоны и увеличение бета-зоны; тенденция к истончению СНВС в верхнем и нижнем секторах ДЗН; наклон ДЗН с тенденцией к истончению СНВС в зависимости от направления наклона. Полученные результаты могут быть полезны при интерпретации нормативных данных у пациентов с миопией, для прогнозирования ее прогрессирования, а также в дифференциальной диагностике с глаукомной оптической нейропатией.

Ключевые слова: миопия, диск зрительного нерва, оптическая когерентная томография, наклон, экскавация, прогрессирование

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

Parameters of the Optic Nerve Head as Markers of Myopia Progression

Conflict of interest: nothing to declare.

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

Submitted: 13.06.2023

Accepted: 28.08.2023

Contacts: gusevay76@mail.ru

Abstract

The purpose. To analyze parameters in the optic nerve head (ONH) as markers of myopia progression using optical coherence tomography (OCT).

Materials and methods. 72 patients (144 eyes) with myopia were studied. Depending on the size of the axial length (AL) of the eye, 4 groups were identified: 0 = AL < 24 mm; I = 24–25 mm, II = 25–26 mm, III = AL > 26 mm. In addition to the standard parameters of the ONH in OCT, the following were also assessed: the tilt of the ONH, chorioretinal peripapillary atrophy (PPA), localization of the lamina cribrosa (LC) of the sclera and the main trunks of the central retinal vessels. Statistical data processing was carried out using Statistica 10.0 for Windows, calculation of Pearson's (r), Spearman's (ρ) correlation coefficients. The groups were compared using the Kruskal – Wallis and Mann – Whitney tests.

Results. A positive correlation between the AL of the eye and the sizes of the cup of ONH (its area, horizontal and vertical diameters) was found. An uneven change in the volume, mean and maximal depth of the cup of the ONH was established: their growth until the AL reaches a certain critical value (26.3 mm) after which the depth of the cup decreased. An inverse correlation between the AL and the size of the neuroretinal rim (NRR) (its area, volume, and the ratio of the NRR to the ONH) was determined. An increase in the severity of the PPA zone with a tendency to a decrease in the thickness of the retinal nerve fiber

layer (RNFL) in the inferior, nasal superior and superior sectors of the ONH was identified. Correspondence of the location of the PPA zone to the direction of the ONH tilt was revealed, as well as a tendency to increase the ovality index with the growth of the AL up to a certain threshold value, after which the OD ONH became more tilted. A negative correlation between the AL and the depth of localization of the LCP of the sclera was noted. The displacement of the trunks of the central retinal vessels on the ONH in the nasal or superior-nasal direction was determined ($p < 0.05$).

Conclusions. OCT revealed parameter in the ONH, which can serve as markers for the progression of myopia: changes in the size of the ONH cup and NRR, a decrease in the depth of the LC of the sclera; "nasalization" of the main trunks of the central vessels of the retina, the appearance and expansion of the chorioretinal PPA, the formation of a gamma zone in it and an increase in the beta zone; a tendency towards thinning of the RNFL in the superior and inferior sectors of the ONH; tilt of the ONH with a tendency to thinning of the RNFL depending on the direction of the tilt. The obtained results may be useful in interpreting normative data in patients with myopia, predicting its progression, as well as in differential diagnosis with glaucoma optic neuropathy.

Keywords: myopia, optic disc, optical coherence tomography, tilt, cup, progression

■ ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования обоснована прогрессирующим распространением близорукости, приобретающей масштабы пандемии, с прогнозом поражения к 2050 году 50% населения мира. При этом неизбежно развитие миопии высокой степени у 1 млрд человек [1, 2]. Увеличение процента молодого населения с миопией в последние десятилетия в сочетании с более быстрым ее прогрессированием делает миопию проблемой здравоохранения XXI века. Занимая лидирующее место среди инвалидизирующей офтальмопатологии, осложненная миопия, которая развивается у 25% пациентов с близорукостью, является одной из основных причин необратимой слепоты в мире (у 7% населения Европы, 12–27% жителей Азии) [3].

Ключевой момент в развитии миопии – аксиальная элонгация глазного яблока, которая, помимо иных глазных структур, может вызывать изменения диска зрительного нерва (ДЗН), которые не всегда коррелируют со степенью рефракции и зачастую маскируют признаки заболеваний, например, глаукомы [4]. Среди различных теорий генеза миопии нет единой научно обоснованной концепции, что диктует необходимость дальнейшего изучения маркеров, то есть изменений глазного яблока, сопутствующих прогрессированию близорукости [5–8].

■ ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

С помощью оптической когерентной томографии (ОКТ) проанализировать изменения ДЗН в качестве маркеров прогрессирования близорукости.

■ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследование были включены 72 пациента (144 глаза) в возрасте от 9 до 57 лет (средний возраст $28,21 \pm 0,98$ года) с миопией, без сопутствующей глазной патологии.



Таблица 1

Распределение пациентов по группам на основании величины аксиальной длины глаза (ПЗО) и СЭР
Table 1**Distribution of patients into groups depending on the size of the AL of the eye and SRE**

Параметры	Группа 0 (n=10)	Группа I (n=56)	Группа II (n=46)	Группа III (n=32)
Аксиальная длина, мм	23,70 (23,70; 23,92)	24,70 (24,59; 24,79)	25,26 (25,08; 25,58)	26,49 (26,27; 27,06)
СЭР, дптр	-2,00 (-3,50; -1,75)	-2,75 (-4,50; -2,38)	-5,08±1,71	-8,13 (-10,00; -7,00)

Примечание: достоверность различий в группах $p < 0,05$.Note: significance of differences in groups $p < 0,05$.

Всем пациентам было проведено общепринятое офтальмологическое обследование, включая визометрию, офтальмоскопию, биомикроскопию, авторефрактометрию, биометрию, а также ОКТ. Авторефрактометрию выполняли с помощью авторефрактометра Tomey RC-5000. Аксиальную длину глаза, передне-заднюю ось (ПЗО) измеряли на оптическом биометре WaveLight OB820. ОКТ проводили на спектральном оптическом когерентном томографе SOCT Copernicus HR, Optopol.

В зависимости от величины ПЗО глаза были выделены группы: 0 (n=10) – без аксиальной элонгации с ПЗО <24 мм (медиана 23,70); I (n=56) – с величиной ПЗО 24–25 мм (медиана 24,70), II (n=46) – ПЗО 25–26 мм (медиана 25,26), III (n=32) – ПЗО >26 мм (медиана 26,49) (табл. 1). В каждой группе рассчитывали сферический эквивалент рефракции (СЭР) как сумму сферической рефракции и половины цилиндрической (sph+1/2cyl) [5].

С помощью ОКТ были получены протоколы анализа ДЗН с реконструкцией глазного дна, с таблицей с данными по ДЗН, картой и графиком толщины слоя нервных волокон сетчатки (CHVC). Помимо стандартных параметров ДЗН на томограммах оценивали: наклон ДЗН, выраженность и расположение зоны хориоретинальной перипапиллярной атрофии (ППА), локализацию решетчатой пластинки (РП) склеры и основных стволов центральных сосудов сетчатки.

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

■ РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате исследования были определены морфометрические параметры ДЗН в исследуемых группах (табл. 2), а также выявлена положительная корреляционная связь между величиной ПЗО глаза и размерами экскавации ДЗН у пациентов с миопией.

Установлено, что по мере элонгации глазного яблока происходит рост площади экскавации ДЗН, а также ее горизонтального и вертикального диаметров, что отражено на представленных диаграммах рассеяния (рис. 1–3).

Таблица 2
Морфометрические параметры экскавации ДЗН в исследуемых группах в зависимости от величины ПЗО глаза
Table 2
Morphometric parameters of optic disc cup in the studied groups depending on the AL of the eye

Параметр ДЗН	Группа I (n=56)	Группа II (n=46)	Группа III (n=32)
Площадь экскавации, мм ²	0,18 (0,10; 0,43)*	0,49 (0,34; 0,62)*	0,36 (0,24; 0,56)*
Площадь НРП, мм ²	1,26 (1,09; 1,57)*	0,97 (0,81; 1,44)*	1,26 (1,01; 1,45)
Соотношение площади экскавации к площади ДЗН	0,10 (0,07; 0,29)*	0,32±0,13*	0,21 (0,19; 0,27)*
Объем экскавации, мм ³	0,02 (0,01; 0,07)*	0,10 (0,05; 0,16)*	0,05 (0,03; 0,08)*
Объем НРП, мм ³	0,26 (0,18; 0,37)*	0,15 (0,11; 0,24)*	0,22 (0,17; 0,24)*
Средняя глубина экскавации, мм	0,10 (0,06; 17)*	0,19±0,09*	0,13 (0,10; 0,17)*
Максимальная глубина экскавации, мм	0,21 (0,14; 0,36)*	0,46±0,16*	0,37±0,11*
Горизонтальный диаметр экскавации, мм	0,49 (0,30; 0,72)*	0,79±0,20*	0,70 (0,59; 0,81)*
Вертикальный диаметр экскавации, мм	0,52 (0,38; 0,76)*	0,85 (0,66; 0,95)*	0,71±0,17*
Соотношение горизонтального диаметра экскавации к горизонтальному диаметру ДЗН	0,35 (0,23; 0,58)*	0,58 (0,49; 0,68)*	0,48 (0,43; 0,61)*
Соотношение вертикального диаметра экскавации к вертикальному диаметру ДЗН	0,34 (0,23; 0,44)*	0,53 (0,44; 0,64)*	0,46±0,11*
Соотношение вертикального диаметра к горизонтальному диаметру ДЗН	1,17 (1,08; 1,31)*	1,09 (1,01; 1,22)*	1,12±0,16
Соотношение НРП к ДЗН	0,21 (0,04; 0,26)*	0,07 (0,03; 0,10)*	0,14 (0,07; 0,17)*

Примечание: * достоверность различий в группах p<0,05.
Note: * significance of differences in groups p<0.05.

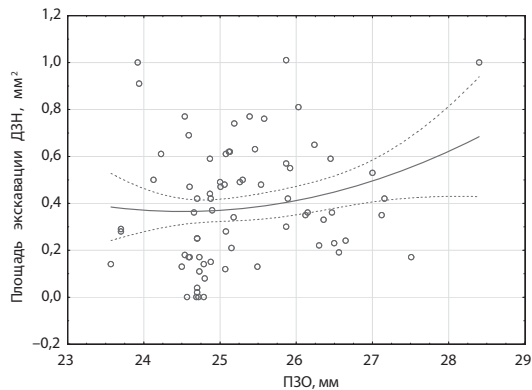


Рис. 1. Диаграмма рассеяния, демонстрирующая взаимосвязь между величиной ПЗО глаза и площадью экскавации ДЗН (r=0,18; p=0,032)
Fig. 1. Scatterplot demonstrating the relationship between the AL of the eye and the cup area of the ONH (r=0.18; p=0.032)

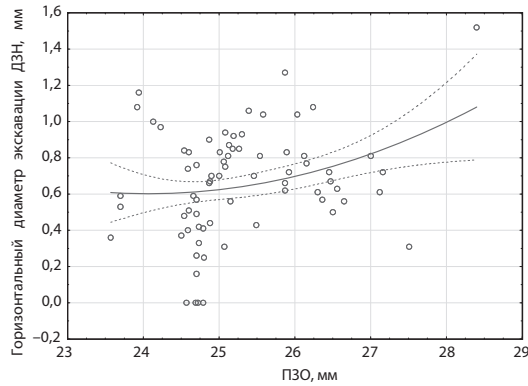


Рис. 2. Диаграмма рассеяния, демонстрирующая взаимосвязь между величиной ПЗО глаза и горизонтальным диаметром экскавации ДЗН ($r=0,26$; $p=0,002$)

Fig. 2. Scatterplot demonstrating the relationship between the AL of the eye and the ONH cup horizontal diameter ($r=0,26$; $p=0,002$)

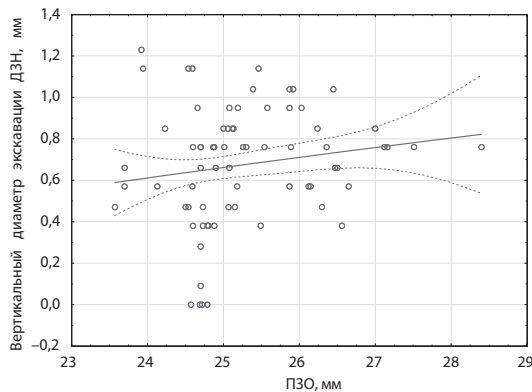


Рис. 3. Диаграмма рассеяния, демонстрирующая взаимосвязь между величиной ПЗО глаза и вертикальным диаметром экскавации ДЗН ($r=0,16$; $p=0,055$)

Fig. 3. Scatterplot demonstrating the relationship between the AL of the eye and the ONH cup vertical diameter ($r=0,16$; $p=0,055$)

В то же время объем экскавации ДЗН, а также ее средняя и максимальная глубина изменяются неравномерно: увеличиваются до достижения ПЗО определенного критического значения (26,3 мм), после чего глубина экскавации ДЗН уменьшается и ДЗН «уплощается» (рис. 4–6).

Нами выявлена обратная корреляционная связь между величиной ПЗО глаза и размерами НРП (табл. 3). Установлено, что по мере удлинения глазного яблока до 26 мм у пациентов II группы площадь и объем НРП, а также соотношение НРП и ДЗН уменьшаются, а в III группе – напротив, увеличиваются, вероятно, из-за снижения разницы между высотой НРП и глубиной экскавации ДЗН на томограмме.

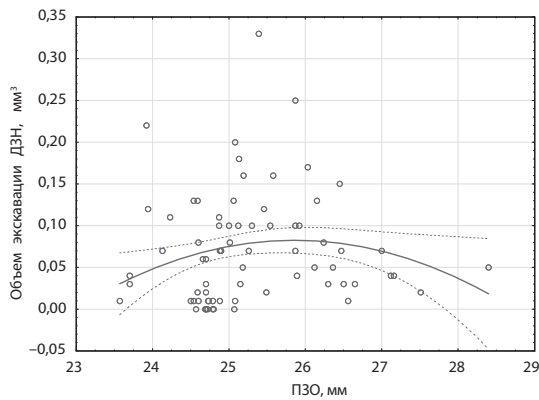


Рис. 4. Диаграмма рассеяния, демонстрирующая взаимосвязь между величиной ПЗО глаза и объемом экскавации ДЗН ($r=0,05$; $p=0,0529$)
Fig. 4. Scatterplot demonstrating the relationship between the AL of the eye and the ONH cup volume ($r=0,05$; $p=0,0529$)

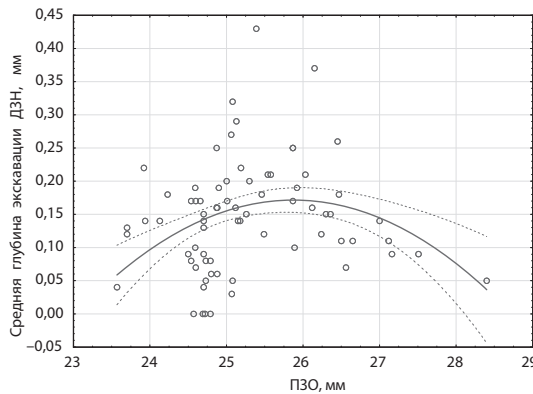


Рис. 5. Диаграмма рассеяния, демонстрирующая взаимосвязь между величиной ПЗО глаза и средней глубиной экскавации ДЗН ($r=0,09$; $p=0,0242$)
Fig. 5. Scatterplot demonstrating the relationship between the AL of the eye and the ONH cup mean depth ($r=0,09$; $p=0,0242$)

Таблица 3
Параметры НРП в зависимости от величины ПЗО глаза
Table 3
Parameters of the neuroretinal rim depending on the AL of the eye

Параметр ДЗН	Группа I (n=56)	Группа II (n=46)	Группа III (n=32)
ПЗО, мм	24,70 (24,59; 24,79)*	25,26 (25,08; 25,58)*	26,49 (26,27; 27,06)*
Площадь НРП, мм²	1,26 (1,09; 1,57)*	0,97 (0,81; 1,44)*	1,26 (1,01; 1,45)
Объем НРП, мм³	0,26 (0,18; 0,37)*	0,15 (0,11; 0,24)*	0,22 (0,17; 0,24)*
Соотношение НРП и ДЗН	0,21 (0,04; 0,26)*	0,07 (0,03; 0,10)*	0,14 (0,07; 0,17)*

Примечание: * достоверность различий в группах $p<0,05$.
Note: * significance of differences in groups $p<0.05$.

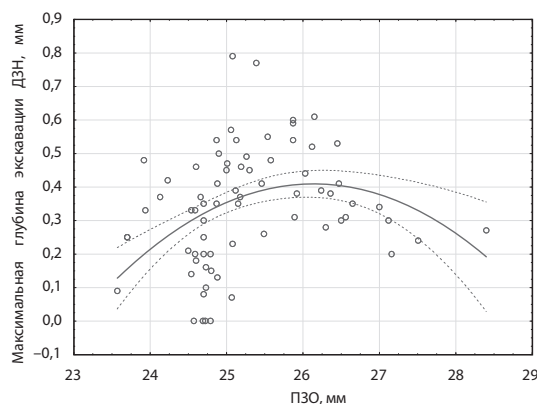


Рис. 6. Диаграмма рассеяния, демонстрирующая взаимосвязь между величиной ПЗО глаза и максимальной глубиной экскавации ДЗН ($r=0,22$; $p=0,009$)

Fig. 6. Scatterplot demonstrating the relationship between the AL of the eye and the ONH cup maximal depth ($r=0,22$; $p=0,009$)

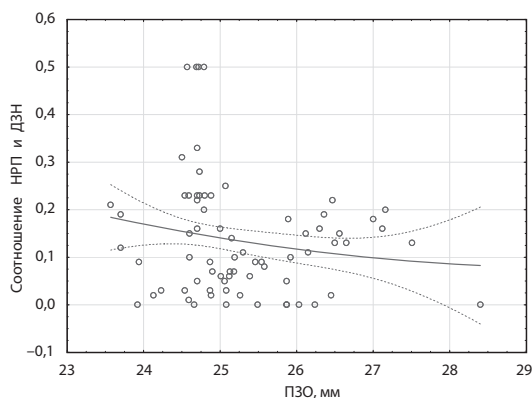


Рис. 7. Диаграмма рассеяния, демонстрирующая взаимосвязь между величиной соотношения НРП и ДЗН ($r=-0,174$; $p=0,037$)

Fig. 7. Scatterplot demonstrating the relationship between the neuroretinal rim and ONH ratio and AL of the eye ($r=-0,174$; $p=0,037$)

Выявленные нами морфометрические изменения ДЗН (рост диаметров и глубины экскавации ДЗН наряду с потерей НРП) в связи с удлинением ПЗО могут быть обусловлены ремоделированием и деформациями склеры, обусловленными элонгацией глазного яблока [9, 10]. Наряду с другими исследователями мы полагаем, что первым шагом в развитии изменений ДЗН является расширение отверстия в мембране Бруха, что приводит к смещению и расширению склерального отверстия, через которое проходят аксоны зрительного нерва [11, 12].

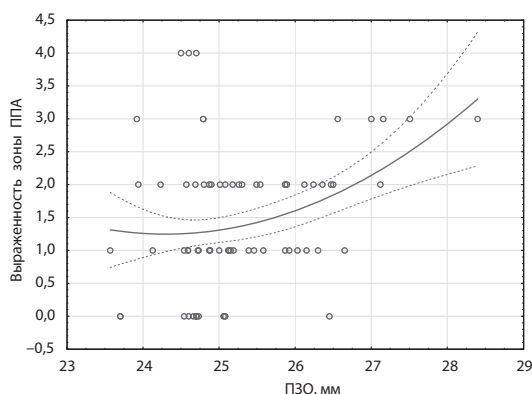


Рис. 8. Диаграмма рассеяния, демонстрирующая взаимосвязь между выраженностью зоны ППА и ПЗО глаза ($r=0,298$; $p=0,0003$)

Fig. 8. Scatterplot demonstrating the relationship between the severity of the zone of PPA and AL of the eye ($r=0.298$; $p=0.0003$)

Непропорциональный рост между участками склеры, хориоидеи, сетчатки наряду со смещением мембраны Бруха приводит к формированию патогномичных изменений около ДЗН в виде хориоретинальной ППА [13, 14]. Зона ППА была обнаружена нами в 75% (114 глаз) случаев. В большинстве глаз (61,6%) она была расположена равномерно с темпоральной стороны от ДЗН, реже, в 33,3%, эта зона находилась снизу темпорально от ДЗН и лишь в 5,3% – сверху темпорально от ДЗН. Нами было отмечено увеличение выраженности зоны хориоретинальной ППА по мере роста ПЗО глаза (рис. 8).

Нами выявлено наличие в зоне ППА гамма-зоны, в проекции которой отсутствовали ретинальный пигментный эпителий (РПЭ) и мембрана Бруха, но визуализировались склера и слой нервных волокон. Кроме этого, установлено, что по мере роста ПЗО также увеличивалась бета-зона (в которой отсутствовал РПЭ). За ее начало принимали точку, в которой границы мембраны Бруха, РПЭ, фоторецепторов и хориоидеи совпадали. Полученные нами данные подтверждают результаты других авторов [15].

Сравнение толщины СНВС в 10 секторах ДЗН выявило тенденцию к ее уменьшению в нижнем (6), назальном верхнем (9) и верхнем (1) секторах ДЗН по мере удлинения глазного яблока (табл. 4), что согласуется с результатами, полученными другими авторами [16, 17].

В нашем исследовании в 27,63% (42) случаев встречались наклонные ДЗН. Наклонным принято считать ДЗН при величине индекса наклона (соотношения минимального к максимальному диаметру ДЗН) менее 0,75 [18]. Согласно данным литературы, наклон ДЗН может быть вызван асимметричным удлинением глазного яблока и локальными различиями в свойствах перипапиллярной склеры [19, 20]. Так, растяжение темпорального края ДЗН, его наклон в темпоральную сторону относительно вертикальной оси, приводит к появлению вертикально-наклонного ДЗН, который обнаружен нами в 61,90% (26) случаев от всех наклонных ДЗН. Горизонтально-наклонный



Таблица 4
Толщина СНВС в секторах ДЗН в зависимости от величины ПЗО глаза
Table 4
RNFL thickness in the sectors of the ONH depending on the AL of the eye

Толщина СНВС в секторах ДЗН, мкм	Группа I ПЗО 24,70 мм (24,59; 24,79)*	Группа II ПЗО 25,26 мм (25,08; 25,58)*	Группа III ПЗО 26,49 мм (26,27; 27,06)*
1) верхний	134,00 (117,00; 157,00)	130,00 (111,00; 140,00)	126,50±14,26*
2) верхне-темпоральный	122,50 (107,00; 139,50)	125,00 (105,00; 131,00)	121,50 (107,50; 133,00)
3) темпоральный верхний	79,54±15,66	81,00 (67,00; 101,00)	84,25±17,75
4) темпоральный нижний	67,50 (59,00; 72,50)*	69,00 (62,00; 84,00)	75,00 (58,50; 91,00)*
5) ниже-темпоральный	103,50 (96,00; 128,50)	103,00 (95,00; 128,00)	107,50 (94,50; 123,00)
6) нижний	150,00 (135,00; 163,50)*	152,00 (142,00; 170,00)*	141,50±19,10*
7) ниже-назальный	100,00 (95,50; 120,00)	116,00 (87,00; 137,00)	106,19±19,94
8) назальный нижний	58,00 (56,00; 65,50)	60,00 (55,00; 70,00)	58,50 (54,00; 72,00)
9) назальный верхний	74,00 (66,00; 87,50)	78,00 (72,00; 89,00)*	72,13±13,94*
10) верхне-назальный	127,00 (119,00; 145,50)*	119,00 (103,00; 140,00)*	124,81±18,18

Примечание: * достоверность различий в группах $p < 0,05$.
Note: * significance of differences in groups $p < 0.05$.

ДЗН был определен нами в 38,1% (16) от всех наклонных ДЗН. Он может быть результатом ротации ДЗН вокруг поперечной оси глаза в передне-заднем направлении.

Наклон ДЗН может приводить к деформации аксонов и нарушению аксоплазматического тока, что сопровождается расширением зоны ППА со стороны, соответствующей наклону. По расположению зоны ППА можно определить направление наклона. Для горизонтально-наклонных ДЗН характерно расположение зоны ППА снизу или сверху от ДЗН с тенденцией к истончению СНВС в нижнем и/или в верхнем секторе ДЗН, в то же время вертикальный наклон ДЗН сопровождается расширением зоны ППА с темпоральной стороны [21, 22].

Нами определена тенденция к увеличению индекса наклона при увеличении ПЗО до определенного порогового значения, 26,3 мм. При дальнейшем росте ПЗО индекс уменьшался и наклон ДЗН увеличивался. Тем не менее, статистически достоверной зависимости индекса наклона ДЗН от величины ПЗО выявлено не было (рис. 9).

Сравнительная характеристика наклонного и ненаклонного ДЗН приведена в табл. 5.

Наклонный ДЗН характеризуется уменьшением горизонтальных диаметров экскавации и ДЗН, а также различиями в увеличении соотношений диаметров ДЗН к диаметрам экскавации.

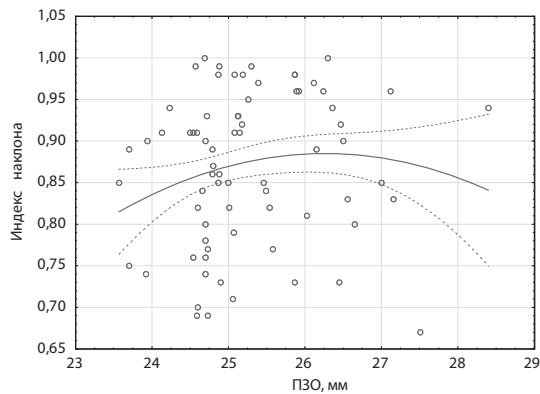


Рис. 9. Диаграмма рассеяния, демонстрирующая взаимосвязь индекса наклона и величины ПЗО глаза ($r=0,12$; $p=0,159$)
Fig. 9. A scatterplot demonstrating the relationship between the tilt index and the AL of the eye ($r=0.12$; $p=0.159$)

Таблица 5
Параметры, характеризующие глаза с наклонным и ненаклонным ДЗН
Table 5
Parameters characterizing eyes with tilted and non-tilted ONH

Параметр ДЗН	Группа 1 (наклонный ДЗН)	Группа 2 (ненаклонный ДЗН)
Количество глаз, % (абсолютное число)	27,63% (42)	72,37% (110)
ОI, min/max	0,74±0,04	0,91 (0,86; 0,96)*
Sph, дптр	-3,50 (-6,50; -2,50)	-5,25 (-7,00; -3,50)*
Cyl, дптр	-0,75 (-1,00; -0,75)	-0,75 (-1,00; -0,50)*
Горизонтальный диаметр ДЗН, мм	1,19 (1,14; 1,32)	1,42 (1,30; 1,53)*
Горизонтальный диаметр экскавации, мм	0,59±0,25	0,71 (0,53; 0,86)*
Соотношение вертикального и горизонтального диаметров ДЗН	1,35 (1,30; 1,41)	1,09 (1,02; 1,17)*
Соотношение вертикального и горизонтального диаметров экскавации	1,14 (1,04; 1,48)	0,94 (0,83; 1,13)*

Примечание: * достоверность различий в группах $p<0,05$.
Note: * significance of differences in groups $p<0.05$.

В результате изучения особенностей локализации РП склеры в зависимости от величины ПЗО нами выявлена отрицательная корреляционная связь между величиной ПЗО глаза и глубиной расположения РП склеры ($r=-0,35$; $p=0,017$). В 29,17% (42) глаз РП склеры отличалась поверхностным расположением, из них в 28 случаях – в глазах с ПЗО более 25 мм. Смещение и структурные деформации РП склеры могут провоцировать деформацию аксонов при миопии [23].

Изучение расположения основных стволов центральных артерий и вены сетчатки показало, что удлинение ПЗО сопровождалось смещением стволов центральных сосудов сетчатки на ДЗН в 54,17% (78), из них: в направлении к носу – в 71,79% (56), в



верхне-назальном направлении – в 28,21% (22) ($p < 0,05$). Поскольку центральные сосудистые стволы сетчатки «встроены» в РП склеры, изменение их расположения при удлинении глазного яблока свидетельствует о смещении РП склеры в назальном направлении, что может объяснить уязвимость миопических глаз с точки зрения риска развития глаукомной оптической нейропатии [24].

■ ВЫВОДЫ

1. С помощью ОКТ установлено, что по мере увеличения ПЗО глаза происходят изменения параметров ДЗН, которые могут служить маркерами прогрессирования близорукости:
 - рост площади, горизонтального и вертикального диаметров экскавации ДЗН; неравномерное изменение объема, средней и максимальной глубины экскавации ДЗН (увеличение – по мере роста ПЗО, уменьшение – после достижения ПЗО определенной величины – 26,3 мм); снижение площади и объема НРП, уменьшение соотношения НРП к ДЗН; поверхностное расположение РП склеры; «назализация» основных стволов центральных сосудов сетчатки;
 - появление и расширение хориоретинальной ППА, формирование в ней гамма-зоны и увеличение бета-зоны; тенденция к истончению СНВС в верхнем и в нижнем секторах ДЗН;
 - изменение наклона ДЗН в 27,63%;
 - в глазах с наклонной конфигурацией ДЗН отмечалось уменьшение горизонтальных диаметров ДЗН и экскавации ДЗН; появление зоны ППА с тенденцией к истончению СНВС, расположение которой зависело от направления наклона ДЗН: темпорально/назально в вертикально-наклонных ДЗН, снизу/сверху от ДЗН – при горизонтально-наклонных ДЗН.
2. Полученные с помощью ОКТ параметры, характеризующие структурные изменения ДЗН и перипапиллярной области, могут быть полезны при интерпретации нормативных данных у пациентов с миопией, для прогнозирования ее прогрессирования, а также в дифференциальной диагностике с глаукомной оптической нейропатией.

■ ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Holden B.A. (2016) Global prevalence of myopia and high myopia and temporal trends from 2000 through 2050. *Ophthalmology*, vol. 123, pp. 1036–1042.
2. Fricke T.R., Holden B.A., Wilson D.A., Schlenker G., Naidoo K.S. (2012) Global cost of correcting vision impairment from uncorrected refractive error. *Bulletin of the World Health Organization*, 90 (10), 728–738. World Health Organization. Available at: <http://dx.doi.org/10.2471/BLT.12.104034>
3. Pan C.W., Ramamurthy D., Saw S.M. (2012) Worldwide prevalence and risk factors for myopia. *Ophthalmic Physiol Opt.*, vol. 32, pp. 3–16.
4. Wang Y.X., Panda-Jonas S., Jonas J.B. (2021) Optic nerve head anatomy in myopia and glaucoma, including parapapillary zones alpha, beta, gamma and delta: histology and clinical features. *Prog Retin Eye Res.*, vol. 83, pp. 100933.
5. Avetisov E. (1999) *Myopia*. M.: Medicine, 287 p. (in Russian)
6. Tarutta E., Iomdina E., Tarasova N. (2018) An integrated approach to the prevention and treatment of progressive myopia in schoolchildren. *Russian ophthalmological journal. Clinical ophthalmology*, vol. 2, pp. 70–76. (in Russian)
7. Dashevsky A. (1988) To the question of the development of pseudomyopia and myopia and their prevention. *Ophthalmological journal*, vol. 3, pp. 132–136. (in Russian)
8. Iomdina E., Tarutta E., Ignatieva N. (2014) Fundamental studies of biochemical and ultrastructural mechanisms of the pathogenesis of progressive myopia. *Russian ophthalmological journal*, vol. 3, pp. 7–12. (in Russian)
9. Jonas J.B., Gusek G.C., Naumann G.O.H. (1988) Optic disk morphometry in high myopia. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, vol. 226, pp. 587–590.
10. Jonas J.B., Gusek G.C., Naumann G.O. (1988) Optic disc, cup and neuroretinal rim size, configuration and correlations in normal eyes. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, vol. 29, pp. 1151–1158.

11. Jonas J.B., Ohno-Matsui K., Jiang W.J., Panda-Jonas S. (2017) Bruch membrane and the mechanism of myopization: A new theory. *Retina*, vol. 37, pp. 1428–1440.
12. Rezapour J., Proudfoot J.A., Bowd C., Dohleman J., Christopher M., Belghith A. (2022) Bruch membrane opening detection accuracy in healthy eyes and eyes with glaucoma with and without axial high myopia in an American and Korean cohort. *Am J Ophthalmol.*, vol. 237, pp. 221–34. doi: 10.1016/j.ajo.2021.11.030
13. Jonas J.B., Wang Y.X., Zhang Q., Fan Y.Y., Xu L., Wei W.B., Jonas R.A. (2016) Parapapillary gamma zone and axial elongation-associated optic disc rotation: the Beijing eye study. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, vol. 57 (2), pp. 396–402.
14. Cheng D., Ruan K., Wu M. (2022) Characteristics of the optic nerve head in myopic eyes using swept-source optical coherence tomography. *Invest Ophthalmol Vis Sci.*, vol. 63 (6), pp. 20. Available at: <https://doi.org/10.1167/iops.63.6.20>
15. Zhukova S., Yureva Yu., Pomkina I. (2019) Bioretinometric criteria for the diagnostics of glaucoma associated with myopia. *National Journal glaucoma*, vol. 18(1), pp. 3–9. Available at: <https://doi.org/10.25700/NJG.2019.01.01> (in Russian)
16. AttaAllah H.R., Omar I.A.N., Abdelhalim A.S. (2017) Evaluation of optic nerve head parameters and retinal nerve fiber layer thickness in axial myopia using SD OCT. *Ophthalmol Ther.*, vol. 6, pp. 335–341.
17. Lin T., Su L., Lin J., Qiu H. (2021) Study on the optic nerve fiber layer thickness and changes in blood flow in myopic children. *Int J Gen Med.*, vol. 14, pp. 3287–3293.
18. Jonas J.B., Wang Y.X., Zhang Q., Fan Y.Y., Xu L., Wei W.B. (2016) Parapapillary gamma zone and axial elongation-associated optic disc rotation: the Beijing eye study. *Invest Ophthalmol Visual Sci*, vol. 57, pp. 396–402. doi: 10.1167/iops.15-18263
19. Tay E., Seah S. (2005) Optic disk ovality as an index of tilt and its relationship to myopia and perimetry. *Am J Ophthalmol*, vol. 139 (2), pp. 247–252. doi: 10.1016/j.ajo.2004.08.076.
20. Fan Y.Y., Jonas J.B., Wang Y.X., Chen C.X., Wei W.B. (2017) Horizontal and vertical optic disc rotation. *The Beijing eye study. PLoS ONE*, vol. 12: e0175749. doi: 10.1371/journal.pone.0175749
21. Guo Y., Liu L.J., Xu L. (2015) Optic disc ovality in primary school children in Beijing. *Invest Ophthalmol Vis Sci.*, vol. 56, pp. 4547–4553. doi: 10.1167/iops.15-16590
22. Pan T., Su Y., Yuan S.T., Lu H.C., Hu Z.Z., Liu Q.H. (2018) Optic disc and peripapillary changes by optic coherence tomography in high myopia. *Int J Ophthalmol*, vol. 11 (5), pp. 874–880.
23. Lee K.M., Lee E.J., Kim T-W. (2015) Lamina cribrosa configuration in tilted optic discs with different tilt axes: a new hypothesis regarding optic disc tilt and torsion. *Invest Ophthalmol Vis Sci.*, vol. 56, pp. 2958–2967. doi: 10.1167/iops.14-15953
24. Lee K.M., Choung H.K., Kim M. (2018) Positional change of optic nerve head vasculature during axial elongation as evidence of lamina cribrosa shifting: Boramae Myopia Cohort Study Report 2. *Ophthalmology*, 125 (8), pp. 1224–1233.