Национальный журнал глаукома
2021, Т. 20, № 3, стр. 11-19

National Journal of Glaucoma
2021, Vol. 20, № 3, pp. 11-19

УДК 617.7-007.681: 617.715

DOI: 10.25700/2078-4104-2021-20-3-11-19

Биометрические и морфометрические параметры решетчатой пластинки у пациентов с разными стадиями первичной открытоугольной глаукомы

Арутюнян Л.Л., д.м.н., профессор кафедры офтальмологии[1], заведующая диагностическим отделением[2];
Анисимова С.Ю., д.м.н., профессор, директор[2];
Морозова Ю.С., аспирант кафедры офтальмологии[1];
Анисимов С.И., д.м.н., профессор кафедры офтальмологии[3], научный директор[2].

[1]ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава России, *125993, Российская Федерация, Москва, ул. Баррикадная, 2/1, стр. 1;*

[2]Глазной центр «Восток-Прозрение», *123007, Российская Федерация, Москва, ул. Полины Осипенко, 10, корп. 1;*

[3]ФГБОУ ВО МГМСУ им. А.И. Евдокимова Минздрава России, *127473, Российская Федерация, Москва, ул. Делегатская, 20, стр. 1.*

Авторы не получали финансирование при проведении исследования и написании статьи.
Конфликт интересов: отсутствует.

Для цитирования: Арутюнян Л.Л., Анисимова С.Ю., Морозова Ю.С., Анисимов С.И. Биометрические и морфометрические параметры решетчатой пластинки у пациентов с разными стадиями первичной открытоугольной глаукомы. *Национальный журнал глаукома*. 2021; 20(3):11-19.

Резюме

ЦЕЛЬ. Сравнить толщину преламинарного слоя нервных волокон и глубину решетчатой пластинки (РП) у пациентов с разными стадиями первичной открытоугольной глаукомы (ПОУГ).

МЕТОДЫ. Нами было обследовано 39 пациентов (71 глаз) с разными стадиями ПОУГ и 26 пациентов (52 глаза) без офтальмопатологии. Возраст пациентов основной и контрольной групп составил от 63 до 82 лет. Пациентам основной группы был подобран инстилляционный гипотензивный режим. Кроме общего офтальмологического статуса, определяли биомеханические показатели с помощью прибора ORA («Reichert», США). Также всем пациентам проводилась оптическая когерентная томография (ОКТ) диска зрительного нерва (ДЗН) с расчетами глубины решетчатой пластинки (ГРП) и толщины преламинарного слоя нервных волокон (ТПСНВ). В качестве статистических критериев оценки использовали тест Спирмена.

РЕЗУЛЬТАТЫ. У пациентов с I и II стадиями ПОУГ ГРП составила 386±77 (p<0,45) и 380±50 мкм (p<0,14) соответственно. Статистически значимого различия ГРП в сравнении с группой контроля (389±96 мкм) ни с I, ни со II стадиями выявлено не было. В то время как у пациентов с III стадией ПОУГ была обнаружена статистически значимо наибольшая глубина решетчатой пластинки относительно нормы (595±162 мкм, p<0,002). В норме значения ТПСНВ составили 334±187 мкм, а ТПСНВмин 238±203 мкм. Уже при I стадии ПОУГ минимальная толщина преламинарного слоя нервных волокон (ТПСНВмин) (158±106 мкм) и ТПСНВ (205±94 мкм) были статистически значимо меньше ТПСНВ и ТПСНВмин группы контроля (334±187 и 238±203 мкм соответственно).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Оптическая когерентная томография позволяет с высокой точностью провести оценку биометрических параметров всех структур ДЗН, включая РП. При анализе пациентов с ПОУГ по стадиям важно отметить, что глубина залегания РП значимо не отличается относительно группы контроля. В то же время ТПСНВ значимо снижается при начальной стадии ПОУГ и может служить параметром дифференциальной диагностики глаукомы. Таким образом, изучение параметров РП с помощью спектральной ОКТ при различных стадиях ПОУГ открывает новые возможности в диагностике глаукомного процесса на начальных стадиях.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: первичная открытоугольная глаукома, глубина решетчатой пластинки, преламинарный слой нервных волокон.

Для контактов:
Морозова Юлия Сергеевна, e-mail: juliyamor.dr@gmail.com

Поступила в печать: 19.04.2021

Received for publication: April 19, 2021

ENGLISH

Biometric and morphometric parameters of the lamina cribrosa in patients with different stages of primary open-angle glaucoma

Arutyunyan L.L., Dr. Sci. (Med.), Professor at the Ophthalmology Department[1], Head of the Diagnostics Department[2];
Anisimova S.Yu., Dr. Sci. (Med.), Professor, Director[2];
Morozova Yu.S., post-graduate student at the Ophthalmology Department[1];
Anisimov S.I., Dr. Sci. (Med.), Professor at the Ophthalmology Department[3], Scientific Director[2].

[1]Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Department of Ophthalmology, *2/1 Barricadnaya St., Moscow, Russian Federation, 125993;*

[2]Eye care center "East Sight Recovery" LLC, *10 bld. 1 Poliny Osipenko St., Moscow, Russian Federation, 123557;*

[3]A.I. Yevdokimov Moscow State University of Medicine and Dentristy, *20/1 Delegatskaya St., Moscow, Russian Federation, 127473.*

Conflicts of Interest and Source of Funding: none declared.

For citations: Arutyunyan L.L., Anisimova S.Yu., Morozova Yu.S., Anisimov S.I. Biometric and morphometric parameters of the lamina cribrosa in patients with different stages of primary open-angle glaucoma. *Natsional'nyi zhurnal glaukoma.* 2021; 20(3):11-19.

Abstract

PURPOSE. To compare the thickness of the prelaminar nerve fiber layer and the depth of the lamina cribrosa in patients with different stages of primary open-angle glaucoma (POAG).

METHODS. We examined 39 patients (71 eyes) with different stages of primary open-angle glaucoma and 26 patients (52 eyes) without ophthalmic pathologies. The age of patients in the main and control groups was 63–82 years. Specific hypotensive instillations regimen was selected for the patients of the main group. In addition to assessing the general ophthalmic status of the study patients, their biomechanical parameters were determined using the Ocular Response Analyzer device (ORA; "Reichert Technologies", USA). Additionally, all patients underwent optical coherence tomography of the optic nerve head involving calculation of the lamina cribrosa depth (LCD) and the thickness of the prelaminar nerve fiber layer (tPNFL). Spearman's test was used as statistical evaluation criteria.

RESULTS. In patients with stages I and II POAG, lamina cribrosa depth amounted to 386±77 (p<0.45) and 380±50 μm (p<0.14), respectively. There was no statistically significant difference in LCD in comparison with the control group (389±96 μm), neither in patients with stages I nor II of the disease. At the same time, patients with stage III POAG were found to have statistically significantly the highest LCD relative to the norm (595±162 μm) (p<0.002). In healthy controls, tPNFL values were 334±187 μm, while tPNFLmin was 238±203 μm. Even in stage I POAG, tPNFLmin (158±106 μm) and tPNFL (205±94 μm) were statistically significantly lower than tPNFL and tPNFLmin in the control group (334±187 and 238±203 μm, respectively).

CONCLUSION. Optical coherence tomography allows assessing biometric parameters of all structures of the optic nerve head, including the lamina cribrosa. When analyzing patients with POAG by stages, it is important to note that the lamina cribrosa depth does not significantly differ relative to the control group. At the same time, the prelaminar nerve fiber layer thickness is significantly reduced at the initial stage of POAG and can serve as a factor in differential diagnosis of glaucoma. Thus, studying the parameters of the lamina cribrosa using spectral OCT at various stages of POAG opens up new possibilities in the diagnostics of the glaucomatous process at its initial stages.

KEYWORDS: primary open-angle glaucoma, lamina cribrosa depth, prelaminar nerve fiber layer.

По прогнозу зарубежных исследователей, опубликованному более 10 лет назад, предполагалось, что к 2010 году количество глаукомных больных достигнет 60,5 млн, к 2020 году — 79,6 млн, а к 2040 вырастет до 111,8 млн [1]. Однако, по последним данным ВОЗ, распространенность глаукомы на 2019 год уже составляет 105 млн человек, причем в ближайшие 10 лет ожидается прирост еще на 10 млн. По данным Министерства здравоохранения, в Российской Федерации в 2013 году диагностировано 1 180 708 случаев данного заболевания [2].

Основной точкой воздействия при лечении глаукомы является внутриглазное давление (ВГД). При этом если показатели тонометрии находятся в пределах условной нормы [3], у клиницистов возникают сложности как при постановке диагноза, так и при подборе адекватной гипотензивной терапии.

Сторонники механической теории считают, что ВГД оказывает прямое повреждающее действие на структуры зрительного нерва, а уменьшение его толерантности к офтальмотонусу обусловлено первичной слабостью решетчатой пластинки (РП) [4]. Интересно отметить, что при развитии глаукомы в эксперименте (на обезьянах) модуль упругости перипапиллярной склеры оказался выше, чем в нормальных глазах, что свидетельствует об изменении в процессе развития глаукомы механических свойств не только РП, но и собственно склеры [5]. Более того, из построенной модели прогиба РП и развития глаукоматозной атрофии следует, что биомеханика диска зрительного нерва (ДЗН) в первую очередь определяется именно механическими свойствами склеры и только во вторую очередь размерами глаза и механическими свойствами РП [6].

Степень деформации структур внутренней поверхности диска в большей степени зависит от опосредованного воздействия ВГД на склеру, чем от непосредственного действия ВГД на эти структуры. Изменение механической устойчивости, точнее, снижение податливости и адаптивности РП, наблюдаемое с возрастом, а также индивидуальные вариации механических свойств склеры, также изменяющиеся в процессе старения, могут быть факторами риска развития глаукомы [7, 8].

Деформации РП, вызванные повышенным ВГД, в частности, деформации, включающие задний прогиб РП и заднее смещение ламинарной вставки, изучаются как на глазах экспериментальных животных, так и на глазах ex vivo человека. Заднее прогибание РП может быть связано с механическим или сосудистым повреждением головки зрительного нерва (ГЗН), включая аксоны ганглиозных клеток. Вполне логично предположить, что чем больше прогибание РП в задней части, тем больше нагрузка на аксоны ганглиозных клеток сетчатки [6].

С появлением оптической когерентной томографии (ОКТ) оценка деформации решетчатой пластинки in vivo в глазах с глаукомой вызвала значительный интерес.

H.A. Quigley et al. (2017) в своих клинико-экспериментальных работах по изучению морфологии, биомеханики РП in vivo с использованием ОКТ обнаружили, что изменение глубины передней поверхности решетчатой пластинки (ГРП) при снижении ВГД после трабекулэктомии может быть как вперед (в глаз), так и назад (вне глаза). Направление и степень движения РП в значительной степени связаны со степенью поражения глаукомой. Кроме того, при одинаковой величине изменения ВГД в глазах с исходно более низким уровнем ВГД отмечается большее изменение глубины РП, чем в глазах с изначально более высоким ВГД, что является следствием увеличения жесткости структур РП в ответ на механический стресс и типично для коллагенсодержащих тканей. Кроме того, в глазах с нормальной толщиной слоя нервных волокон ГРП более динамично изменялась при снижении ВГД. Эти результаты дают основание считать, что колебание РП при изменении ВГД может быть биомеханическим маркером степени повреждения глаукомой и предрасположенности к ней [9]. В свою очередь, на изменение глубины РП могут влиять не только изначальные показатели ВГД, но и его суточные колебания, а также толщина решетчатой пластинки (ТРП), что было показано в работе P. Naranjo-Bonilla et al. (2017), которые выявили статистически незначимую прямую зависимость глубины и толщины РП от уровня суточных колебаний ВГД у молодых пациентов [10].

K.H. Park et al. (2016) сравнивали ГРП при разных стадиях глаукомы и обнаружили, что увеличение ГРП происходило в основном на ранних стадиях заболевания и не было значительного различия в глубине РП между начальной, развитой и далекозашедшей глаукомой. Также авторами был предложен параметр индекса кривизны РП, значения которого были увеличены в глазах с первичной открытоугольной глаукомой (ПОУГ) по сравнению со здоровыми глазами, но не различались между начальной и развитой стадиями [11]. В то же время в глазах с изначально большей кривизной РП отмечалось более выраженное ухудшение полей зрения у пациентов с глаукомой [12].

В.В. Волков с соавт. (2020) в своем исследовании, в ходе которого измеряли и сравнивали толщину и глубину решетчатой пластинки склеры, ширину субарахноидального пространства зрительного нерва (ЗНСАПШ) у больных с глаукомой нормального давления (ГНД) и у здоровых лиц, выявили, что у больных с ГНД глубина РП при меньшей ее толщине была достоверно больше, чем у здоровых лиц [13].

C. Barrancos et al. (2014) изучали не только глубину РП, но и толщину преламинарной ткани до и после непроникающей глубокой склерэктомии у пациентов с ПОУГ. Они предполагают, что преламинарная ткань при высоком ВГД сжимается, то есть становится тоньше, и наоборот, утолщается при послеоперационном снижении ВГД, работая при колебаниях офтальмотонуса подобно буферу [14].

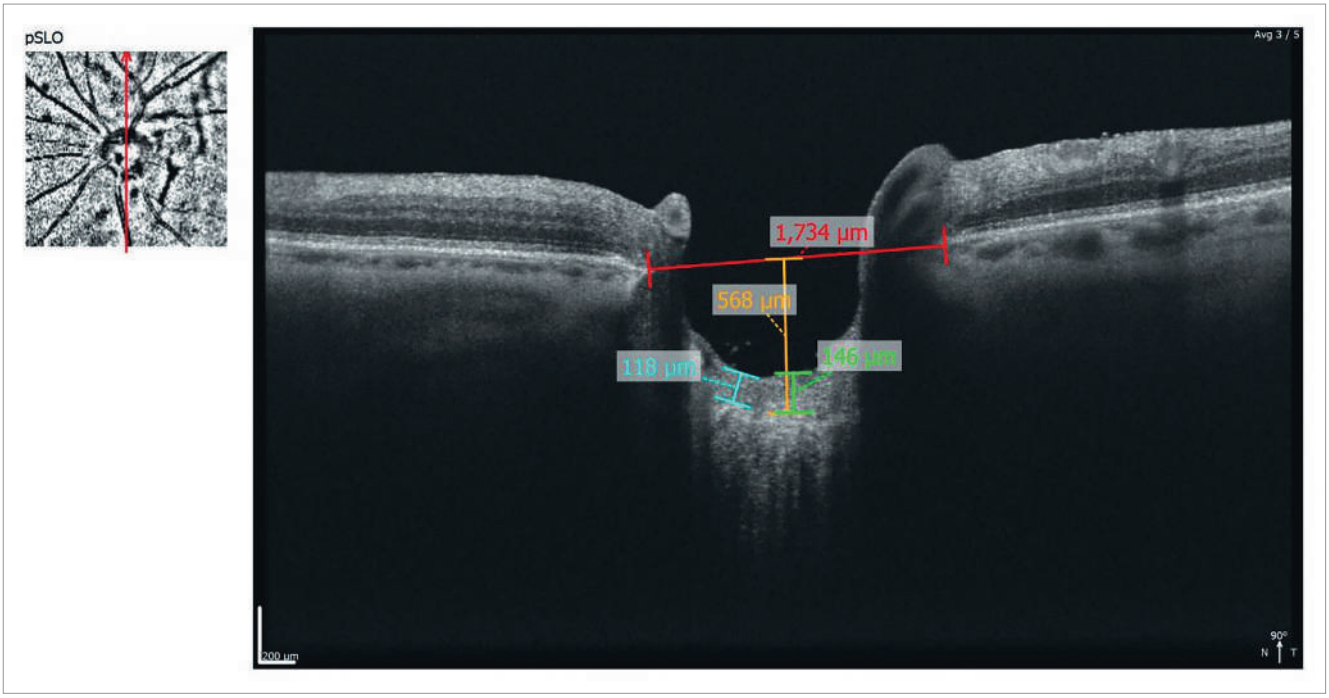

Рис. 1. Плоскость открытия мембраны Бруха — красная линия; ГРП — желтая линия; ТПСНВ — зеленая линия; ТПСНВмин — голубая линия. SD-OCT, режим Disc Raster, вертикальный скан
Fig. 1. Plane of the Bruch's membrane opening — red line; LCD — yellow line; tPNFL — green line; tPNFLmin — blue line. SD-OCT, Disc Raster mode, vertical scan

Таким образом, современные приборы ОКТ позволяют провести оценку биометрических показателей РП.

Цель исследования — сравнить толщину преламинарного слоя нервных волокон и глубину решетчатой пластинки у пациентов с разными стадиями ПОУГ.

Материалы и методы

Нами было обследовано 39 пациентов (71 глаз) с разными стадиями ПОУГ и 26 пациентов (52 глаза) без офтальмопатологии, которые составили группу контроля. Возраст пациентов основной и контрольной групп составил от 63 до 82 лет. Пациентам основной группы был подобран инстилляционный гипотензивный режим. У всех пациентов оценивали субъективные и объективные показатели структурно-функционального состояния органа зрения. Кроме общего офтальмологического статуса определяли роговично-компенсированное давление (ВГДрк), давление, приравненное к ВГД по Гольдману (ВГДг), а также биомеханические показатели — величину корнеального гистерезиса (КГ) и фактора резистентности роговицы (ФРР) с помощью прибора ORA («Reichert», США). У всех больных с глаукомой и здоровых лиц оценивали центральную толщину роговицы (ЦТР) и длину переднезадней оси глаза (ПЗО). Для подтверждения диагноза глаукомы и ее стадии в соответствии с международными стандартами всем больным выполняли структурно-функциональную оценку ДЗН с помощью ОКТ и стандартной автоматизированной периметрии (на приборе Tomey AP-3000).

Пациентам проводилось сканирование ДЗН на приборе приборе Optopol Revo 60 OCT («Optopol technology», Poland) в режимах Disk+Macula 3D, Disk Raster, и были рассчитаны ГРП и толщина преламинарного слоя нервных волокон (ТПСНВ). В качестве статистических критериев оценки использовали тест Спирмена.

Для расчётов были отобраны вертикальные сканы, которые располагались наиболее близко к центру ДЗН и не включали никаких основных сосудов (центральная артерия или вена сетчатки). ГРП определялась как вертикальная линия, соединяющая переднюю поверхность РП и плоскость открытия мембраны Бруха. ТПСНВ определяли как линию, соединяющую переднюю поверхность преламинарной ткани и переднюю поверхность РП в вертикальном скане и в зоне ее наименьшей толщины — минимальная толщина преламинарного слоя нервных волокон (ТПСНВмин) *(рис. 1)*.

Статистический анализ проводился с использованием программы Statistica версия 13.3 EN (Statsoft Russia). Полученные данные представлены в виде среднего значения ± стандартное отклонение (M±δ), а статистическая значимость была установлена на уровне $p<0,05$.

Таблица 1. **Секторальное распределение слоя нервных волокон (СНВС) в зависимости от стадии глаукомы в сравнении с группой контроля, мкм, M±δ**

Table 1. ***Sectoral distribution of the nerve fiber layer (RNFL) depending on glaucoma stage compared with the control group, μm, M±δ***

	ПОУГ I (% потери от группы контроля) *POAG I (% loss compared to the control group)*	ПОУГ II (% потери от группы контроля) *POAG II (% loss compared to the control group)*	ПОУГ III (% потери от группы контроля) *POAG III (% loss compared to the control group)*	Контроль *Control*
СНВС I / *RNFL I*	113±13 (10%)	82±23 (35%)	74±15 (41%)	125±16
СНВС S / *RNFL S*	108±26 (10%)	83±17 (31%)	81±28 (33%)	120±20
СНВС N / *RNFL N*	73±18 (4%)	66±19 (13%)	73±17 (4%)	76±22
СНВС T / *RNFL T*	67±8 (4%)	54±13 (16%)	58±12 (10%)	64±19

Примечание: I — нижний сектор; S — верхний сектор; N — назальный сектор; T — темпоральный сектор.
Note: I — inferior sector; S — superior sector; N — nasal sector; T — temporal sector.

Таблица 2. **Секторальное распределение слоя ганглиозных клеток сетчатки (URC) в зависимости от стадии глаукомы в сравнении с группой контроля, мкм, M±δ**

Table 2. ***Sectoral distribution of the ganglion cells layer (GCL) depending on glaucoma stage compared with the control group, μm, M±δ***

	ПОУГ I (% потери от группы контроля) *POAG I (% loss compared to the control group)*	ПОУГ II (% потери от группы контроля) *POAG II (% loss compared to the control group)*	ПОУГ III (% потери от группы контроля) *POAG III (% loss compared to the control group)*	Контроль *Control*
ГКС I / *GCL I*	80±1 (4%)	73±15 (13%)	51±4 (39%)	83±3
ГКС S / *GCL S*	79±4 (1%)	77±8 (4%)	50±8 (38%)	80±5
ГКС N / *GCL N*	85±2 (3%)	70±8 (15%)	47±3 (43%)	82±5
ГКС T / *GCL T*	78±5 (0%)	64±14 (16%)	46±4 (40%)	76±4

Примечание: I — нижний сектор; S — верхний сектор; N — назальный сектор; T — темпоральный сектор.
Note: I — inferior sector; S — superior sector; N — nasal sector; T — temporal sector.

Результаты

По результатам нашего исследования, у здоровых пациентов секторальное распределение толщины слоя нервных волокон сетчатки (СНВС) соответствовало правилу ISNT (Inferior>Superior>Nasalis>Temporalis) [10], то есть равномерному снижению толщины нервных волокон от нижнего к темпоральному сектору. Среднее значение толщины СНВС было максимальным в нижнем (125±16 мкм) и минимальным в темпоральном секторе (64±19 мкм).

У больных с глаукомой снижение толщины слоя нервных волокон (ТСНВ) наблюдалось во всех секторах с прогрессированием глаукомного процесса. При начальной стадии ПОУГ толщина СНВС в нижнем и верхнем секторах составила 113±13 и 108±26 мкм соответственно, что на 10% ниже, чем в здоровой популяции. Разница назального и темпорального секторов толщины СНВС определилась в пределах 4% относительно контрольной группы, при сохранении правила ISNT. У больных со II стадией ПОУГ отмечается статистически значимое снижение толщины СНВС во всех секторах, в большей степени в нижнем секторе (на 35% относительно группы контроля). Однако с развитием глаукомного процесса нарушается распределение СНВС относительно правила ISNT. У больных с III стадией ПОУГ максимальное снижение толщины СНВС относительно группы контроля определялось в нижнем секторе и составило 41% *(табл. 1)*.

Таблица 3. **Корреляционный анализ связи глубины решетчатой пластинки (ГРП) с биомеханическими и структурными параметрами пациентов с ПОУГ**

Table 3. ***Correlation analysis of the relationship between LCD, and biomechanical and structural parameters in POAG patients***

	Spearman R	*p*
ГРП & стадия / *LCD & disease stage*	0,24	0,07
ГРП & возраст / *LCD & age*	-0,06	0,66
ГРП & ВГД / *LCD & IOP*	0,21	0,14
ГРП & КГ / *LCD & corneal hysteresis*	-0,16	0,29
ГРП & СНВС I / *LCD & RNFL I*	-0,24	0,08
ГРП & СНВС S / *LCD & RNFL S*	-0,16	0,24
ГРП & СНВС N / *LCD & RNFL N*	-0,17	0,21
ГРП & СНВС T / *LCD & RNFL T*	-0,27	0,05
ГРП & ГКС I / LCD & GCL I	**-0,48**	**0,03**
ГРП & ГКС S / LCD & GCL S	**-0,49**	**0,02**
ГРП & ГКС N / LCD & GCL N	**-0,47**	**0,03**
ГРП & ГКС T / *LCD & GCL T*	-0,38	0,09
ГРП & ПЗО / *LCD & axial length*	-0,30	0,06
ГРП & КПМ / *LCD & corneal pachymetry*	-0,07	0,68
ГРП & ПСНВмин / *LCD & RNFLmin*	-0,08	0,57
ГРП & ПСНВ / *LCD & RNFL*	-0,04	0,78

Таблица 4. **Показатели биометрических параметров решетчатой пластинки в зависимости от стадии глаукомы, M±δ**

Table 4. ***Biometric parameters of the lamina cribrosa depending on glaucoma stage, M±δ***

Показатель ***Parameter***	**Контроль** ***Control***	**ПОУГ I** ***POAG I***	***p***	**ПОУГ II** ***POAG II***	***p***	**ПОУГ III** ***POAG III***	***p***
ГРП, мкм / *LCD, μm*	389±96	386±77	0,45	380±50	0,14	595±162	0.002
ТПСНВ, мкм / *tPNFL, μm*	334±187	205±94	0,04	175±84	0,001	121±72	0,0004
ТПСНВмин, мкм / *tPNFLmin, μm*	238±203	158±106	0,04	84±109	0,009	75±38	0,0001

Примечание: ГРП — глубина решетчатой пластинки; ТПСНВ — толщина преламинарного слоя нервных волокон; ТПСНВмин — наименьшая толщина преламинарного слоя нервных волокон.

Note: LCD — lamina cribrosa depth; tPNFL — thickness of the prelaminar nerve fiber layer; tPNFLmin — minimal thickness of the prelaminar nerve fiber layer.

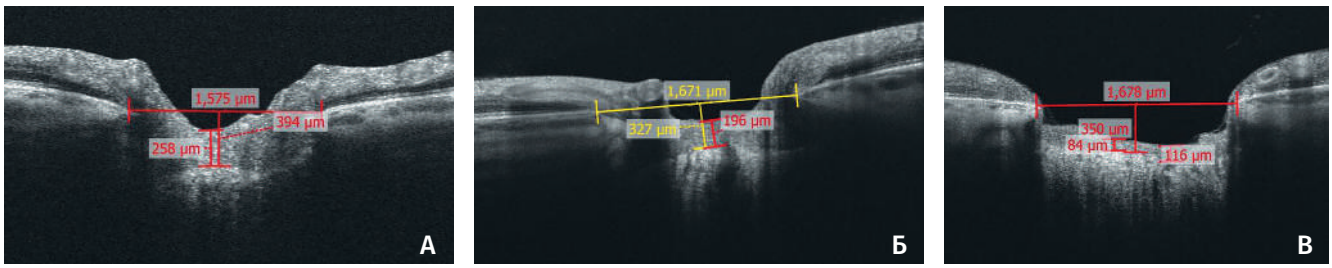

Рис. 2. Измерение параметров ГРП и ТПСНВ при различных стадиях ПОУГ: **А** — I стадия; **Б** — II стадия; **В** — III стадия
Fig. 2. Measuring the LCD and tPNFL at various stages of POAG: **А** — stage I; **Б** — stage II; **В** — stage III

При анализе ганглиозных клеток сетчатки (ГКС) определенного правила распределения по секторам мы не обнаружили.

Толщина слоя ГКС в группе контроля имела относительно равномерное распределение по всем секторам: в нижнем (ГКС I) 83±3 мкм; в верхнем (ГКС S) 80±5 мкм; в назальном (ГКС N) 82±5 мкм; в темпоральном (ГКС T) 76±4 мкм *(табл. 2)*.

У больных с I стадией ПОУГ статистически значимой разницы в толщине ГКС в сравнении с группой контроля не наблюдалось. Однако в нижнем секторе отмечается тенденция к снижению толщины ГКС (на 4%), что может явиться ранним дифференциально-диагностическим признаком при верификации диагноза глаукомы. У больных со II стадией ПОУГ сравнительный анализ с группой контроля показал равномерное снижение толщины ГКС в нижнем, назальном и темпоральном секторах (на 13-16%). Относительно стабильным сектором определился верхний. У больных с III стадией ПОУГ равномерно снижена толщина ГКС во всех секторах на 38-43% относительно группы контроля.

При оценке параметров решетчатой пластинки в группе контроля были получены следующие данные. ГРП составила 389±96 мкм, что совпало с данными других исследователей [9, 12, 13]. Выявлено отсутствие корреляционной взаимосвязи ГРП с возрастом пациентов, параметрами ВГД, КГ, корнеопахиметрии, ПЗО глаз и структурными параметрами ДЗН. Однако имеется положительная корреляция с ГКС в нижнем секторе (r=0,68; p<0,02).

У пациентов с I и II стадиями ПОУГ ГРП составила 386±77 и 380±50 мкм соответственно. Статистически значимого различия ГРП в сравнении с группой контроля ни с I, ни со II стадиями выявлено не было (p<0,45 и p<0,14 соответственно). В то время как у пациентов с III стадией ПОУГ была обнаружена статистически значимо наибольшая ГРП относительно нормы (595±162 мкм) (p<0,002).

Результат корреляционного анализа ГРП с биомеханическими и структурными параметрами в основной группе пациентов с глаукомой представлен в *табл. 3*.

Отсутствует зависимость ГРП с возрастом пациентов, параметрами ВГД, КГ, корнеопахиметрии, ПЗО глаза. Выявлена статистически значимая отрицательная корреляционная связь ГРП с толщиной ГКС в нижнем, верхнем и назальном секторах.

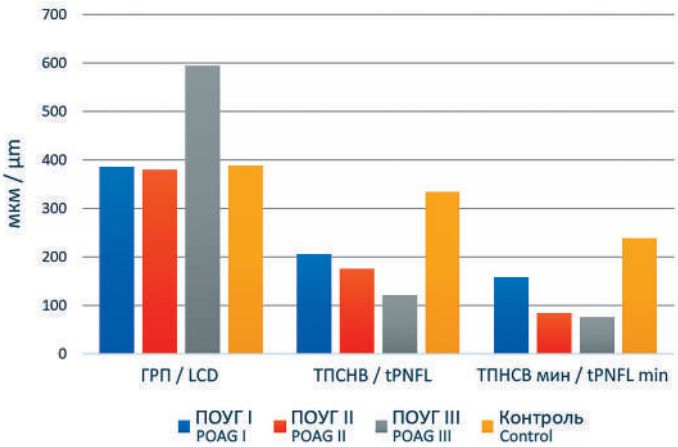

Рис. 3. Распределение глубины решетчатой пластинки (ГРП), толщины преламинарного слоя (ТПСНВ), минимальной толщины преламинарного слоя (ТПСНВмин) в зависимости от стадии ПОУГ
Fig. 3. Distribution of lamina cribrosa depth (LCD), thickness of the prelaminar layer (tPNFL), minimal thickness of the prelaminar layer (tPNFLmin) depending on the stage of primary open-angle glaucoma

Для анализа морфометрических и биометрических характеристик РП интересным оказалось оценить параметр ТПСНВ, который мы определяли в центральном скане и в зоне минимальной толщины. В норме значения ТПСНВ составили 334±187 мкм, а ТПСНВмин — 238±203 мкм. Выявлена статистически значимая корреляция ТПСНВ и ТПСНВмин с СНВС в темпоральном секторе.

Параметры РП при I, II и III стадиях глаукомы представлены на *рис. 2*.

Результаты оценки ГРП и ТПСНВ, ТПСНВмин у пациентов с глаукомой представлены в *табл. 4*.

У пациентов уже с начальной стадией ПОУГ ТПСНВмин (158±106 мкм) и ТПСНВ (205±94 мкм) в центральном скане статистически значимо меньше толщины ТПСНВ и ТПСНВмин в группе контроля (334±187 мкм и 238±203 мкм соответственно).

Отмечается равномерное снижение ТПСНВ и ТПСНВмин у пациентов со II и III стадиями ПОУГ, то есть с развитием глаукомного процесса *(рис. 3)*.

Таблица 5. **Корреляционный анализ связи ТПСНВ и ТПСНВмин с биомеханическими и структурными параметрами пациентов с ПОУГ**

Table 5. ***Correlation analysis of the relationship between tPNFL and tPNFLmin, and biomechanical and structural parameters in POAG patients***

	Spearman R	*p*		Spearman R	*p*
ТПСНВ & стадия / *tPNFL & disease stage*	**-0,59**	**0,00**	**ТПСНВмин & стадия / *tPNFLmin & disease stage***	**-0,59**	**0,00**
ТПСНВ & возраст / *tPNFL & age*	-0,09	0,50	ТПСНВмин & возраст / *tPNFLmin & age*	-0,15	0,28
ТПСНВ & ВГД / *tPNFL & IOP*	0,03	0,79	ТПСНВмин & ВГД / tPNFLmin & IOP	0,07	0,61
ТПСНВ & КГ / *tPNFL & corneal hysteresis*	0,10	0,51	ТПСНВмин & КГ / *tPNFLmin & corneal hysteresis*	0,02	0,90
ТПСНВ & СНВС I / *tPNFL & RNFL I*	**0,56**	**0,00**	**ТПСНВмин & СНВС I / *tPNFLmin & RNFL I***	**0,55**	**0,00**
ТПСНВ & СНВС S / *tPNFL & RNFL S*	**0,42**	**0,00**	**ТПСНВмин & СНВС S / *tPNFLmin & RNFL S***	**0,41**	**0,00**
ТПСНВ & СНВС N / *tPNFL & RNFL N*	**0,37**	**0,00**	**ТПСНВмин & СНВС N / *tPNFLmin & RNFL N***	**0,31**	**0,02**
ТПСНВ & СНВС T / *tPNFL & RNFL T*	0,08	0,56	ТПСНВмин & СНВС T / *tPNFLmin & RNFL T*	0,06	0,64
ТПСНВ & ГКС I / *tPNFL & GCL I*	**0,56**	**0,00**	**ТПСНВмин & ГКС I / *tPNFLmin & GCL I***	**0,55**	**0,00**
ТПСНВ & ГКС S / *tPNFL & GCL S*	0,29	0,20	ТПСНВмин & ГКС S / *tPNFLmin & GCL S*	0,39	0,07
ТПСНВ & ГКС N / *tPNFL & GCL N*	0,39	0,07	**ТПСНВмин & ГКС N / *tPNFLmin & GCL N***	**0,43**	**0,04**
ТПСНВ & ГКС T / *tPNFL & GCL T*	**0,49**	**0,02**	**ТПСНВмин & ГКС T / *tPNFLmin & GCL T***	**0,57**	**0,00**
ТПСНВ & ГРП / *tPNFL & LCD*	-0,03	0,78	ТПСНВмин & ГРП / *tPNFLmin & LCD*	-0,08	0,56
ТПСНВ & ПЗО / *tPNFL & axial length*	0,02	0,88	ТПСНВмин & ПЗО / tPNFLmin & axial length	-0,09	0,56
ТПСНВ & КПМ / *tPNFL & corneal pachymetry*	0,10	0,52	ТПСНВмин & КПМ / *tPNFLmin & corneal pachymetry*	-0,01	0,92
ТПСНВ & ТПСНВмин / *tPNFL & tPNFLmin*	**0,90**	**0,00**	**ТПСНВмин & ТПСНВмин / *tPNFLmin & tPNFLmin***	**0,90**	**0,00**

Корреляционный анализ связи ТПСНВ и ТПСНВмин с биомеханическими и структурными параметрами глаукомных пациентов *(табл. 5)* показал статистически значимую отрицательную связь ТПСНВ и ТПСНВмин от стадии ПОУГ, что делает этот параметр диагностически значимым для выявления ранних структурных изменений при развитии глаукомной оптической нейропатии (ГОН).

Обсуждение

ОКТ позволяет с высокой точностью провести оценку биометрических параметров всех структур ДЗН, включая РП. При анализе пациентов с ПОУГ по стадиям важно отметить, что глубина залегания решетчатой пластинки значимо не отличается относительно группы контроля. Это можно связать с особенностями сдвиговых процессов в области тканевого блока ДЗН при повышении ВГД, так как повышение офтальмотонуса прежде всего приводит к растяжению фиброзной оболочки глаза, что препятствует смещению кнаружи или прогибу РП. Однако такая стабильность по глубине расположения РП у больных глаукомой не исключает ее повреждающего действия на нервные волокна из-за возможного смещения слоев РП относительно друг друга при ее растяжении. В то же время ТПСНВ значимо снижается при начальной стадии ПОУГ и может служить параметром дифференциальной диагностики глаукомы ранних структурных изменений, при развитии и прогрессировании глаукомной оптической нейропатии.

ТПСНВ у пациентов с I, II и III стадиями ПОУГ была почти в два раза меньше, чем в группе контроля. Следует отметить, что снижение параметров ТПСНВ и ТПСНВмин на разных стадиях глаукомы происходит в равном соотношении, что позволяет использовать как один, так и оба этих параметра для диагностики глаукомы. ТПСНВ может играть важную роль в оценке ДЗН при дифференциальной диагностике начальной стадии ПОУГ.

Выводы

Таким образом, оптическая когерентная томография позволяет провести оценку биометрических показателей решетчатой пластинки.

Глубина залегания решетчатой пластинки значимо не отличается у пациентов с I и II стадиями ПОУГ относительно группы контроля.

Толщина преламинарного слоя нервных волокон ТПСНВ у пациентов с I, II и III стадиями ПОУГ была почти в два раза меньше, чем в группе контроля.

Изучение параметров решетчатой пластинки с помощью спектральной ОКТ при различных стадиях ПОУГ открывает новые возможности в диагностике глаукомного процесса на начальных стадиях.

Литература

1. Barkana Y., Dorairaj S. Re: Tham et al.: Global prevalence of glaucoma and projections of glaucoma burden through 2040: a systematic review and meta-analysis. *Ophthalmology*. 2014; 121:2081-2090. *Ophthalmology*. 2015; 122(7):e40-41. doi: 10.1016/j.ophtha.2014.11.030 PMID: 26111782.
2. Глаукома. Национальное руководство. Под ред. Е.А. Егорова. М.: ГЭОТАР-Медиа; 2015. 456 с. ISBN 978-5-9704-3314-0
3. Нестеров А.П., Алябьева Ж.Ю., Лаврентьев А.В. Глаукома нормального давления: гипотеза патогенеза. *Вестн. офтальмол.* 2003; 2:3-6. PMID: 13677995.
4. Волков В.В. Глаукома при псевдонормальном давлении. Руководство для врачей. М.: Медицина; 2001. 350 с.
5. Spoerl E., Boehm A.G., Pillunat L.E. The influence of various substances on the biomechanical behavior of lamina cribrosa and peripapillary sclera. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2005; 46(4):1286–1290.
6. Иомдина Е.Н., Бауэр С.М., Котляр К.Е. Биомеханика глаза: теоретические аспекты и клинические приложения. Под ред. В.В. Нероева. М.: Реал Тайм; 2015. 208 с. ISBN 978-5-903025-57-2
7. Burgoyne C.F., Downs J.C. Premise and prediction — how optic nerve head biomechanics underlies the susceptibility and clinical behavior of the aged optic nerve head. *J Glaucoma.* 2008; 17:318–328.
8. Albon J., Purslow P.P., Karwatowski W.S., Easty D.L. Age related compliance of the lamina cribrosa in human eyes. *Br J Ophthalmol.* 2000; 84:318–323.
9. Quigley H.A., Arora K., Idrees S., Solano F., Bedrood S., Lee C., Jefferys J., Nguyen T.D. Biomechanical responses of lamina cribrosa to intraocular pressure change assessed by optical coherence tomography in glaucoma eyes. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2017; 58(5): 2566–2577.
10. Naranjo-Bonilla P., Giménez-Gómez R., Ríos-Jiménez D., Varas-Fabra M.L., Muñoz-Villanueva M.D., García-Catalán R., Font-Ugalde P., Poblador-Fernández M.S., Lancho-Alonso J.L., Gallardo-Galera J.M. Enhanced depth OCT imaging of the lamina cribrosa for 24 hours. *J Ophthalmol.* 2017; 18.10(2):306–309. doi:10.18240/ijo.2017.02.20
11. Kim Y.W., Jeoung J.W., Kim D.W., Girard M.J.A., Mari J.M., Park K.H. et al. Clinical assessment of lamina cribrosa curvature in eyes with primary open-angle glaucoma. *PLoS ONE.* 2016; 11(3): e0150260. doi:10.1371/journal.pone.0150260
12. Ha A., Kim T.J., Girard M.J.A., Park K.H. et al. Baseline lamina cribrosa curvature and subsequent visual field progression rate in primary open-angle glaucoma. *Ophthalmology*. 2018; 125(12):1898-1906. doi:10.1016/j.ophtha.2018.05.017
13. Волков В.В., Симакова И.Л., Куликов А.Н., Харакозов А.С., Сулейманова А.Р., Филиппов И.А. Новые морфометрические критерии в изучении патогенеза глаукомы нормального давления. *Вестник офтальмологии.* 2020; 136(2):49-55. doi:10.17116/oftalma202013602149
14. Barrancos C., Rebolleda G., Oblanca N., Cabarga C., Muñoz-Negrete F.J. Changes in lamina cribrosa and prelaminar tissue after deep sclerectomy. *Eye (Lond)*. 2014; 28(1):58-65. doi: 10.1038/eye.2013.238

References

1. Barkana Y., Dorairaj S. Re: Tham et al.: Global prevalence of glaucoma and projections of glaucoma burden through 2040: a systematic review and meta-analysis. *Ophthalmology*. 2014; 121:2081-2090. *Ophthalmology*. 2015; 122(7):e40-41. doi: 10.1016/j.ophtha.2014.11.030 PMID: 26111782.
2. Glaukoma. Nacional'noe rukovodstvo. [Glaucoma. National leadership]. Eds E.A. Egorov. M.: GJeOTAR-Media. 2015. 456 p. ISBN 978-5-9704-3314-0 (In Russ.)
3. Nesterov A.P., Aliab'eva Zh.Iu., Lavrent'ev A.V. Normal-pressure glaucoma: a hypothesis of pathogenesis. Vestn Oftalmol. 2003; 119(2): 3-6. PMID: 13677995. (In Russ.)
4. Volkov V.V. Glaukoma pri psevdonormal'nom davlenii. Rukovodstvo dlja vrachej [Glaucoma with pseudonormal pressure. A guide for doctors]. Moscow: Medicina; 2001. 350 p. (In Russ.)
5. Spoerl E., Boehm A.G., Pillunat L.E. The influence of various substances on the biomechanical behavior of lamina cribrosa and peripapillary sclera. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2005; 46(4):1286–1290.
6. Iomdina E.N., Baujer S.M., KotljarK.E. Biomehanika glaza: teoreticheskie aspekty i klinicheskie prilozhenija [Biomechanics of the eye: theoretical aspects and clinical applications]. Eds V.V. Neroev. Moscow: Real Tajm; 2015. 208 p. ISBN 978-5-903025-57-2. (In Russ.)
7. Burgoyne C.F., Downs J.C. Premise and prediction — how optic nerve head biomechanics underlies the susceptibility and clinical behavior of the aged optic nerve head. *J Glaucoma.* 2008; 17:318–328.
8. Albon J., Purslow P.P., Karwatowski W.S., Easty D.L. Age related compliance of the lamina cribrosa in human eyes. *Br J Ophthalmol.* 2000; 84:318–323.
9. Quigley H.A., Arora K., Idrees S., Solano F., Bedrood S., Lee C., Jefferys J., Nguyen T.D. Biomechanical responses of lamina cribrosa to intraocular pressure change assessed by optical coherence tomography in glaucoma eyes. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2017; 58(5): 2566–2577.
10. Naranjo-Bonilla P., Giménez-Gómez R., Ríos-Jiménez D., Varas-Fabra M.L., Muñoz-Villanueva M.D., García-Catalán R., Font-Ugalde P., Poblador-Fernández M.S., Lancho-Alonso J.L., Gallardo-Galera J.M. Enhanced depth OCT imaging of the lamina cribrosa for 24 hours. *J Ophthalmol.* 2017; 18.10(2):306–309. doi:10.18240/ijo.2017.02.20
11. Kim Y.W., Jeoung J.W., Kim D.W., Girard M.J.A., Mari J.M., Park K.H. et al. Clinical assessment of lamina cribrosa curvature in eyes with primary open-angle glaucoma. *PLoS ONE.* 2016; 11(3): e0150260. doi:10.1371/journal.pone.0150260
12. Ha A., Kim T.J., Girard M.J.A., Park K.H. et al. Baseline lamina cribrosa curvature and subsequent visual field progression rate in primary open-angle glaucoma. *Ophthalmology*. 2018; 125(12):1898-1906. doi:10.1016/j.ophtha.2018.05.017
13. Volkov V.V., Simakova I.L., Kulikov A.N., Harakozov A.S., Sulejmanova A.R., Filippov I.A. New morphometric criteria in the study of the pathogenesis of normal pressure glaucoma. Vestnik oftal'mologii. 2020; 136(2):49-55. (In Russ.) doi:10.17116/oftalma202013602149
14. Barrancos C., Rebolleda G., Oblanca N., Cabarga C., Muñoz-Negrete F.J. Changes in lamina cribrosa and prelaminar tissue after deep sclerectomy. *Eye (Lond)*. 2014; 28(1):58-65. doi: 10.1038/eye.2013.238

Поступила / Received / 19.04.2021