Check for updates CC BY

https://doi.org/10.21516/2072-0076-2022-15-2-supplement-24-30

Оценка морфометрических параметров диска зрительного нерва у пациентов с различными формами открытоугольной глаукомы

Л.Л. Арутюнян[1, 2] ✉, Ю.С. Морозова[1], С.Ю. Анисимова[2], С.И. Анисимов[2, 3]

[1] ФБГОУ ДПО РМАНПО Минздрава России, ул. Баррикадная, д. 2/1, стр. 1, Москва, 125993, Россия
[2] ООО «Глазной центр "Восток-Прозрение"», ул. Полины Осипенко, д. 10-1, Москва, 123007, Россия
[3] ФГБОУ ВО «МГМСУ им. А.И. Евдокимова» Минздрава России, ул. Делегатская, 20, стр. 1, Москва, 127473, Россия

Цель *работы — сравнить толщину преламинарного слоя нервных волокон и глубину решетчатой пластинки склеры (РПС) у пациентов с различными формами первичной открытоугольной глаукомы (ПОУГ), используя оптическую когерентную томографию (ОКТ).* ***Материал и методы.*** *Обследовано 130 пациентов в возрасте 71,4 ± 9,7 года со II (развитой) стадией глаукомного поражения, разделенных на три группы в зависимости от формы глаукомы: 1-я группа — 39 пациентов с ПОУГ; 2-я — 26 пациентов с глаукомой нормального давления (ГНД); 3-я — 22 пациента с псевдоэксфолиативной глаукомой (ПЭГ). Группу контроля составили 43 пациента без офтальмопатологии. Сканирование диска зрительного нерва и макулярной зоны всех пациентов проводили в режимах ОКТ Disk + Macula 3D и Disk Raster (Optopol Revo 60 OCT, Poland), рассчитывали глубину РПС и толщину преламинарного слоя нервных волокон (ТПСНВ) зрительного нерва.* ***Результаты.*** *Глубина РПС при всех формах II стадии глаукомы статистически значимо не отличалась от группы контроля и в среднем составила при ПОУГ 426,9 ± 98,7 мкм, $p < 0,164$, при ГНД — 416,9 ± 161,0 мкм, $p < 0,818$ и при ПЭГ — 425,5 ± 88,04, $p < 0,18$. Наиболее тонкий слой преламинарных нервных волокон выявлен у пациентов с ГНД (134,0 ± 91,4 мкм), этот показатель был вдвое меньше, чем в контроле ($p < 0,001$). Значения ТПСНВ при ПОУГ (193,2 ± 114,6 мкм) и ПЭГ (190,7 ± 115,3 мкм) не различались между собой, но были статистически значимо ниже контроля ($p < 0,001$ и $p < 0,002$ соответственно).* ***Заключение.*** *Изучение параметров РПС способствует лучшему пониманию патогенеза оптической нейропатии при различных формах глаукомы, открывает новые возможности в дифференциальной диагностике и прогнозировании течения глаукомного процесса.*

Ключевые слова: первичная открытоугольная глаукома; псевдоэксфолиативная глаукома; глаукома нормального давления; оптическая когерентная томография; глубина решетчатой пластинки; преламинарный слой нервных волокон
Конфликт интересов: отсутствует.
Прозрачность финансовой деятельности: никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.
Для цитирования: Арутюнян Л.Л., Морозова Ю.С., Анисимова С.Ю., Анисимов С.И. Оценка морфометрических параметров диска зрительного нерва у пациентов с различными формами открытоугольной глаукомы. Российский офтальмологический журнал. 2022; 15 (2) (Приложение): 24-30. https://doi.org/10.21516/2072-0076-2022-15-2-supplement-24-30

 © Арутюнян Л.Л., Морозова Ю.С., Анисимова С.Ю., Анисимов С.И., 2022

Evaluation of morphometric parameters of the optic disc in patients with diverse clinical forms of open-angle glaucoma

Lusine L. Arutyunyan[1, 2] ✉, Yulia S. Morozova[1], Svetlana Yu. Anisimova[2], Sergey I. Anisimov[2, 3]

[1] *Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Department of Ophthalmology, 2/1 Bldg. 1, Barrikadnaya St., Moscow, 125993, Russia*
[2] *East Sight Recovery Eye care center 10, Bldg. 1, Poliny Osipenko St., Moscow, 123007, Russia*
[3] *A.I. Yevdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry, 20, Bldg. 1, Delegatskaya St., Moscow, 127473, Russia*
luslev@yandex.ru

Purpose. *To compare the thickness of the prelaminar layer of nerve fibers and the depth of the lamina cribrosa in patients with diverse forms of open-angle glaucoma, measured by optical coherence tomography (OCT).* ***Material and methods.*** *130 patients aged 71.4 ± 9.7 with stage II (advanced) glaucoma were divided into three groups depending on the form of glaucoma: group 1 of 39 patients with primary open-angle glaucoma (POAG); group 2 of 26 patients with normal-tension glaucoma (NTG); group 3 of 22 patients with pseudoexfoliative glaucoma (PEG). The control group consisted of 43 patients without ophthalmic pathology. All patients were scanned for the optic disc and the macular areas in the OCT Disk + Macula 3D regimen and in the Disk Raster regimen (Optopol Revo 60 OCT device (Optopol Technology, Poland). The depth of the lamina cribrosa (LC) and the thickness of the prelaminar layer of nerve fibers (tPLNF) were calculated.* ***Results.*** *No significant differences were found between the LC depth in patients with different forms of glaucoma compared with the control group. LC depth averaged 426.9 ± 98.7 μm ($p < 0.164$) in patients with POAG, 416.9 ± 161.0 μm ($p < 0.818$) with NTG and 425.5 ± 88.04 μm, ($p < 0.18$) with PEG. The thinnest layer of prelaminar nerve fibers was found in patients with NTG (134,0 ± 91.4 μM), where the value was half as much as the control ($p < 0.001$). There were no differences in the tPNFL parameter in POAG (193.2 ± 114.6 μm) and PEG (190.7 ± 115.3 μm) but both were significantly lower as compared to the control group ($p < 0.001$, $p < 0.002$) respectively.* ***Conclusion.*** *The study of LC parameters contributes to a better understanding of the pathogenesis of optic neuropathy in diverse forms of glaucoma. It opens up new opportunities in the differential diagnosis and prediction of the glaucoma course.*

Keywords: open-angle glaucoma; pseudoexfoliative glaucoma; normal-tension glaucoma; optical coherence tomography; lamina cribrosa depth; prelaminar nerve fibers layer
Conflict of interests: there is no conflict of interests.
Financial disclosure: No author has a financial or property interest in any material or method mentioned.
For citation: 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 open-angle glaucoma. Russian ophthalmological journal. 2022; 15 (2) (supplement): 24-30 (In Russian). https://doi.org/10.21516/2072-0076-2022-15-2-supplement-24-30

Согласно современным взглядам, глаукома представляет собой группу хронических нейродегенеративных заболеваний, характеризующихся относительно избирательным прогрессирующим повреждением ганглиозных клеток сетчатки и их аксонов, что приводит к потере аксонов и изменениям поля зрения [1–4]. Одним из ведущих признаков глаукомной оптической нейропатии является формирование экскавации диска зрительного нерва (ДЗН) на фоне патологического изменения состояния решетчатой пластинки склеры (РПС) [5]. Сторонники механической теории патогенеза глаукомной оптиконейропатии считают, что повышенное внутриглазное давление (ВГД) оказывает прямое повреждающее действие на структуры зрительного нерва, а уменьшение его толерантности к офтальмотонусу обусловлено первичной слабостью РПС [6]. Поэтому основной точкой воздействия при лечении глаукомы является ВГД.

Деформации РПС, вызванные повышенным ВГД, в частности задний прогиб и заднее смещение РПС, изучаются как на глазах экспериментальных животных, так и *ex vivo* на глазах человека. Задний прогиб РПС может быть связан с механическим или сосудистым повреждением головки зрительного нерва (ГЗН), включая аксоны ганглиозных клеток. Вполне логично предположить, что чем больше прогиб РПС в задней области, тем выше нагрузка на аксоны ганглиозных клеток сетчатки [7].

Появление оптической когерентной томографии (ОКТ), несомненно, улучшило возможность визуализировать РПС в естественных условиях, что вызвало значительный интерес к ее изучению у пациентов с глаукомой. В недавних исследованиях с применением ОКТ анализировались различные параметры ДЗН, в том числе важным параметром, характеризующим РПС, признана степень ее смещения кзади, приводящая при первичной открытоугольной глаукоме (ПОУГ) к формированию патологической экскавации ДЗН. В литературе данный параметр обозначается как глубина решетчатой пластинки склеры (ГРПС) — расстояние, определяемое как перпендикуляр, опущенный от центра линии, соединяющей конечные точки мембраны Бруха, до передней поверхности РПС [5]. По данным зарубежных и отечественных исследователей, ГРПС у здоровых лиц может значительно варьировать, составляя в среднем 402,06 ± 101,46 [6], 367,31 ± 87,00 [7] или 336,4 ± 57,9 мкм [8] с диапазоном колебаний от 193,08 до 826,81 мкм.

K. Park и соавт. сравнивали ГРПС при различных стадиях глаукомы и подтвердили, что ее смещение отмечается уже на ранней стадии, но статистически значимых различий

между ГРПС при легкой, умеренной и тяжелой стадиях глаукомы не выявили. Авторами был также предложен индекс кривизны РПС. Значения этого параметра оказались выше в глазах с ПОУГ, чем в здоровых глазах, но статистически значимых различий между легкой, умеренной и быстро прогрессирующей глаукомой по этому показателю также не нашли. Однако в глазах с изначально большей кривизной РПС у пациентов с глаукомой отмечается более выраженное прогрессирование ухудшения полей зрения [9].

P. Naranjo-Bonilla и соавт. выявили прямую зависимость глубины и толщины РПС у молодых пациентов от уровня суточного колебания ВГД, однако статистической значимости не обнаружено [10].

H. Quigley и соавт. в своих экспериментальных работах по изучению морфологии и биомеханики РПС *in vivo* с использованием ОКТ обнаружили, что сдвиг глубины ее передней поверхности при снижении ВГД после трабекулэктомии может происходить как вперед, так и назад. Направление и величина сдвига в значительной степени связаны со степенью выраженности глаукомного поражения. Кроме того, при одинаковом изменении ВГД в глазах с более низким исходным уровнем ВГД сдвиг РПС оказался значительней, чем в глазах с более высоким ВГД, что является следствием типичного для тканей, богатых коллагеном, увеличения жесткости структур РПС в ответ на механический стресс. Кроме того, в глазах с нормальной толщиной слоя нервных волокон глубина РПС более динамично изменялась при снижении ВГД. Эти результаты дают основание считать, что движение передней поверхности РПС при изменении ВГД может быть биомеханическим маркером степени глаукомного повреждения и предрасположенности к нему [11].

В.В. Волков и соавт. выявили, что у больных с глаукомой нормального давления (ГНД) глубина РПС при меньшей ее толщине достоверно больше, чем у здоровых лиц [12].

Необходимо иметь в виду, что РПС является живой структурой, поэтому разброс данных, полученных в разных ОКТ-исследованиях, может с большой вероятностью объясняться различиями в определении ее внешних границ. Суточные колебания также могут влиять на результаты измерения толщины РПС [10], что указывает на необходимость измерения ГРПС в одно и то же время суток. Тем не менее морфометрические параметры РПС являются значимыми критериями, позволяющими судить о риске возникновения глаукомы [11].

C. Barrancos и соавт. изучали не только ГРПС, но и толщину преламинарной ткани до и после непроникающей глубокой склерэктомии у пациентов с ПОУГ. Они предположили, что преламинарная ткань, которая при высоком ВГД сжимается, т. е. становится тоньше, и наоборот, утолщается при послеоперационном снижении ВГД, при колебаниях ВГД работает подобно буферу [13]. Однако в сравнительном аспекте при различных формах глаукомы толщина преламинарной ткани не изучалась.

ЦЕЛЬЮ нашего исследования стало сравнение толщины преламинарного слоя нервных волокон и ГРПС у пациентов с различными формами открытоугольной глаукомы на основе данных ОКТ.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Обследовано 130 пациентов в возрасте 71,4 ± 9,7 года, разделенных на три группы в зависимости от формы глаукомы: 1-я группа — 39 пациентов с ПОУГ; 2 я — 26 пациентов с ГНД; 3-я — 22 пациента с псевдоэксфолиативной глаукомой (ПЭГ). Группу контроля составили 43 пациента без офтальмопатологии (табл. 1). В основную группу включались пациенты с II (развитой) стадией глаукомного поражения, ранее не подвергавшиеся хирургическому лечению глаукомы, с компенсированным ВГД на фоне инстилляционного гипотензивного режима, без тяжелой соматической патологии, сахарного диабета, без сопутствующей глазной патологии (аметропии средней и высокой степени, возрастной макулярной дегенерации, зрелой катаракты).

У всех пациентов оценивали субъективные и объективные показатели структурно-функционального состояния органа зрения. Кроме общего офтальмологического статуса, определяли роговично-компенсированное давление (ВГДрк), а также биомеханические показатели — величину корнеального гистерезиса (КГ) и фактора резистентности роговицы (ФРР) с помощью ORA (Reichert, США). У всех больных с глаукомой и в группе контроля оценивали центральную толщину роговицы (ЦТР) и длину передне-задней оси глаза (ПЗО). Параметры представлены в таблице 2.

Для подтверждения диагноза «глаукома» 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). Использовали стандартную пороговую программу 30-2, рекомендуемую для диагностики и мониторинга глаукомы. Пациентам проводилось сканирование на приборе Optopol Revo 60 OCT (Optopol technology, Poland) в режимах Disk + Macula 3D, Disk Raster, и рассчитывали глубину решетчатой пластинки (ГРП) и толщину преламинарного слоя нервных волокон (ТПСНВ) ДЗН. На вертикальных сканах, которые располагались наиболее близко к центру ДЗН и не включали никаких основных сосудов (центральная артерия или вена сетчатки), определяли ГРП как вертикальную линию, под прямым углом соединяющую переднюю поверхность решетчатой пластинки и плоскость открытия мембраны Бруха. ТПСНВ определяли как линию, соединяющую переднюю поверхность преламинарной ткани и переднюю поверхность решетчатой пластинки в вертикальном скане и зоне ее наименьшей

Таблица 1. Возраст и пол пациентов с глаукомой и группы контроля
Table 1. Age and sex characteristics of patients with glaucoma and control group

Показатель Parameter	Группа Group			
	ПОУГ POAG n = 39	ГНД NTG n = 26	ПЭГ PEG n = 22	Контроль Control n = 43
Возраст, лет Age, years M ± SD	70,1 ± 9,3	69,6 ± 8,1	72,0 ± 6,5	66,5 ± 9,7
Женщины Female	17 (44 %)	19 (74 %)	7 (32 %)	23 (54 %)
Мужчины Male	22 (56 %)	7 (26 %)	15 (68 %)	20 (46 %)

Примечание. ГНД — глаукома нормального давления; ПОУГ — первичная открытоугольная глаукома; ПЭГ — псевдоэксфолиативная глаукома; n — количество пациентов.
Note. NTG — normotensive glaucoma, POAG — primary open-angle glaucoma, PEG — pseudo exfoliative glaucoma; n — number of patients.

толщины — минимальная толщина преламинарного слоя нервных волокон ($ТПСНВ_{мин}$) (рис. 1).

Статистический анализ проводился с использованием Statistica 12.0 EN (Statsoft Russia). Полученные данные представлены в виде среднего значения ± стандартное отклонение (M ± SD), а уровень статистической значимости установлен на уровне $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

По результатам нашего исследования ГРПС в группе контроля составила 392,7 ± 82,7 мкм. Корреляционная взаимосвязь ГРПС с возрастом, ВГД, КГ, ПЗО у лиц без офтальмопатологии не выявлена. Однако получена статистически значимая отрицательная корреляция ГРПС с толщиной роговицы ($p = 0,044$, $R = -0,376$). У пациентов группы контроля обнаружена также отрицательная корреляция между толщиной слоя нервных волокон сетчатки (ТСНВС) в темпоральном секторе и ГРПС, т. е. смещение РПС кзади сопровождалось снижением ТСНВС ($p < 0,036$, $R = -0,350$).

ГРПС при всех формах глаукомы статистически значимо не отличалась от контроля и в среднем составила при ПОУГ 426,9 ± 98,7 мкм ($p < 0,164$), при ГНД — 416,9 ± 161,0 мкм ($p < 0,818$) и при ПЭГ — 425,5 ± 88,04 мкм ($p < 0,18$). Результаты определения ГРПС и ТПСНВ представлены в таблице 3.

Особый интерес, на наш взгляд, представляет анализ показателя ТПСНВ. Мы получили его значительную вариабельность в зависимости от клинической формы глаукомы.

В группе контроля ТПСНВ составила 312,2 ± 137,1 мкм. Наиболее тонкий слой преламинарных нервных волокон был выявлен у пациентов с ГНД (134,0 ± 91,4 мкм), где этот параметр оказался вдвое меньше контроля, отличие статистически значимо ($p < 0,001$). ТПСНВ при ПОУГ (193,2 ± 114,6 мкм) и ПЭГ (190,7 ± 115,3 мкм) значимо не различались, но были достоверно ниже контроля ($p < 0,001$ и $p < 0,002$ соответственно). В то же время данный показатель был различным в группах с ГНД и ПОУГ ($p < 0,01$), что может быть использовано в качестве критерия дифференциальной диагностики этих форм глаукомы.

Установлено, что $ТПСНВ_{мин}$ при различных клинических формах глаукомы менялись соответственно ТПСНВ, статистически значимо отличались от группы контроля и составили при ПОУГ 134,5 ± 90,4 мкм ($p < 0,0001$), при ГНД — 107,6 ± 71,07 мкм ($p < 0,001$) и при ПЭГ — 139,1 ± 91,3 мкм ($p < 0,0001$) (рис. 2).

Хотя показатель ГРПС в группах статистически значимо не различался, была обнаружена его зависимость от возраста при ПОУГ ($p < 0,001$), ГНД ($p < 0,027$) и ПЭГ ($p < 0,002$). В отличие от контроля, у пациентов с глаукомой ГРПС с возрастом достоверно уменьшается, что может косвенно свидетельствовать об увеличении ригидности РПС.

Результаты корреляционного анализа связи ГРПС с биомеханическими и структурными параметрами у пациентов с глаукомой и в группе контроля представлены в таблице 4.

Таблица 2. Биометрические характеристики пациентов с глаукомой и группы контроля
Table 2. Biometric characteristics of patients with glaucoma and control group

Показатель Parameter M±SD	Группа Group			
	ПОУГ POAG n = 39	ГНД NTG n = 26	ПЭГ PEG n = 22	Контроль Control n = 43
ВГДрк, мм рт. ст. IOPcc, mm Hg	17,2 ± 5,1	15,5 ± 3,2	16,3 ± 8,0	17,6 ± 3,5
КГ, мм рт. ст. CH, mm Hg	9,0 ± 1,9	9,8 ± 0,6	8,1 ± 3,2	10,2 ± 1,6
ФРР, мм рт. ст. CRF, mm Hg	9,8 ± 1,7	9,8 ± 1,3	9,3 ± 1,9	11,0 ± 1,8
ЦТР, мкм CCT, μm	543 ± 31	530 ± 38	555 ± 25	549 ± 40
ПЗО, мм AL, mm	23,3 ± 0,7	23,5 ± 0,4	23,7 ± 0,8	23,6 ± 0,3

Примечание. ГНД — глаукома нормального давления; ПОУГ — первичная открытоугольная глаукома; ПЭГ — псевдоэксфолиативная глаукома; ВГДрк — роговично-компенсированное давление, КГ — корнеальный гистерезис, ФРР — фактор резистентности роговицы, ЦТР — центральная толщина роговицы, ПЗО — переднезадняя ось, n — количество пациентов.
Note. NTG — normotensive glaucoma, POAG — primary open-angle glaucoma, PEG — pseudo exfoliative glaucoma; IOPcc — corneal compensated intraocular pressure, CH — corneal hysteresis, CRF — corneal resistance factor, CCT — central corneal thickness, AL — axial length, n — number of patients.

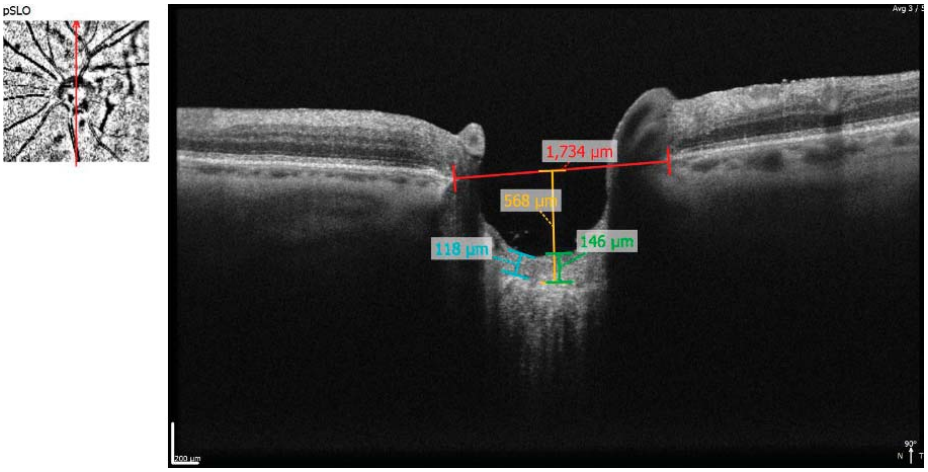

Рис. 1. Вертикальный скан Optopol Revo 60 OCT (Optopol technology, Poland) в режиме Disk Raster. Плоскость открытия мембраны Бруха — красная линия; ГРПС — желтая линия; ТПСНВ — зеленая линия; $ТПСНВ_{мин}$ — голубая линия
Fig. 1. Vertical scan Optopol Revo 60 OCT (Optopol technology, Poland) Disk Raster mode. The plane of the Bruch's membrane opening — red line; lamina cribrosa depth (LCD) — yellow line; thickness of prelaminar nerve fiber layer (tPNFL) — green line; $tPNFL_{min}$ — blue line

ОБСУЖДЕНИЕ

ОКТ позволяет с высокой точностью провести оценку морфометрических параметров РПС. По нашим данным, глубина залегания РПС у пациентов с ПОУГ, ПЭГ и ГНД II стадии значимо не отличается от контроля. Данные, полученные в результате нашего исследования, совпадают с ре-

зультатами других авторов [6–8, 14, 15]. Так, в исследовании Е.Н. Иомдиной и соавт. [15] выявлено увеличение ГРПС по мере развития глаукомного поражения, при этом наибольшую величину этого показателя отмечали на III стадии ПОУГ, что позже также было показано в нашей работе [16]. Это можно связать с особенностями сдвиговых процессов в области тканевого блока ДЗН при повышении ВГД, что прежде всего приводит к растяжению фиброзной оболочки глаза и препятствует смещению кнаружи или прогибу РПС, т. е. механизмы повреждения зрительного нерва не обязательно приводят к очевидному смещению задней поверхности РПС. Однако такая стабильность глубины расположения РПС у больных глаукомой не исключает ее повреждающего действия на нервные волокна из-за возможного смещения слоев РПС относительно друг друга при ее растяжении. Ламинарная деформация РПС может вызывать напряжение, сжатие, растяжение и сдвиг аксонов, проходящих через ламинарные поры. В результате происходит нарушение аксоплазматического тока и потеря нейрональной функциональности аксонов. В то же время наши данные расходятся с результатами некоторых других исследователей. Так, согласно M. Kim и соавт. [17], ГРПС у пациентов с ГНД составляет 539,4 ± 140,5 мкм, а у пациентов с ПОУГ — 565,9 ± 143,2 мкм. S. Lee и соавт. [18] также получили более высокие показатели у пациентов с ПОУГ (527,0 ± 116,4 мкм), чем в группе контроля (413,3 ± 80,4 мкм), однако авторы не указали тяжесть глаукомного процесса.

Одинаковая величина залегания РПС при разных клинических формах глаукомы на начальных стадиях подтверждает общность их патогенетических механизмов с наложением разных причинных факторов риска. При этом ГРПС может служить прогностическим маркером более агрессивного течения глаукомного процесса при ПЭГ.

Таблица 3. Биометрические параметры решетчатой пластинки при различных формах глаукомы, M ± SD
Table 3. Biometric parameters of the lamina cribrosa depending in various glaucoma forms, M ± SD

Параметр Parameter	Контроль Control	ГНД NTG	ПОУГ POAG	ПЭГ PEG
ГРПС, мкм LCD, μm	392,7 ± 82,7	416,9 ± 161,0	426,9 ± 98,7	425,5 ± 88,04
ТПСНВ мкм tPNFL, μm	312,2 ± 137,1	134,0 ± 91,4*,**	193,2 ± 114,6*	190,7 ± 115,3*
$ТПСНВ_{мин}$, мкм $tPNFL_{min}$, μm	311,5 ± 195,4	107,6 ± 71,07*	134,5 ± 90,4*	139,1 ± 91,3*

Примечание. ГНД — глаукома нормального давления, ПОУГ — первичная открытоугольная глаукома, ПЭГ — псевдоэксфолиативная глаукома, ГРПС — глубина решетчатой пластинки склеры, ТПСНВ — толщина преламинарного слоя нервных волокон, $ТПСНВ_{мин}$ — наименьшая толщина преламинарного слоя нервных волокон, n — количество пациентов, * — различие с группой контроля достоверно, $p < 0,05$, ** — различие с группой ПОУГ достоверно, $p < 0,05$.
Note. NTG — normotensive glaucoma, POAG — primary open angle glaucoma, PEG — pseudoexfoliative glaucoma, LCD — lamina cribrosa depth, tPNFL — thickness of prelaminar nerve fiber layer, $tPNFL_{min}$ — minimal tPNFL, n — number of patients, * — difference with control group is significant, $p < 0.05$, ** — difference with POAG group is significant, $p < 0.05$.

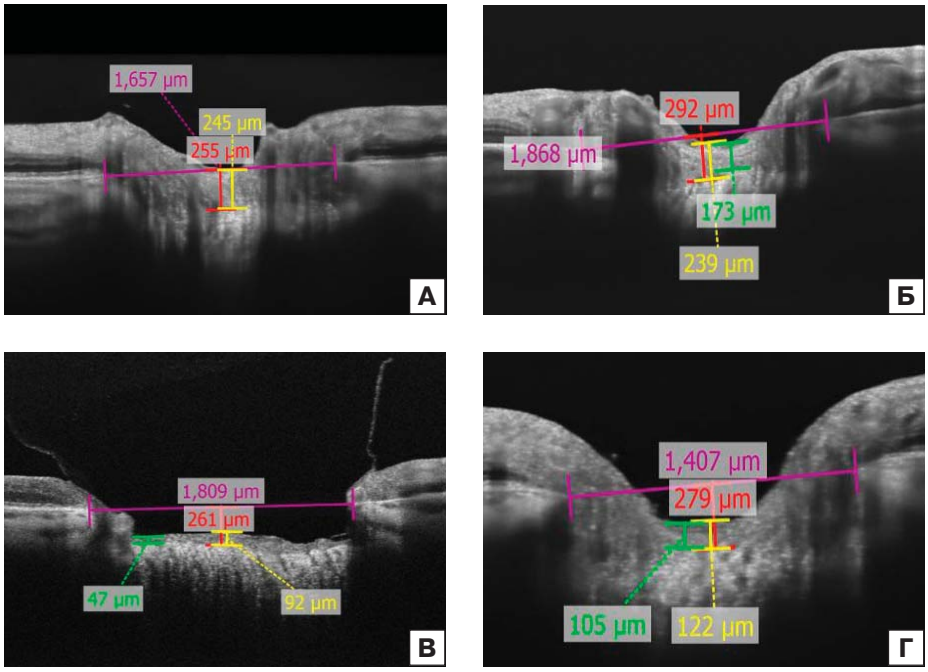

Рис. 2. ГРПС и ТПСНВ при различных формах II стадии глаукомы и в группе контроля: А — контроль; Б — ПОУГ; В — ГНД; Г — ПЭГ
Fig. 2. LCD and tPNFL in different forms of II stage glaucoma and control group: A — control; Б — POAG; B — NTG; Г — PEG

ТПСНВ у пациентов с ПОУГ и ПЭГ оказалась почти в два раза меньше, чем в группе контроля, а в группе ГНД практически в 3 раза, что указывает на слабую устойчивость этой структуры к компрессии при повышении ВГД выше толерантного уровня. У пациентов с ГНД ТПСНВ была статистически значимо меньше, чем при ПОУГ. Возможно, такое истончение нервных волокон при ГНД объясняет гибель нервных волокон независимо от уровня ВГД. Таким образом, если при развитии ПОУГ и ПЭГ преобладающим фактором риска является ВГД, то при развитии ГНД могут преобладать факторы риска, не зависящие от давления, такие как сосудистая дисрегуляция, нарушение динамики спинномозговой жидкости, ретинальная ишемия, нарушение метаболизма митохондрий и т. д.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

ОКТ позволяет провести оценку биометрических показателей РПС. Полученные нами с помощью ОКТ данные показывают, что глубина залегания РПС при II (развитой) стадии ПОУГ значимо не отличается от контроля. В то же время ТПСНВ у пациентов с ПОУГ и ПЭГ почти в два раза ниже, чем в группе контроля, но наименьшая толщина этого параметра отмечена у пациентов с ГНД. Изучение параметров РПС с помощью спектральной ОКТ открывает новые возможности в прогнозировании течения глаукомного процесса и дифференциальной диагностике разных клинических форм глаукомы, а также может способствовать лучшему пониманию патогенеза этих форм глаукомной оптической нейропатии.

Таблица 4. Корреляционный анализ связи биометрических показателей решетчатой пластинки склеры с биомеханическими и структурными параметрами пациентов с различными формами глаукомы
Table 4. Correlation analysis of the relationship between biometric parameters, and biomechanical and structural parameters of patients with different forms of glaucoma

Параметр Parameter	Контроль Control		ГНД NTG		ПОУГ POAG		ПЭГ PEG	
	spearman R	p-value	spearman R	p-value	spearman R	p-value	spearman R	p-value
ГРПС & возраст LCD & age	-0,164	0,414	-0,492*	0,027*	-0,829*	0,001*	-0,844*	0,002*
ГРПС & КГ LCD & CH	0,068	0,744	0,710*	0,017*	-0,148	0,542	-0,366	0,270
ГРПС & ЦТР LCD & CCT	-0,376*	0,044*	-0,538*	0,031*	0,159	0,540	0,179	0,505
ГРП & СНВС Т LCD & RNFL T	-0,350*	0,036*	0,052	0,799	-0,049	0,793	-0,271	0,261
ГРПС & СНВС N LCD & RNFL N	-0,068	0,689	0,539*	0,014*	-0,071	0,711	-0,176	0,469
ТПСНВ & возраст tPNFL & age	0,098	0,632	-0,709*	0,001*	-0,297*	0,008*	0,251	0,455
$ТПСНВ_{мин}$ & возраст $tPNFL_{min}$ & age	0,050	0,832	-0,687*	0,001*	-0,443*	0,018*	0,275	0,239
ТПСНВ & ВГД tPNFL & IOP	-0,234	0,229	-0,800*	0,017*	0,380	0,351	0,236	0,328
$ТПСНВ_{мин}$ & ВГД $tPNFL_{min}$ & IOP	-0,419*	0,047*	0,600	0,115	0,594*	0,006*	0,144	0,554
$ТПСНВ_{мин}$ & КГ $tPNFL_{min}$ & CH	0,278	0,234	0,800*	0,016*	-0,494*	0,044*	0,333	0,333
ТПСНВ & СНВС I tPNFL & RNFL I	-0,010	0,949	0,685*	0,001*	0,114	0,514	0,269	0,250
ТПСНВ & СНВС Т tPNFL & RNFL T	-0,509*	0,002*	0,328	0,101	0,087	0,617	0,298	0,201
$ТПСНВ_{мин}$ & СНВС I $tPNFL_{min}$ & RNFL I	0,019	0,918	0,747*	0,001*	0,112	0,548	0,313	0,177
$ТПСНВ_{мин}$ &СНВС Т $tPNFL_{min}$ & RNFL T	-0,521*	0,004*	0,328	0,101	0,120	0,517	0,198	0,400
ТПСНВ & ГКС I tPNFL & GCL I	-0,014	0,956	0,667*	0,001*	-0,140	0,832	-0,600	0,208
ТПСНВ & ГКС S tPNFL & GCL S	-0,004	0,986	0,506*	0,016*	-0,050	0,832	-0,463	0,354
ТПСНВ & ГКС Т tPNFL & GCL T	0,122	0,638	0,692*	0,001*	-0,116	0,626	-0,829*	0,042*
ТПСНВ & ГКС N tPNFL & GCL N	0,022	0,930	0,100	0,657	0,093	0,695	-0,812*	0,050*
$ТПСНВ_{мин}$ & ГКС I $tPNFL_{min}$ & GCL I	-0,061	0,834	0,694*	0,001*	-0,106	0,683	0,100	0,872
$ТПСНВ_{мин}$ & ГКС S $tPNFL_{min}$ & GCL S	-0,096	0,741	0,451*	0,035*	-0,088	0,735	-0,153	0,804
$ТПСНВ_{мин}$ & ГКС N $tPNFL_{min}$ & GCL N	-0,033	0,910	0,701*	0,002*	-0,059	0,821	-0,899*	0,015*
$ТПСНВ_{мин}$ & ГКС Т $tPNFL_{min}$ & GCL T	0,121	0,679	0,7028*	0,001*	-0,159	0,540	0,100	0,872

Примечание. ГРПС — глубина решетчатой пластинки склеры, ТПСНВ — толщина преламинарного слоя нервных волокон, $ТПСНВ_{мин}$ — наименьшая толщина преламинарного слоя нервных волокон, КГ — корнеальный гистерезис, СНВС Т — толщина слоя нервных волокон сетчатки в темпоральном квадранте, СНВС I — толщина слоя нервных волокон сетчатки в нижнем квадранте, ГКС I — толщина комплекса ганглиозных клеток сетчатки в нижнем квадранте, ГКС S — толщина комплекса ганглиозных клеток сетчатки в верхнем квадранте, ГКС Т — толщина комплекса ганглиозных клеток сетчатки в темпоральном квадранте, ГКС N — толщина комплекса ганглиозных клеток сетчатки в назальном квадранте, Spearman R — коэффициент ранговой корреляции, * — различие с группой контроля достоверно, $p < 0,05$.
Note. LCD — lamina cribrosa depth, tPNFL — thickness of the prelaminar nerve fiber layer, $tPNFL_{min}$ — minimal thickness of the prelaminar nerve fiber layer, CH — corneal hysteresis, RNFL T — retinal nerve fiber layer in temporal area, RNFL I — retinal nerve fiber layer in inferior area, GCL I — ganglion cells layer in inferior area, GCL S — ganglion cells layer in superior area, GCL N — ganglion cells layer in nasal area, GCL T — ganglion cells layer in temporal area, Spearman R — rank correlation coefficient, * — difference with control group is significant, $p < 0.05$.

Литература/References

1. *Quigley H.A., Broman A.T.* The number of people with glaucoma worldwide in 2010 and 2020. Br. J. Ophthalmol. 2006; 90: 262–7. doi: 10.1136/bjo.2005.081224
2. *Tham Y.C., Li X., Wong T.Y., et al.* Global prevalence of glaucoma and projections of glaucoma burden through 2040: A systematic review and meta-analysis. Ophthalmology. 2014; 121: 2081–90. doi: 10.1016/j.ophtha.2014.05.013
3. *Weinreb R.N., Aung T., Medeiros F.A.* The pathophysiology and treatment of glaucoma: a review. JAMA. 2014; 311 (18): 1901–11. doi: 10.1001/jama.2014.3192
4. *Егоров Е.А., Еричев В.П., ред.* Национальное руководство по глаукоме: для практикующих врачей. 4-е изд., испр. и доп. Москва: ГЭОТАР-Медиа; 2019. [*Egorov E.A., Erichev V.P., eds.* National guidance of glaucoma. 3rd edition. Moscow: GEOTAR-Media; 2019 (in Russian)]. doi: 10.33029/9704-5442-8- GLA-2020-1-384
5. *Киселева О.А., Иомдина Е.Н., Якубова Л.В., Хозиев Д.Д.* Решетчатая пластинка склеры при глаукоме: биомеханические особенности и возможности их клинического контроля. Российский офтальмологический журнал. 2018; 11 (3): 76–83. [*Kiseleva O.A., Iomdina E.N., Yakubova L.V., Khoziev D.D.* Lamina cribrosa in glaucoma: biomechanical properties and possibilities of their clinical control. Russian ophthalmological journal. 2018; 11 (3): 76–83 (in Russian)]. doi: 10.21516/2072-0076-2018-11-3-76-83
6. *Волков В.В.* Глаукома при псевдонормальном давлении. Руководство для врачей. Москва: Медицина; 2001. [*Volkov V.V.* Glaucoma with pseudonormal intraocular pressure. Guidelines for doctors. Moscow: Medicina; 2001 (in Russian)].
7. *Ha A., Kim T.J., Girard M.J.A., et al.* Baseline lamina cribrosa curvature and subsequent visual field progression rate in primary open-angle glaucoma. Ophthalmology. 2018; 125 (12): 1898–906. doi: 10.1016/j.ophtha.2018.05.017
8. *Seo J.H., Kim T.W., Weinreb R.N.* Lamina cribrosa depth in healthy eyes. Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. 2014; 55 (3): 1241–51. doi: 10.1167/iovs.13-12536
9. *Park H.Y., Jeon S.H., Park C.K.* Enhanced depth imaging detects lamina cribrosa thickness differences in normal tension glaucoma and primary open-angle glaucoma. Ophthalmology. 2012; 119: 10–20. doi:10,1016 / j.ophtha.2011.07.033
10. *Naranjo-Bonilla P., Giménez-Gómez R., Ríos-Jiménez D., et al.* Enhanced depth OCT imaging of the lamina cribrosa for 24 hours. J. Ophthalmol. 2017; 18.10 (2): 306–9. doi: 10.18240 / ijo.2017.02.20
11. *Quigley H., Arora K., Idrees S., et al.* Biomechanical responses of lamina cribrosa to intraocular pressure change assessed by optical coherence tomography in glaucoma eyes. Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. 2017; 58: 2566–77. doi:10.1167/iovs.16-21321
12. *Волков В.В., Симакова И.Л., Куликов А.Н. и др.* Новые морфометрические критерии в изучении патогенеза глаукомы нормального давления. Вестник офтальмологии. 2020; 136 (2): 49–55. [*Volkov V.V., Simakova I.L., Kulikov A.N., et al.* New morphometric criteria in the study of the pathogenesis of normal pressure glaucoma. Vestnik oftal'mologii. 2020; 136 (2): 49–55 (in Russian.)]. doi:10.17116/oftalma202013602149
13. *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
14. *Li L., Bian A., Cheng G., Zhou Q.* Posterior displacement of the lamina cribrosain normal-tension and high-tension glaucoma. Acta Ophthalmol. 2016: 94: e492–500. https://doi.org/10.1111/aos.13012
15. *Иомдина Е.Н., Киселева О.А., Бессмертный А.М. и др.* Биомеханика корнеосклеральной оболочки и гемодинамика глаукомного глаза: есть ли связь? Российский офтальмологический журнал. 2019; 12 (1): 10–7. [*Iomdina E.N., Kiseleva O.A., Bessmertny A.M., et al.* Biomechanics of the corneoscleral shell and hemodynamics of the glaucomatous eye: is there a connection? Russian ophthalmological journal. 2019; 12 (1): 10–7 (in Russian)]. doi: 10.21516/2072-0076-2019-12-1-10-17
16. *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): 11–9. [*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): 11–9. doi: 10.25700/2078-4104-2021-20-3-11-19
17. *Kim M., Bojikian K.D., Slabaugh M.A., Ding L., Chen P.P.* Lamina depth and thickness correlate with glaucoma severity. Indian J. Ophthalmol. 2016; 64 (5): 358–63. doi: 10.4103/0301-4738. 185594
18. *Lee S.H., Kim T.W., Lee E.J., Girard M.J., Mari J.M.* Diagnostic power of lamina cribrosa depth and curvature in glaucoma. Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. 2017; 58 (2): 755–62. doi: 10.1167/iovs.16-20802

Вклад авторов в работу: Л.Л. Арутюнян — разработка концепции и дизайна, сбор клинического материала, написание статьи; Ю.С. Морозова — сбор, статистическая обработка и анализ данных, написание статьи; С.Ю. Анисимова — концепция и дизайн исследования, хирургическое лечение; С.И. Анисимов — научное редактирование.
Authors' contribution: L.L. Arutyunyan — development of concept and design of the study, data collection, writing of the article; Yu.S. Morozova — data collection, processing and analysis, writing of the article; S.Yu. Anisimova — concept and design of the study, surgical treatment; S.I. Anisimov — final editing of the article.

Поступила: 14.02.2022. Переработана: 09.03.2022. Принята к печати: 10.03.2022
Originally received: 14.02.2022. Final revision: 09.03.2022. Accepted: 10.03.2022

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ/INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

[1] ФБГОУ ДПО РМАНПО Минздрава России, ул. Баррикадная, д. 2/1, стр. 1, Москва, 125993, Россия
[2] ООО «Глазной центр "Восток-Прозрение"», ул. Полины Осипенко, д. 10-1, Москва, 123007, Россия
[3] ФГБОУ ВО «МГМСУ им. А.И. Евдокимова» Минздрава России, ул. Делегатская, 20, стр. 1, Москва, 127473, Россия
Лусине Левоновна Арутюнян — д-р мед. наук, профессор кафедры офтальмологии[1], заведующая диагностическим отделением[2]
Юлия Сергеевна Морозова — аспирант кафедры офтальмологии[1]
Светлана Юрьевна Анисимова — д-р мед. наук, профессор, директор[2]
Сергей Игоревич Анисимов — д-р мед. наук, научный директор[2], профессор кафедры офтальмологии[3]

Для контактов: Лусине Левоновна Арутюнян,
luslev@yandex.ru

[1] Russian Medical Academy of Continuing Professional Education, 2/1 Bldg. 1, Barrikadnaya St., Moscow, 125993, Russia
[2] Eye center "East Sight Recovery" LLC, 10-1 Poliny Osipenko st., Moscow, 123007, Russia
[3] A.I. Yevdokimov Moscow State University of Medicine and Dentristy, 20/1, Delegatskaya St., Moscow, 127473, Russia
Lusine L. Arutyunyan — Dr. of Med. Sci., professor of chair of ophthalmology[1], head of the diagnostic unit[2]
Yulia S. Morozova — PhD student, chair of ophthalmology[1]
Svetlana Yu. Anisimova — Dr. of Med. Sci., professor, director[2]
Sergey I. Anisimov — Dr. of Med. Sci., scientific director[2], professor of chair of ophthalmology[3]

Contact information: Lusine L. Arutyunyan,
luslev@yandex.ru