

<https://doi.org/10.17116/oftalma202013601249>

Новые морфометрические критерии в изучении патогенеза глаукомы нормального давления

© В.В. ВОЛКОВ¹, И.Л. СИМАКОВА¹, А.Н. КУЛИКОВ¹, А.С. ХАРАКОЗОВ¹, А.Р. СУЛЕЙМАНОВА¹, И.А. ФИЛИППОВ²

¹Кафедра офтальмологии ФГБОУ ВО «Военно-Медицинская академия» им. С.М. Кирова МО РФ, ул. Академика Лебедева, 6П, Санкт-Петербург, 194044, Российская Федерация;

²Кафедра рентгенологии и радиологии с курсом ультразвуковой диагностики ФГБОУ ВО «Военно-Медицинская академия» им. С.М. Кирова МО РФ, ул. Академика Лебедева, 6В, Санкт-Петербург, 194044, Российская Федерация

РЕЗЮМЕ

Введение. Исследование факторов, способствующих нарушению трансмембранного градиента давления, является актуальной задачей в изучении патогенеза глаукомы нормального давления (ГНД).

Цель исследования — измерить и сравнить толщину и глубину решетчатой пластинки (РПТ и РПГ) склеры, ширину субарахноидального пространства зрительного нерва (ЗНСАПШ) у больных с ГНД и здоровых лиц.

Материал и методы. В 1-ю группу включили 12 больных (23 глаза) с ГНД в возрасте от 58 до 74 лет ($66,8 \pm 3,2$), все они имели нормальное внутриглазное давление и артериальную гипотензию; 2-ю (контрольную) группу составили 11 здоровых человек (22 глаза) в возрасте от 51 до 69 лет ($56,8 \pm 4,2$). Всем больным с ГНД выполняли структурно-функциональную оценку диска зрительного нерва с помощью ОСТ RTVue-100 (Optovue, США), периметра Humphrey (HFA II 745i, Германия-США) и нашей модификации периметрии с удвоением пространственной частоты. Всем испытуемым центральную толщину роговицы (ЦТР) измеряли с помощью Pentacam HR (Oculus, Германия), РПТ и РПГ — с помощью Topcon 3D OCT 2000 (Япония) в режиме увеличенной глубины изображения (EDI). Для измерения ЗНСАПШ использовали снимок поперечного среза ЗН, выполненного в 3 мм за глазом с помощью магнитно-резонансного томографа (Siemens Magnetom Symphony 1,5 Тл, Германия).

Результаты. В 1-й и 2-й группе различие между средними значениями РПТ ($217,60 \pm 36,92$ и $345,86 \pm 33,29$ мкм соответственно; $p=0,0000$), РПГ ($435,00 \pm 86,31$ и $367,31 \pm 87,00$ мкм соответственно; $p=0,014$) и ЗНСАПШ ($1,27 \pm 0,13$ и $1,44 \pm 0,19$ мм соответственно; $p=0,004$) было значимое, а между средними значениями ЦТР ($543,26 \pm 31,52$ и $557,50 \pm 24,92$ мкм соответственно) — незначимое ($p=0,101$).

Заключение. У больных с ГНД величина РПГ при достоверно меньших значениях РПТ и ЗНСАПШ была достоверно больше, чем у здоровых лиц, что подтверждает значимость этих морфометрических критериев для изучения патогенеза ГНД.

Ключевые слова: патогенез глаукомы нормального давления, центральная толщина роговицы, толщина решетчатой пластинки, глубина решетчатой пластинки, ширина субарахноидального пространства зрительного нерва.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ:

Волков В.В. — д-р мед. наук, профессор кафедры офтальмологии (ушел из жизни 21.02.2019 г.)

Симакова И.Л. — д-р мед. наук, доцент кафедры офтальмологии; e-mail: irina.l.simakova@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-8389-0421>

Куликов А.Н. — д-р мед. наук, начальник кафедры офтальмологии; e-mail: alexey.kulikov@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5274-6993>

Харакозов А.С. — адъюнкт кафедры офтальмологии; e-mail: kharakozoff@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4598-0826>

Сулейманова А.Р. — врач-офтальмолог; e-mail: alfinkamuse1@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-1893-8075>

Филиппов И.А. — ассистент кафедры рентгенологии и радиологии с курсом ультразвуковой диагностики; e-mail: filippov@doctor.com; <https://orcid.org/0000-0002-0881-05>

Автор, ответственный за переписку: Симакова Ирина Леонидовна — e-mail: irina.l.simakova@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-8389-0421>

New morphometric criteria in the study of pathogenesis of normal-tension glaucoma

© В.В. ВОЛКОВ¹, И.Л. СИМАКОВА¹, А.Н. КУЛИКОВ¹, А.С. ХАРАКОЗОВ¹, А.Р. СУЛЕЙМАНОВА¹, И.А. ФИЛИППОВ²

¹S.M. Kirov Military Medical Academy, Department of Ophthalmology, 6P Akademika Lebedeva St., Saint Petersburg, Russian Federation, 194044;

²S.M. Kirov Military Medical Academy, Department of Roentgenology and Radiology with the course of sonography, 6V Akademika Lebedeva St., Saint Petersburg, Russian Federation, 194044

ABSTRACT

Introduction. Studying the factors that contribute to the disturbance of transmembrane pressure gradient is a topical task in the research of pathogenesis of normal-tension glaucoma (NTG).

Purpose — to measure and compare the thickness and depth of lamina cribrosa (LCT and LCD), as well as optic nerve subarachnoid space width (ONSASW) in patients with NTG and healthy individuals.

Material and methods. The first group included 12 patients (23 eyes) aged from 58 to 74 years (average age 66.8 ± 3.2 years) with NTG who all had normal intraocular pressure and arterial hypotension. The second (control) group consisted of 11 healthy individuals (22 eyes) aged from 51 to 69 years (average age 56.2 ± 4.2 years). All patients underwent structural and functional assessment of the optic nerve head using OCT RTVue-100 (Optovue, USA), as well as Humphrey Visual Field Analyzer (HFA II 745i,

Germany-USA) and our modification of Frequency Doubling Technology perimetry. In all subjects the central corneal thickness (CCT) was measured by Pentacam HR (Oculus, Germany), the LCT and LCD were measured by EDI (Enhanced Depth Imaging) mode of Topcon 3D OCT 2000 (Japan). To measure the ONSASW we used a cross-sectional image of the optic nerve taken 3 mm behind the eyeball with Magnetic Resonance Imaging (Siemens Magnetom Symphony 1.5 T, Germany).

Results. Statistically significant difference was found between the 1st and 2nd groups in the average LCT (217.60 ± 36.92 and 345.86 ± 33.29 μm respectively; $p=0.0000$), LCD (435.00 ± 86.31 and 367.31 ± 87.00 μm , respectively; $p=0.014$) and ONSASW (1.27 ± 0.13 and 1.44 ± 0.19 mm respectively; $p=0.004$); the difference wasn't significant in the average CCT (543.26 ± 31.52 and 557.50 ± 24.92 μm respectively; $p=0.11$).

Conclusion. Patients with NTG had significantly higher value of the LCD with significantly lower values of the LCT and ONSASW compared with healthy individuals, which confirms the importance of these morphometric criteria in the study of NTG pathogenesis.

Keywords: pathogenesis of normal-tension glaucoma, central corneal thickness, lamina cribrosa thickness, lamina cribrosa depth, optic nerve subarachnoid space width.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

Simakova I.L. — e-mail: irina.l.simakova@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-8389-0421>

Kulikov A.N. — e-mail: alexey.kulikov@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5274-6993>

Kharakozov A.S. — e-mail: kharakozoff@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4598-0826>

Suleimanova A.R. — e-mail: alfinkamuse1@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-1893-8075>

Filippov I.A. — e-mail: filippov@doctor.com; <https://orcid.org/0000-0002-0881-05>

Corresponding author: Simakova I.L. — e-mail: irina.l.simakova@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-8389-0421>

Середину XIX века считают ренессансом офтальмологии, во многом благодаря созданию Германом фон Гельмгольцем в 1851 г. методики офтальмоскопии. Уже в 1857 г. А. von Graefe описал триаду симптомов, необходимых для установления диагноза глаукомы, полагая, что в ряде случаев глаукоматозная экскавация диска зрительного нерва (ДЗН) может возникать и без повышения уровня внутриглазного давления (ВГД). Однако не менее авторитетный исследователь F. Donders считал, что глаукома всегда сопровождается офтальмогипертензией, и эту точку зрения поддерживало большинство ученых на протяжении всего последующего столетия [1]. На этом этапе патологическая экскавация ДЗН, определяемая как кавернозная дегенерация зрительного нерва (ЗН), уже расценивалась как последствие глаукомы, но ее роль в диагностике этого заболевания оставалась в тени.

Современный период понимания патогенеза глаукомы начался спустя более 100 лет после создания офтальмоскопии с возрождения интереса ученых к структурно-функциональным исследованиям глаукоматозных нарушений, возникающих в ДЗН. Выявлять эти нарушения стало возможным благодаря появлению высокотехнологичных приборов, осуществляющих томографию структур глазного дна с помощью конфокальной сканирующей лазерной офтальмоскопии и тонкую оценку состояния поля зрения с помощью автоматизированной (компьютерной) периметрии. Но до их появления заболевание, похожее на глаукому (с прогрессирующей экскавацией ДЗН и связанными с его атрофией нарушениями в поле зрения), которое возникало и прогрессировало без явных признаков повышения офтальмотонуса, именовали псевдоглаукомой [2]. Позже, с появлением высоких технологий для структурно-

функциональной оценки состояния ДЗН, самую коварную форму открытоугольной глаукомы (ОУГ) стали называть глаукомой низкого давления, а в настоящее время — глаукомой нормального давления (ГНД) [3–5]. Поскольку понятие индивидуальной нормы, в том числе и для офтальмотонуса, всегда шире, чем условные нормативы для всей популяции, В.В. Волковым (2001) был предложен термин «псевдонормальное давление» [1]. Поэтому диагноз «глаукома псевдонормального давления» в нашей стране также используется.

Приват-доцент кафедры офтальмологии Военно-медицинской академии (ВМА) К.И. Ноишевский еще в 1911–1912 гг. изучал в лаборатории И.П. Павлова появление глаукоматозной экскавации у собак после трепанации черепа, развитие которой он объяснял усилением тока лимфы от глаза к мозгу [6]. В 70-е годы XX века под руководством проф. В.В. Волкова на кафедре проводились «пионерские» исследования по изучению взаимосвязи между уровнями внутриглазного, артериального и внутричерепного давления. Анализ большого числа наблюдений за неблагоприятным течением глаукомы на фоне артериальной гипотензии позволил В.В. Волкову высказать суждение о необходимости учета уровня артериального давления (АД) при оценке нормы офтальмотонуса в виде индивидуально переносимого ВГД [7]. Верность этого суждения в дальнейшем была подтверждена работами зарубежных ученых. В частности, S. Tielsch и соавт. (1995) при обследовании 5308 человек 40 лет и старше установили, что с понижением уровня АД закономерно понижается не только перфузионное давление, но и офтальмотонус [8]. В настоящее время артериальная гипотензия признана одним из факторов риска для развития ГНД.

В те же годы на кафедре офтальмологии ВМА впервые в мире удалось в эксперименте на животных (кроликах) измерить давление ликвора в межоболочечных пространствах ЗН [9]. Результат этого технически сложного исследования давления в малых объемах жидкости подтвердил гипотезу В.В. Волкова о существовании градиента в плоскости решетчатой пластинки (мембраны) склеры (РП или РМ) между внутриглазным и интраневральным (тканеликворным) давлением, нарушение которого может быть ключевым моментом в развитии глаукомной оптической нейропатии (ГОН) [10]. Гипотеза проф. В.В. Волкова о роли трансмембранного градиента давления (ТМГД) в патогенезе глаукомы получила подтверждение в последующих многочисленных исследованиях авторитетных зарубежных ученых [11–16].

Но дело не только и даже не столько в ТМГД. Решающая роль принадлежит биомеханическим свойствам самой РМ (РП). Исходя из особенностей патогенеза глаукомной несостоятельности РМ, В.В. Волков (2008) выделял три клинические формы ГОН: офтальмогипертензивную, оптиколикворгипотензивную и мембранодистрофическую [1, 17]. Современный взгляд на роль биомеханических факторов в возникновении и прогрессировании ГОН отражен в схеме, разработанной J. Downs и соавт. (2011). В основе этой схемы лежит деформация тканей РП, возникающая вследствие нарушения ламинарного градиента между внутриглазным и ликворным давлением, а также изменения механических свойств самих тканей, которые ухудшаются из-за возрастной дистрофической перестройки биохимии матрикса РП и окружающей ее склеры из-за изменения состава коллагена [18]. Результаты исследований Е.Н. Иомдиной и др. (2015, 2018) показали, что при ОУГ не только изменяется состав коллагена склеры, но и увеличивается количество поперечных сшивок в ее коллагеновых структурах, накапливается нерастворимый коллаген, что также повышает жесткость и снижает проницаемость склеры, частью которой является РП. Авторы обнаружили, что корнеальный гистерезис снижается по мере развития глаукоматозного процесса вследствие роста жесткости фиброзной капсулы глаза [19, 20].

Учитывая вышеизложенное, исследование факторов, способствующих нарушению ТМГД, является актуальной задачей в изучении патогенеза ГНД, поэтому наше пилотное исследование было посвящено оценке новых морфометрических критериев при этой трудно диагностируемой клинической форме ОУГ.

Цель работы — измерить и сравнить толщину и глубину решетчатой пластинки (РПТ и РПГ) склеры, ширину субарахноидального пространства зрительного нерва (ЗНСАПШ) у больных с ГНД и у здоровых лиц.

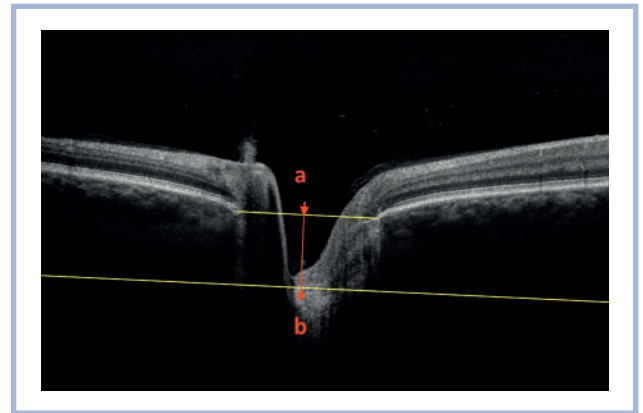


Рис. 1. Измерение РПГ (отрезок a—b) с помощью Topcon 3D OCT 2000 в режиме увеличенной глубины изображения (EDI).

Fig. 1. LCD measurement (a—b section) by EDI (Enhanced Depth Imaging) mode of Topcon 3D OCT 2000.

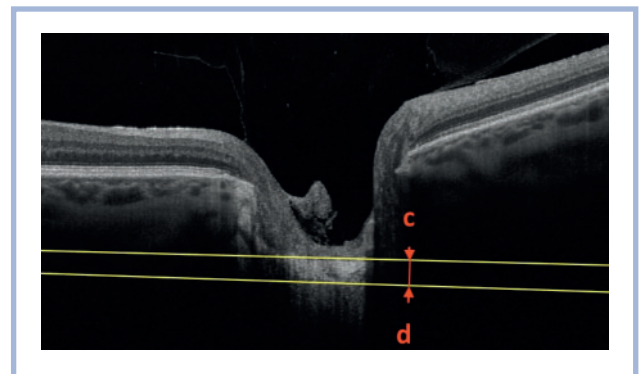


Рис. 2. Измерение РПТ (отрезок c—d) с помощью Topcon 3D OCT 2000 в режиме увеличенной глубины изображения (EDI).

Fig. 2. LCT measurement (c—d section) by EDI (Enhanced Depth Imaging) mode of Topcon 3D OCT 2000.

Материал и методы

В 1-ю группу включили 12 больных (23 глаза) с ГНД, которая в 78% (18 глаз) была начальной стадии. Возраст пациентов, из них 8 мужчин и 4 женщины, составил от 58 до 74 лет (средний $66,8 \pm 3,2$ года). Все они имели уровень ВГД по Маклакову ниже 27 мм рт.ст., артериальную гипотензию (минимальный уровень АД составил 95/60, максимальный — 120/70 мм рт.ст.). Близорукость (среднее значение $3,7 \pm 2,7$ дптр) отмечалась в 48% случаев.

Критериями исключения стали пациенты с остротой зрения ниже 0,5 и глазными или системными заболеваниями, влияющими на состояние поля зрения.

Во 2-ю (контрольную) группу включили 11 здоровых лиц (22 глаза), из них 7 женщин и 4 мужчины, в возрасте от 51 до 69 лет (средний $56,8 \pm 4,2$ года).

Все исследования проводили в соответствии с существующими международными и российскими законами, а также нормативными актами по биомедицинским исследованиям с участием людей.

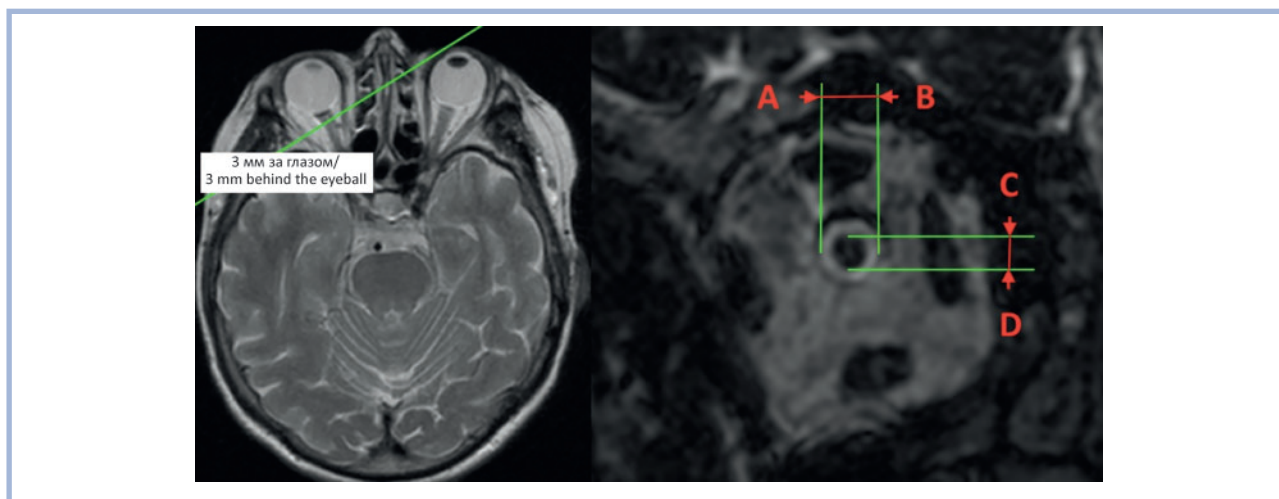


Рис. 3. Изображение поперечного среза ЗН (справа), выполненного в 3 мм за глазным яблоком с помощью МРТ.

A—B — диаметр ЗН с оболочками; C—D — диаметр ЗН без его оболочек.

Fig. 3. Cross-sectional image of the optic nerve (right) taken 3 mm behind the eye using MRI.

A—B — is the diameter of the optic nerve with shells; C—D — is the diameter of the optic nerve without its shells.

Для подтверждения диагноза ГНД и ее стадии в соответствии с международными стандартами всем больным выполняли структурно-функциональную оценку ДЗН с помощью оптической когерентной томографии (ОСТ RTVue-100, Optovue, США), стандартной автоматизированной периметрии (НФА II 745i, пороговая программа «24-2», Германия-США) и нестандартной периметрии с удвоением пространственной частоты в модификации И.Л. Симаковой и др. (2003—2009) [21].

У всех больных с ГНД и здоровых лиц оценивали ЦТР с помощью анализатора переднего сегмента глаза Pentacam HR (Oculus, Германия). Кроме того, измеряли РПГ и РПТ в микрометрах, применяя прибор Topcon 3D OCT 2000 (Япония) в режиме увеличенной глубины изображения (EDI), рассчитывая среднее значение этих показателей из трех последовательных измерений (рис. 1, 2). РПГ, величину смещения РП кзади, определяли как перпендикулярный отрезок (a—b) между центром линии, соединяющей конечные точки мембраны Бруха, и передней поверхностью РП (см. рис. 1). РПТ измеряли как отрезок (c—d) между передней и задней поверхностью РП в ее центральной части (см. рис. 2).

Для оценки ЗНСАПШ использовали снимок поперечного среза ЗН, выполненного в 3 мм за глазным яблоком с помощью магнитно-резонансного томографа Magnetom Symphony (Siemens, Германия) с индукцией магнитного поля 1,5 Тл, с использованием головной катушки (рис. 3). Перед исследованием ЗН выполняли стандартный протокол сканирования структур головного мозга, изображения которых необходимы для правильного позиционирования и направления срезов ЗН в корональной плоскости. В прицельном исследовании ЗН были

использованы специальные протоколы с малой толщиной среза (0,5—1,0 мм) в режиме подавления жировой ткани и высокого контрастирования между ликвором, нервными и сосудистыми структурами. Качество МР-изображений связано с большой величиной напряженности магнитного поля томографа и вследствие этого улучшенного соотношения "сигнал—шум". Субмиллиметровая толщина среза, отсутствие промежутков между срезами дают достоверное улучшение качества визуализации ЗН по сравнению с рутинным МР-исследованием, имеющим толщину среза 3 мм и более. ЗНСАПШ оценивали в миллиметрах на снимке поперечного среза ЗН, определяя как половину разницы между средним значением диаметра МР-изображения среза ЗН с его оболочками (A—B) и средним значением диаметра МР-изображения среза ЗН без его оболочек (C—D) (см. рис. 3).

Для обработки полученных данных использовали статистические методы, основанные на одномерной описательной статистике, дисперсионном и корреляционном анализе.

Результаты и обсуждение

В результате нашего пилотного исследования (см. таблицу) было выявлено достоверное ($p=0,0000$) различие между средними значениями РПТ у больных с ГНД ($217,60 \pm 36,92$ мкм) и здоровых лиц ($345,86 \pm 33,29$ мкм), что совпадает с данными зарубежной литературы. J. Jonas и соавт. (2003) исследовали гистологические срезы ДЗН из 53 глаз, удаленных по поводу меланомы хориоидеи, осложнившейся в 11 глазах терминальной болящей глаукомой. Авторы нашли, что РПТ в глазах с глаукомой ($251,5 \pm 201,5$ мкм) была достоверно ($p < 0,001$)

Группы наблюдения и полученные результаты

Observation groups and the obtained results

Группа наблюдения и статистические показатели	Количество глаз	ЦТР, мкм	РПТ, мкм	РПГ, мкм	ЗНСАПШ, мм
1-я — больные с ГНД	23	543,26±31,52	217,60±36,92	435,00±86,31	1,27±0,13
2-я — контрольная (здоровые лица)	22	557,50±24,92	345,86±33,29	367,31±87,00	1,44±0,19
Достоверность различия, p		$p=0,101$	$p=0,000$	$p=0,014$	$p=0,004$
Корреляция, r		1-я группа: $r=0,63$; $p=0,027$; 2-я группа: $r=0,69$; $p=0,001$			

почти в 2 раза меньше, чем в 42 глазах без глаукомы ($457,7 \pm 163,7$ мкм) [22]. Сопоставимыми по значению оказались и данные Н. Park и соавт. (2012), которые измеряли РПТ у здоровых людей, пациентов с офтальмогипертензивной формой ОУГ и ГНД с помощью спектрального оптического когерентного томографа Spectral Domain (SD-ОСТ, Германия), оснащенного модулем увеличенной глубины изображения (EDI). РП у больных с ГНД ($175,11 \pm 22,60$ мкм) оказалась в 2 раза тоньше, чем у здоровых людей ($348,14 \pm 23,41$ мкм) и значительно тоньше, чем у больных с офтальмогипертензивной ОУГ ($237,82 \pm 40,32$ мкм), причем различие было достоверным ($p < 0,001$). Авторы полагают, что у пациентов с ОУГ, особенно ГНД, измерение РПТ по диагностической значимости сопоставимо с оценкой толщины слоя нервных волокон сетчатки [23].

По нашим данным (см. таблицу), средняя величина РПГ у больных с ГНД ($435,00 \pm 86,31$ мкм) была статистически значимо ($p=0,014$) больше, чем в контрольной группе ($367,31 \pm 87,00$ мкм), что сопоставимо с результатами зарубежных авторов. М. Kim и соавт. (2016) с помощью SD-ОСТ установили, что в среднем РПГ у больных с ГНД ($539,4 \pm 140,5$ мкм) была несколько меньше, чем у больных с офтальмогипертензивной ОУГ ($565,9 \pm 143,2$ мкм), хотя разница оказалась недостоверной ($p=0,241$) [24]. J. Vianna и соавт. (2017) считают, что увеличение РПГ у пациентов с ОУГ встречается так же часто, как и истончение слоя нервных волокон сетчатки [25].

Как известно, субарахноидальное (подпаутинное) пространство (САП) — это полость между паутинной и мягкой мозговой оболочкой головного и спинного мозга, заполненная спинномозговой жидкостью (ликвором). По результатам нашего исследования (см. таблицу), среднее значение ЗНСАПШ у больных с ГНД ($1,27 \pm 0,13$ мм) оказалось достоверно ($p=0,004$) меньше, чем аналогичный показатель у здоровых лиц ($1,44 \pm 0,19$ мм), что соответствует данным зарубежной литературы. По наблюдениям G. Lee и соавт. (2004), артериальная гипотензия, часто встречающаяся у больных с ГНД, как правило, сопровождается пониженным церебро-ликворным давлением, следствием чего является уменьшение наполнения лик-

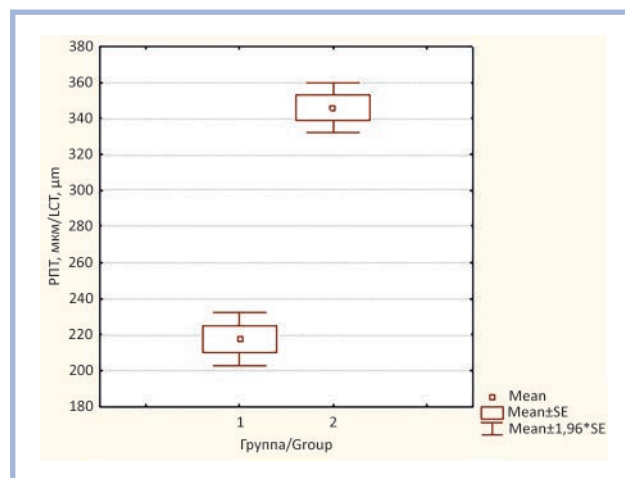


Рис. 4. Средние значения РПТ по данным Topcon 3D OCT 2000 в режиме увеличенной глубины изображения (EDI) в двух группах (с указанием 95% доверительных интервалов).

Fig. 4. Average values of the LCT in the two groups according to the data from EDI (Enhanced Depth Imaging) mode of Topcon 3D OCT 2000 (with 95% confidence intervals).

вором САП ЗН, что приводит к сужению данного пространства [26]. N. Wang и соавт. (2012), используя МРТ (Signa HDxt 3,0 Тл, USA) в режиме подавления жировой ткани, измеряли ЗНСАПШ на расстоянии 3, 9 и 15 мм позади глазного яблока у здоровых лиц и у больных с ГНД. САП оказалось достоверно ($p=0,003$) самым узким во всех трех точках измерения глазного яблока у пациентов с ГНД [27].

Для оценки значения новых морфометрических критериев в патогенезе и диагностике глаукомы применили дисперсионный анализ, который позволяет выявить статистически значимое различие между средними значениями этих показателей в глазах с ГНД и глазах здоровых лиц. Как указано на рис. 4–6, в 1-й и 2-й группах доверительный интервал средних значений РПТ, РПГ и ЗНСАПШ не перекрывается, из чего следует, что по этим морфометрическим показателям глаза с ГНД с высокой достоверностью ($p=0,000$; $p=0,014$; $p=0,004$ соответственно) отличаются от здоровых глаз.

Среднее значение ЦТР (см. таблицу) у больных с ГНД оказалось меньше ($543,26 \pm 31,52$ мкм), чем ана-

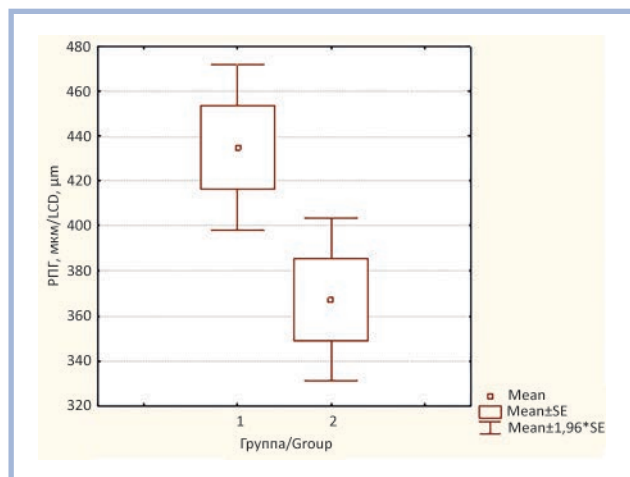


Рис. 5. Средние значения РПГ по данным Topcon 3D OCT 2000 в режиме увеличенной глубины изображения (EDI) в двух группах (с указанием 95% доверительных интервалов).

Fig. 5. Average values of the LCD in the two groups according to the data from EDI (Enhanced Depth Imaging) mode of Topcon 3D OCT 2000 (with 95% confidence intervals).

логичный показатель у здоровых лиц ($557,50 \pm 24,92$ мкм), но различие было недостоверным ($p=0,101$). Однако между средними значениями ЦТР и РПГ была получена положительная умеренная статистически значимая корреляция как в группе больных с ГНД ($r=0,63$; $p=0,027$), так и в контрольной группе ($r=0,69$; $p=0,001$).

Заключение

У больных с ГНД глубина РП при меньшей ее толщине была достоверно больше, чем у здоровых лиц, что может объяснить возникновение прогиба РП и развитие ГОН при нормальном уровне ВГД. Кроме того, у больных с ГНД показатель ЗНСАПШ был достоверно меньше, чем этот же показатель у здоровых лиц, что наряду с имеющейся у них артериальной ги-

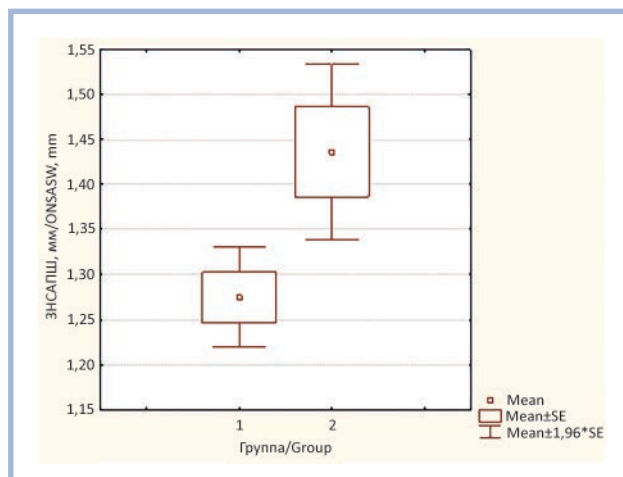


Рис. 6. Средние значения ЗНСАПШ по данным МРТ в двух группах (с указанием 95% доверительных интервалов).

Fig. 6. Average values of the ONSASW in the two groups according to the data from MRI (with 95% confidence intervals).

потензией может свидетельствовать в пользу пониженного церебро-ликворного давления и, следовательно, повышенного трансмембранного градиента давления, ведущего к развитию ГОН при нормальном уровне ВГД.

Таким образом, измерение РПТ и РПГ, а также ЗНСАПШ представляет интерес не только при изучении патогенеза ГНД, но и при диагностике этой самой коварной формы ОУГ.

Участие авторов:

Концепция и дизайн исследования: В.В., И.С.

Сбор и обработка материала: А.Х., И.Ф., А.С.

Статистическая обработка: А.Х.

Написание текста: И.С.

Редактирование: А.К.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interest.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Волков В.В. *Глаукома при псевдонормальном давлении*. М.: Медицина; 2001.
Volkov VV. *Glaukoma pri psevdonormal'nom davlenii*. M.: Meditsina; 2001. (In Russ.).
2. Blazar HA, Scheie HG. Pseudoglaucoma. *Archives of Ophthalmology*. 1950;44(4):499-513.
<https://doi.org/10.1001/archophth.1950.00910020509001>
3. Drance SM, Sweeney VP, Morgan RW, Feldman F. Studies of Factors Involved in the Production of Low Tension Glaucoma. *Archives of Ophthalmology*. 1973;89(6):457-465.
<https://doi.org/10.1001/archophth.1973.01000040459003>
4. Нестеров А.П. *Глаукома*. М.: Медицина; 1995.
Nesterov AP. *Glaukoma*. M.: Meditsina; 1995. (In Russ.).
5. Shulzer M, Drance SM, Carter CJ, Brooks DE, Douglas GR, Law W. Biostatistical Evidence for Two Distinct Chronic Open Angle Glaucoma Populations. *The British journal of ophthalmology*. 1990;74(4):196-200.
<https://doi.org/10.1136/bjo.74.4.196>
6. Ноишевский К.И. *Глаукома, ее этиология и лечение*. Петроград: Практическая медицина; 1915.
Noishevskii KI. *Glaukoma, ee etiologiya i lechenie*. Petrograd.: Prakticheskaya meditsina; 1915. (In Russ.).
7. Волков В.В., Сухинина Л.Б., Устинова Е.И. *Глаукома, преглаукома, офтальмогипертензия*. Л.: Медицина; 1985.
Volkov VV, Sukhinina LB, Ustinova E.I. *Glaukoma, preglaukoma, oftal'mogipertenziya*. L.: Meditsina; 1985. (In Russ.).
8. Tielsch JM, Katz J, Sommer A, Quigley HA, Javitt JC. Hypertension, Perfusion Pressure, and Primary Open-angle Glaucoma: A Population-Based Assessment. *Archives of Ophthalmology*. 1995;112(2):216-221.
<https://doi.org/10.1001/archophth.1995.01100020100038>
9. Волков В.В., Коровенков Р.И. Об уровне давления жидкости в межоболочечных пространствах зрительного нерва кролика. *Физиологический журнал СССР им. И.М. Сеченова*. 1974;61:193-196.
Volkov VV, Korovenkov RI. Ob urovne davleniya zhidkosti v mezhobolochechnykh prostranstvakh zritel'nogo nerva krolika. *Fiziologicheskii zhurnal SSSR im. I.M. Sechenova*. 1974;61:193-196. (In Russ.).

10. Волков В.В. Существенный элемент глаукоматозного процесса, не учитываемый в клинической практике. *Офтальмологический журнал*. 1976;7:500-504.
Volkov VV. Sushchestvennyi element glaukomatoznogo protsessa, ne uchityvaemyi v klinicheskoi praktike. *Oftalmologicheskii zhurnal*. 1976;7:500-504. (In Russ.).
11. Liu D, Michon J. Measurement of the Subarachnoid Pressure of the Optic Nerve in Human Subjects. *American journal of ophthalmology*. 1995;119(1):81-85. <https://doi.org/10.1097/00041327-199603000-00042>
12. Morgan WH, Yu DY, Balaratnasinga C. The role of cerebrospinal fluid pressure in glaucoma pathophysiology: the dark side of the optic disc. *Glaucoma*. 2008;17(5):408-413. <https://doi.org/10.1097/ijg.0b013e31815c5f7c>
13. Berdahl JP, Allingham RR. Intracranial pressure and glaucoma. *Current Opinion in Ophthalmology*. 2010;21(2):106-111. <https://doi.org/10.1097/icu.0b013e31832833651d8>
14. Jonas JB, Yang D, Wang N. Intracranial pressure and glaucoma. *Journal of Glaucoma*. 2013;22(7):597. <https://doi.org/10.1097/ijg.0b013e31829349bf>
15. Siaudvytyte L, Januleviciene I, Daveckaite A, Ragauskas A, Bartusis L, Kucinoviene J, Siesky B, Harris A. Literature review and meta-analysis of trans-laminar pressure difference in open-angle glaucoma. *Eye*. 2015;29(10):1242-1250. <https://doi.org/10.1038/eye.2015.127>
16. Killer HE, Pircher A. Normal tension glaucoma: review of current understanding and mechanisms of the pathogenesis. *Eye*. 2018;32(5):924-930. <https://doi.org/10.1038/s41433-018-0042-2>
17. Волков В.В. *Глаукома открытоугольная*. М.: Медицинское информационное агентство; 2008.
Volkov VV. *Glaukoma otkrytougol'naya*. М.: Meditsinskoe informatsionnoe agentstvo; 2008. (In Russ.).
18. Downs JC, Roberts MD, Sigal IA. Glaucomatous cupping of the lamina cribrosa: a review of the evidence for active progressive remodeling as a mechanism. *Experimental Eye Research*. 2011;93(2):133-140. <https://doi.org/10.1016/j.exer.2010.08.004>
19. Иомдина Е.Н., Бауэр С.М., Котляр К.Е. *Биомеханика глаза: теоретические аспекты и клинические приложения*. М.: Реал Тайм; 2015.
Iomdina EN, Bauer SM, Kotlyar KE. *Biomekhanika glaza: teoreticheskie aspekty i klinicheskie prilozheniya*. М.: Real Taim; 2015. (In Russ.).
20. Иомдина Е.Н., Киселева О.А., 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.
Iomdina EN, Kiseleva OA, Yakubova LV, Khoziev DD. Lamina cribrosa in glaucoma: biomechanical properties and possibilities of their clinical control. *Rossiyskiy oftalmologicheskii zhurnal*. 2018;11(3):78-83. (In Russ.). <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2018-11-3-76-83>
21. Симакова И.Л., Волков В.В., Бойко Э.В., Клавдиев В.Е., Андреа К., Сергеев В.П. Создание метода периметрии с удвоенной пространственной частотой за рубежом и в России. *Глаукома*. 2009;8(2):15-21.
Simakova IL, Volkov VV, Boiko EV, Klavdiev VE, Andrea K, Sergeev VP. Creation of the method of frequency-doubling technology perimetry: an international and Russian experience. *Glaukoma*. 2009;8(2):15-21. (In Russ.).
22. Jonas JB, Berenshtein E, Holbach L. Anatomic relationship between lamina cribrosa, intraocular space, and cerebrospinal fluid space. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*. 2003;44(12):5189-5195. <https://doi.org/10.1167/iovs.03-0174>
23. Park HY, Jeon SH, Park CK. Enhanced depth imaging detects lamina cribrosa thickness differences in normal tension glaucoma and primary open-angle glaucoma. *Ophthalmology*. 2012;119(1):10-20. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2011.07.033>
24. Kim M, Bojikian KD, Slabaugh MA, Ding L, Chen PP. Lamina depth and thickness correlate with glaucoma severity. *Indian Journal of Ophthalmology*. 2016;64(5):358-363. <https://doi.org/10.4103/0301-4738.185594>
25. Vianna JR, Lanoe VR, Quach J, Sharpe GP, Hutchison DM, Belliveau AC. Serial Changes in Lamina Cribrosa Depth and Neuroretinal Parameters in Glaucoma: Impact of Choroidal Thickness. *Ophthalmology*. 2017;124(9):1392-1402. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2017.03.048>
26. Lee GH, Lee HK, Kim JK, Kim HJ, Park JK, Choi CG. CSF Flow Quantification of the Cerebral Aqueduct in Normal Volunteers Using Phase Contrast Cine MR Imaging. *Korean Journal of Radiology*. 2004;5(2):61. <https://doi.org/10.3348/kjr.2004.5.2.81>
27. Wang N, Xie X, Yang D, Xian J, Li Y, Ren R. Orbital cerebrospinal fluid space in glaucoma: the Beijing intracranial and intraocular pressure (iCOP) study. *Ophthalmology*. 2012;119(10):2065-2073. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2012.03.054>

Поступила 30.04.19

Received 30.04.19

Принята к печати 30.07.19

Accepted 30.07.19