

# ОКТ и ОКТ-ангио параметры интраокулярного кровотока у здоровых лиц зрелой возрастной группы

**Волкова Н.В.**, к.м.н., доцент, заведующая научно-образовательным отделом<sup>1</sup>;  
доцент кафедры офтальмологии<sup>2</sup>; доцент кафедры глазных болезней<sup>3</sup>;

**Щуко А.Г.**, д.м.н., профессор, директор<sup>1</sup>; заведующий кафедрой офтальмологии<sup>2</sup>;  
заведующий кафедрой глазных болезней<sup>3</sup>;

**Юрьева Т.Н.**, д.м.н., профессор, заместитель директора по научной работе<sup>1</sup>;  
профессор кафедры офтальмологии<sup>2,3</sup>.

<sup>1</sup>ИФ ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России, 664033, Российская Федерация, Иркутск, ул. Лермонтова, 337;

<sup>2</sup>Иркутская государственная медицинская академия последипломного образования — филиал ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава России, 664079, Российская Федерация, Иркутск, м/р Юбилейный, 100;

<sup>3</sup>ФГБОУ ВО «Иркутский государственный медицинский университет» Минздрава России, 664003, Российская Федерация, Иркутск, ул. Красного Восстания, 1.

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

**Для цитирования:** Волкова Н.В., Щуко А.Г., Юрьева Т.Н. ОКТ и ОКТ-ангио параметры интраокулярного кровотока у здоровых лиц зрелой возрастной группы. *Национальный журнал глаукома.* 2021; 20(2):3-13.

## Резюме

**ЦЕЛЬ.** Выявить взаимосвязи параметров хориоидального и ретинального кровотока по данным оптической когерентной томографии (ОКТ) и ОКТ-ангиографии (ОКТ-А) со структурными, гидродинамическими и системными гемодинамическими показателями у здоровых лиц зрелого возраста.

**МЕТОДЫ.** Обследовано 42 субъекта мужского пола в возрасте  $54,43 \pm 4,1$  года без признаков местной и системной патологии. На томографе RTVue-XR (США) оценены структурные и микроциркуляторные показатели диска зрительного нерва (ДЗН) — перипапиллярный слой нервных волокон (ПСНВ) и радиальное перипапиллярное капиллярное сплетение (РПКС); макулы — толщина, поверхностное капиллярное сплетение (ПКС), глубокий сосудистый комплекс (ГСК), фовеолярная аваскулярная зона (ФАЗ); хориоидеи — толщина, структура. Артериальное давление (АД) определяли методом Рива-Роччи; тонометрию методом Маклакова. Оценивали параметры двунаправленной пневмоаппланации роговицы, рассчитывали перфузионное и толерантное давление.

**РЕЗУЛЬТАТЫ.** Выявлены отрицательные корреляции между офтальмотонусом и ПСНВ, плотностью капилляров РПКС ( $R = -0,58... -0,73$ ); между толщиной хорио-

идеи и системным кровотоком, толерантным давлением ( $R = -0,56... -0,72$ ); между толщиной хориоидеи и объемом фокальных потерь (FLV, %), а также ОКТ-А параметрами ФАЗ (площадь, периметр и плотностью фовеолярных сосудов) ( $R = -0,45... -0,58$ ). Выявлены положительные корреляции толщины перифовеа (включая ганглиозный комплекс) с ПСНВ ( $R = 0,58-0,71$ ), с толщиной хориоидеи, а также плотностью фовеолярных сосудов (ФАЗ) ( $R = 0,41-0,65$ ). Уровень достоверности  $p \leq 0,001$ .

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ.** Взаимосвязи параметров ретинальной, хориоидальной микрогемодинамики по данным ОКТ (толщина хориоидеи) и ОКТ-А (РПКС, протокол HD Angio Disc 4.5); площадь, периметр, плотность сосудов ФАЗ (протокол Angio Retina 3.0) с показателями системного кровотока у здоровых субъектов с большой долей вероятности позволяют рассматривать их в качестве гемодинамических биомаркеров в диагностике, мониторинге и оценке эффективности лечения любого интраокулярного сосудистого (в том числе глаукомного) процесса.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** оптическая когерентная томография-ангиография, интраокулярный кровоток, ауторегуляция, микрогемодициркуляция, диск зрительного нерва, сетчатка, хориоидея, глаукома.

## Для контактов:

Волкова Наталья Васильевна, e-mail: vnv-mntk@mail.ru

Поступила в печать: 19.04.2021

Received for publication: April 19, 2021

## ENGLISH

## OCT and OCT-angiography parameters of intraocular blood flow in healthy adults

**VOLKOVA N.V.**, Cand. Sci. (Med.), Associate Professor, Ophthalmologist, Head of the Scientific-Educational Department<sup>1</sup>; Associate Professor at the Ophthalmology Department<sup>2</sup>; Associate Professor at the Eye Disease Department<sup>3</sup>;

**SHCHUKO A.G.**, Dr. Sci. (Med.), Professor, Director<sup>1</sup>; Head of the Ophthalmology Department<sup>2</sup>; Head of the Eye Disease Department<sup>3</sup>;

**IUREVA T.N.**, Dr. Sci. (Med.), Professor, Deputy Director for Scientific Work<sup>1</sup>; Professor at the Eye Disease Department<sup>2,3</sup>.

<sup>1</sup>Irkutsk Branch of the S. Fedorov National Medical Research Center “MNTK “Eye Microsurgery”, 337 Lermontova St., Irkutsk, Russian Federation, 664033;

<sup>2</sup>Irkutsk State Medical Academy of Postgraduate Education (ISMAPgE) — branch of the Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, 100 Uibileiny microdistrict, Irkutsk, Russian Federation, 664049;

<sup>3</sup>Irkutsk State Medical University, 1 Krasnogo Vosstania St., Irkutsk, Russian Federation, 664003.

*Conflicts of Interest and Source of Funding: none declared.*

**For citations:** Volkova N.V., Shchuko A.G., Iureva T.N. OCT and OCT-angio parameters of intraocular blood flow in healthy adults. *Natsional'nyi zhurnal glaukoma*. 2021; 20(2):3-13.

### Abstract

**PURPOSE.** To identify the relationship between the parameters of choroidal and retinal blood flow by optical coherence tomography (OCT) and OCT angiography (OCT-A), and the structural, hydrodynamic and systemic hemodynamic parameters in healthy adults.

**METHODS.** The study included 42 male subjects aged 54.43±4.1 years without signs of local or systemic pathologies. The following parameters were evaluated on the RTVue-XR tomograph (USA): structural and microcirculatory parameters of the optic disc (OD) — peripapillary retinal nerve fiber layer (pRNFL) and radial peripapillary capillary plexus (RPCP); the macula — thickness, superficial capillary plexus (SCP), deep vascular complex (DVC), foveolar avascular zone (FAZ); the choroid — thickness, structure. Blood pressure was determined using the Riva-Rocci method; tonometry — by the Maklakov method. The parameters of bidirectional corneal applanation were evaluated, and perfusion and tolerance pressure were calculated.

**RESULTS.** Negative correlations were revealed between intraocular pressure, pRNFL and capillary density of RCP

( $R = -0.58... -0.73$ ); between choroid thickness, systemic blood flow, and tolerant pressure ( $R = -0.56... -0.72$ ); between the thickness of the choroid and the volume of focal losses (FLV, %), as well as the OCT-A parameters of FAZ (area, perimeter, and density of foveolar vessels) ( $R = -0.45... -0.58$ ). Positive correlations were found between perifoveal thickness (including ganglion complex) with the pRNFL ( $R = 0.58-0.71$ ), as well as with the thickness of the choroid ( $R = 0.41-0.65$ ). The confidence level was  $p \leq 0.001$ .

**CONCLUSION.** The relationship of retinal, choroidal, micro hemodynamics parameters by OCT (choroid thickness) and OCT-A (RCC) (HD Angio Disc 4.5 protocol); area, perimeter, and vascular density of FAZ (Angio Retina 3.0 protocol) with the parameters of systemic blood flow in healthy subjects can likely be considered as hemodynamic biomarkers in the diagnosis, monitoring, and evaluation of treatment effectiveness of any intraocular vascular process (including glaucoma).

**KEYWORDS:** optical coherence tomography-angiography; intraocular blood flow, autoregulation, microhemocirculation, optic disc, retina, choroid, glaucoma.

С момента своего изобретения в начале 90-х годов оптическая когерентная томография (ОКТ) признана эталонным методом визуализации в офтальмологии, а её функциональное расширение — оптическая когерентная томография в режиме Angio (ОКТ-А), внедренная в широкую клиническую практику в 2012 году, явилась многообещающей неинвазивной иннова-

ционной технологией исследования интраокулярной перфузии глазного яблока в норме и при различной офтальмопатологии [1].

Внедрение ОКТ позволило визуализировать морфологию диска зрительного нерва (ДЗН), сетчатки и хориоидеи, а ОКТ-А — добиться визуализации детальной анатомии интраокулярных сосудов, перипапиллярного капиллярного сплетения, выделить

сосудистые сплетения сетчатки, межсосудистые пространства и др. Достоверность ОКТ-А доказана проведением таких экспериментов, как неинвазивная оценка сосудистого ответа (гиперемия сетчатки) на световую стимуляцию или системную гиперкапнию (снижение плотности капилляров перипапиллярной области) [2, 3].

Технология микрососудистой визуализации ОКТ-А с созданием 3D ангиограмм высокого разрешения и количественной оценки зон перфузии, определяемой показателем плотности сосудов (VD, %) к единице рассматриваемой площади, продемонстрировала высокую повторяемость и воспроизводимость исследований и доказала, что вариабельность показателей VD определяется прежде всего наличием патологического процесса [4–6].

В настоящее время в большей степени технология ОКТ-А освоена в клинической практике патологии сетчатки, что вносит неоценимый вклад в диагностику и мониторинг таких заболеваний, как возрастная макулярная дегенерация, ретинопатия различного генеза и др. Обнаруженные изменения капиллярной ангиоархитектоники явились самыми ранними маркерами ишемических/гипоксических процессов как при местных, так и при системных заболеваниях сосудистой природы, зачастую опережая офтальмоскопические проявления. Измерение аваскулярных зон оказалось ценным для объективной оценки заболеваний, характеризующихся потерей капилляров при диабетической или посттромботической ретинопатии, а картирование плотности перфузии — еще одним подходом к оценке аномалий кровоснабжения и ответной реакции на лечение [7, 8].

Потенциал ОКТ-А неосцим в изучении патогенеза офтальмологических заболеваний, а количественные параметры ОКТ и ОКТ-А являются инструментом для создания новых объективных биомаркеров глазных заболеваний, облегчающих их диагностику, мониторинг и лечение [9].

Роль ОКТ-А в диагностике и лечении глаукомы все еще выясняется, а клиническая интерпретация полученных данных, несомненно, имеет особенности в контексте данной нозологии и связана с оценкой как сосудистого, так и механического факторов. В настоящее время данные, оценивающие взаимосвязь показателей системного и интраокулярного кровотока по данным ОКТ и ОКТ-А, остаются неясными, а внедрение в клиническую практику неинвазивной технологии визуализации может предоставить важную информацию об особенностях интраокулярной микроциркуляции и ее связи с показателями системного кровотока и интраокулярной гидродинамики [10, 11]. В свою очередь, для оценки валидности и надежности новых показателей применительно к глаукоме необходимо их исследование и правильная интерпретация в соответствующей возрастной группе здоровой

популяции, тем более, что одни и те же параметры могут иметь широкую популяционную вариабельность даже в пределах возрастных норм.

Цель — провести оценку и выявить взаимосвязи параметров хориоидального и ретинального кровотока по данным ОКТ и ОКТ-А со структурными, гидродинамическими и системными гемодинамическими параметрами у здоровых лиц зрелого возраста.

## Материалы и методы

Проспективное исследование выполнено в Иркутском филиале ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова». В рамках проводимой работы в качестве контрольной группы обследовано 42 глаза 42 здоровых субъектов мужского пола в возрасте  $54,43 \pm 4,1$  года. Острота зрения без коррекции составила  $0,74 \pm 0,21$ ; с коррекцией 1,0. Данные гемодинамических, гидродинамических и аксиальных параметров представлены в табл. 1.

Исследование соответствовало принципам Хельсинкской декларации, информированное добровольное согласие получено от всех обследуемых.

Критериями включения явились отсутствие признаков местной и системной патологии, отсутствие оперативных вмешательств на глазах в анамнезе. Критериями исключения были аномалии рефракции со сфероцилиндрическим эквивалентом более  $\pm 2$  дптр; аномалии формы, размера и врезки ДЗН, выявленные офтальмоскопически или по данным ОКТ. Все пациенты прошли полное офтальмологическое обследование для исключения признаков глаукоматозного процесса.

## Оптическая когерентная томография-ангиография

Исследование проведено на оптическом когерентном томографе RTVue-XR с функцией ангиографии («Optovue», Fremont, CA, USA, version 2018.1.0.43). Все участники прошли Spectral Domain ОКТ (SD-ОКТ) и ОКТ-А исследования в один и тот же день, избегая лекарственного расширения зрачков. Визуализацию сосудов хориоидеи получали в режиме Cross line спектральной ОКТ; сосудов ДЗН и сетчатки — в режиме AngioFlow, основанном на алгоритме Split-Spectrum Amplitude-Decorrelation Angiography (SSADA). Изображения низкого качества, определяемые для SD-ОКТ индексом мощности сигнала (SSI) менее 70 или качеством скана (SQ) менее 8/10, для ОКТ-А в анализ не включались.

По данным SD-ОКТ выполнена оценка структурных параметров ДЗН (толщина перипапиллярного слоя нервных волокон (ПЧНВ), мкм) и макулярной зоны (толщина сетчатки от внутренней пограничной

Таблица 1. Гемодинамические, гидродинамические и аксиальные параметры  
 Table 1. Hemodynamic, hydrodynamic, and axial parameters

Параметры / Parameters	M±SD
Систолическое АД (САД), мм рт.ст. / Systolic blood pressure (SBP), mm Hg	131,2±1,05
Диастолическое АД (ДАД), мм рт.ст. / Diastolic blood pressure (DBP), mm Hg	76,8±4,11
ВГД (по Маклакову, груз 10,0 г), мм рт.ст. / IOP (by Maklakov, weight 10.0), mm Hg	14,7±2,3
Роговично-компенсированное ВГД, мм рт.ст. / Corneal-compensated IOP (IOPcc), mm Hg	17,5±2,3
Внутриглазное давление по Гольдманну (ВГД), мм рт.ст. / Goldmann IOP (IOPg), mm Hg	11,8±1,5
Корнеальный гистерезис, мм рт.ст. / Corneal hysteresis, mm Hg	10,05±1,02
Фактор резистентности роговицы, мм рт.ст. / Corneal resistance factor, mm Hg	10,31±1,02
Биометрия, мм / Biometry, mm	23,7±0,54
Глубина передней камеры, мм / Depth of anterior chamber, mm	2,7±0,38
Толщина хрусталика, мм / Lens thickness, mm	4,3±0,35
Пахиметрия, мкм / Pachymetry, μm	528,9±25,6
Соотношение экскавация/диск зрительного нерва / Ratio of excavation/optic nerve disc	0,41±0,17

мембраны (ВПМ) до ретинального пигментного эпителия (РПЭ), включая ганглиозный комплекс сетчатки (GCC), мкм).

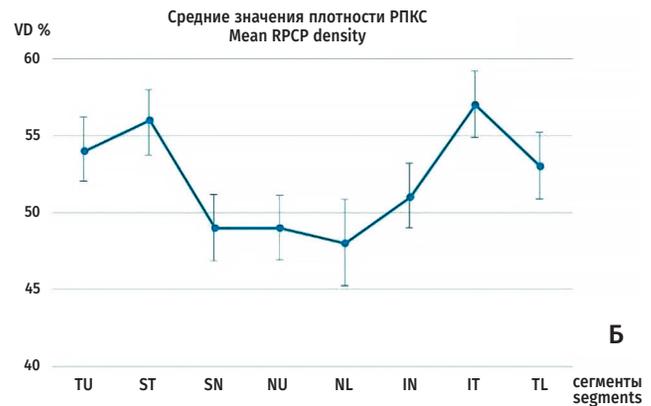
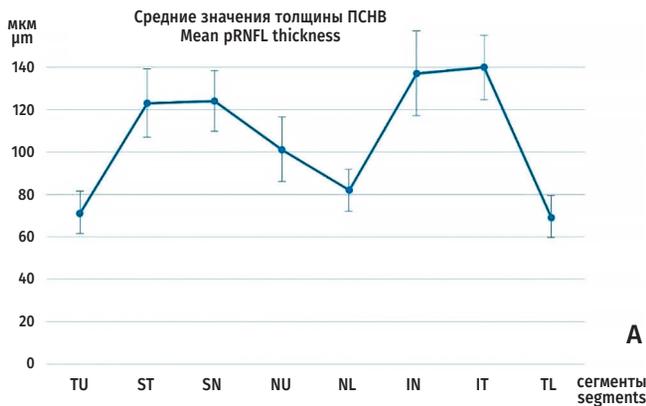
При ОКТ-А радиальное перипапиллярное капиллярное сплетение (РПКС), локализованное на уровне слоя нервных волокон, оценивали по протоколу HD Angio Disc (4.5), с анализом VD по 8 секторам, показателям Whole Image и Inside Disk (Small Vessels и All Vessels). Капиллярное сплетение макулы оценивали по протоколам Angio Retina (3.0 и 6.0). Сканированные изображения макулы были автоматически разделены на два сосудистых сплетения: поверхностное капиллярное сплетение (ПКС) (между ВПМ и линией на 9 мкм выше сочленения внутренний плексиформный слой/внутренний ядерный слой (ВПС/ВЯС)) и глубокий сосудистый комплекс (ГСК) (представленный промежуточным и глубоким сосудистыми сплетениями от линии на 9 мкм выше сочленения ВПС/ВЯС до линии на 9 мкм выше сочленения наружный пограничный слой/наружный ядерный слой (НПС/НЯС)) [12]. Плотность сосудов ПКС и ГСК оценивали по решетке ETDRS (в центре, пара- и перифовеолярно по секторам) протокола Angio Retina (6.0). Показатели плотности сосудов (VD, %) автоматически генерировались прибором в программном обеспечении AngioVue™ в 4-х квадрантах обозначенных кругов.

Показатели фовеолярной зоны (площадь фовеолярной аваскулярной зоны (FAZ, мм<sup>2</sup>), периметр аваскулярной зоны (Perim, мм) и плотность фовеолярных капилляров (FD, %)) оценивали по протоколу Angio Retina (3.0).

Измерение хориоидеи проводили в мануальном режиме от ретинального пигментного эпителия до склерохориоидального сочленения в проекции фовеа, в радиусе 500, 1500, 2500 мкм в верхнем, нижнем, назальном и темпоральном сегментах.

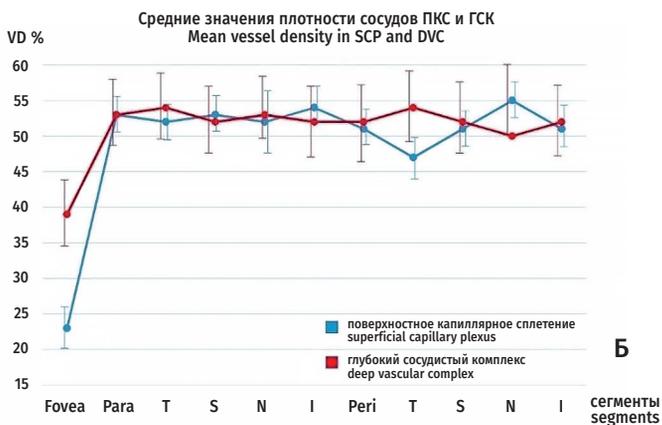
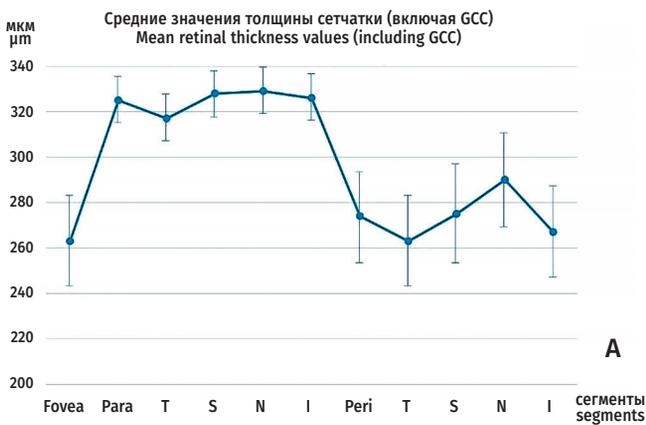
Измерение артериального давления проводили по методу Рива-Роччи. Тонometriю выполняли по методу Маклакова грузом массой 10,0 г; оценивали параметры двунаправленной пневмоаппланации роговицы ORA (мм рт.ст.) (Ocular Response Analyzer®, USA): роговично-компенсированное ВГД (IOPcc), тонометрия по Гольдманну (IOPg), фактор резистентности роговицы (CRF) и корнеальный гистерезис (CH). Перфузионное давление (Рперф) рассчитывали по формуле: Рперф = АД ср — ВГД, (где АД ср = АД диаст + 1/3 (АД сист — АД диаст)) [13]. Толерантное ВГД рассчитывали по таблице показателей трофики внутренних оболочек глаза (таблица Шлопак) с учетом диастолического уровня АД (при норме показателя трофики 0,24–0,32) [14].

Статистическая обработка результатов проведения с использованием пакета прикладных программ Statistica 10.0. Нормальное распределение данных проверено с помощью критерия Шапиро – Уилка. Средние значения и их стандартное отклонение (M; SD) для всех исследуемых показателей рассчитаны в 95% доверительном интервале (95% ДИ). Корреляции (прямые и обратные) оценены с помощью коэффициента линейной корреляции Пирсона (R) с ранжированием связей ≤0,3 как слабые; от 0,31 до 0,70 — средние, от 0,71 до 1,0 — высокие.



**Рис. 1.** Средние значения по секторам: А — толщины ПСНВ; Б — плотности РПКС. TU — верхний темпоральный косой; ST — верхний темпоральный; SN — верхний назальный; NU — верхний назальный косой; NL — нижний назальный; IN — нижний назальный косой; IT — нижний темпоральный; TL — нижний темпоральный косой

**Fig. 1.** Average values by sector: А — of peripapillary RNFL thickness; Б — the density of radial peripapillary capillary plexus. TU — upper temporal oblique; ST — superior temporal; SN — superior nasal; NU — upper nasal oblique; NL — lower nasal; IN — inferior nasal oblique; IT — inferior temporal; TL — lower temporal oblique



**Рис. 2.** Средние значения: А — толщины всей сетчатки (включая GCC); Б — плотности сосудов ПКС и ГСК. Para — парафовеолярная зона; Peri — перифовеолярная зона. Квадранты: Т — темпоральный, S — верхний, N — назальный, I — нижний

**Fig. 2.** Average values: А — of retinal thickness (with GCC); Б — the density of SCP and DVC. Para — parafoveal zone; Peri — perifoveal zone. Quadrants: T — temporal, S — superior, N — nasal, I — inferior

## Результаты

Средние значения толщины ПСНВ и плотности РПКС по 8 секторам представлены на рис. 1. Обнаруженные бимодальные пики в верхнем назальном и верхнем темпоральном, а также в нижнем назальном и нижнем темпоральном сегментах соответствуют наибольшей толщине ПСНВ в этих сегментах. Пики плотности капилляров РПКС соответствуют верхнему темпоральному и нижнему темпоральному секторам. Следовательно, наблюдается анатомическое соответствие между толщиной ПСНВ и плотностью капилляров РПКС в верхнем и нижнем темпоральных сегментах.

Средние значения толщины всей сетчатки (включая GCC) и плотности сосудов ПКС и ГСК по решетке ETDRS представлены на рис. 2. Как видно,

наибольшая толщина сетчатки соответствует зоне парафовеа во всех квадрантах, поквadrантная плотность капилляров находится практически на одном уровне, имея лишь пиковое снижение в перифовеолярном темпоральном квадранте ПКС.

Средние значения толщины хориоидеи у здоровых субъектов составили в центре фовеа  $276,13 \pm 78,37$  мкм (максимальные значения ее толщины), парафовеолярно  $268,23 \pm 73,62$  и  $268,33 \pm 68,91$  мкм с височной и носовой сторон и перифовеолярно  $259,16 \pm 71,13$  и  $258,93 \pm 70,31$  мкм с соответствующих сторон. Во всех случаях на SD-ОСТ слой хориокапилляров определялся как узкая полоса умеренной рефлективности, примыкающая к комплексу «пигментный эпителий – мембрана Бруха». Слой Саттлера определялся как широкий слой круглых или овальных гиперрефлективных контуров с гипо-

Таблица 2. Корреляции между офтальмотонусом и структурными и микроциркуляторными характеристиками ДЗН

Table 2. Correlations between intraocular pressure, and the structural and microcirculatory characteristics of the optic nerve head

	ОКТ параметры / OCT parameters			ОКТ-А параметры / OCT-A parameters							
	сегменты ДЗН / ONH segments			сегменты ДЗН / ONH segments			протокол / protocol Small vessels		протокол / protocol All vessels		
	SN	TL	IT	SN	TL	IT	whole image	peri-papillary	whole image	peri-papillary	
IOPcc	-0,63	-0,61	-0,63	-0,58	-0,57	-0,77	-0,54	-0,73	-0,63	-0,54	
IOPg	-0,76	-0,77	-0,63	-0,59	-0,63	-0,53	-0,65	-0,57	-0,73	-0,67	
CH	-0,21	-0,03	-0,13	-0,19	-0,02	-0,04	-0,14	-0,22	-0,10	-0,19	
CRF	-0,54	-0,42	-0,47	-0,41	-0,47	-0,40	-0,56	-0,56	-0,59	-0,61	

**Примечание:** IOPcc — роговично-компенсированное ВГД; IOPg — тонометрия по Goldmann; CRF — фактор резистентности роговицы; CH — корнеальный гистерезис; сегменты ДЗН: SN — верхний назальный; TL — нижний темпоральный косою; IT — нижний темпоральный.

**Note:** IOPcc — corneal-compensated IOP; IOPg — Goldmann tonometry; CRF — corneal resistance factor; CH — corneal hysteresis; ONH segments: SN — superior nasal; TL — lower temporal oblique; IT — inferior temporal.

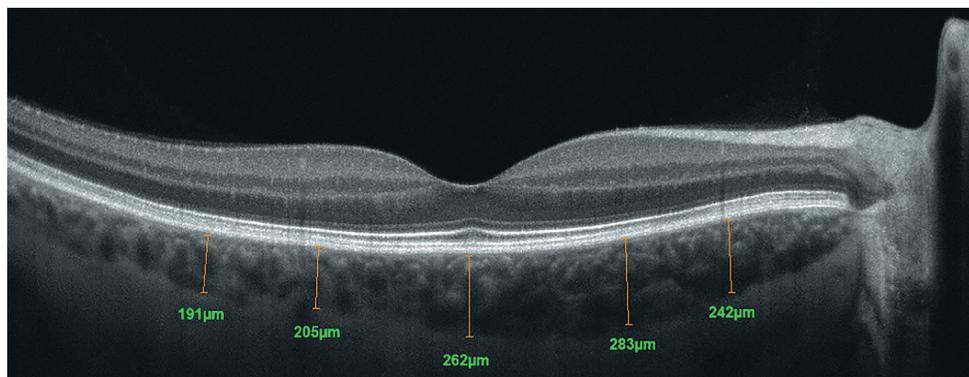


Рис. 3. SD-ОКТ хориоидеи (описание в тексте)

Fig. 3. SD-OCT of the choroid (description is in the text)

рефлективным содержимым в просвете; слой Галле-ра — как широкий слой овальных гиперрефлекторных контуров, прилегающих к склерохориоидальному сочленению (гомогенной области различной рефлективности). Сегментация хориоидеи во всех случаях была сохранена (рис. 3).

С целью определения взаимосвязей между офтальмотонусом, системным кровотоком, структурными и микроциркуляторными показателями ОКТ и ОКТ-А проведен корреляционный анализ. Сильные отрицательные корреляции выявлены между уровнем офтальмотонуса и показателями, характеризующими структуру ПСНВ и плотность капилляров РПКС, кровоснабжающих заинтересованные в патогенезе глаукомы сегменты ДЗН (табл. 2).

Корреляционный анализ выявил достоверные положительные корреляции между толщиной ПСНВ (протокол HD Angio Disk 4,5; RNFL Thickness, мкм) и толщиной сетчатки, включая ганглиозный ретинальный комплекс (протокол HD Angio Retina 6,0; Thickness ILM-RPE, мкм) (табл. 3).

Толщина перифовеолярной сетчатки как в целом, так и при оценке отдельных сегментов наиболее сильно коррелировала с толщиной ПНСВ соответствующих сегментов ДЗН. Обращает на себя внимание, что структура ПСНВ также тесно связана с показателями, характеризующими ганглиозный комплекс (см. табл. 3).

Сильные отрицательные корреляции обнаружены между толщиной хориоидеи и показателями систолического АД (САД), диастолического АД (ДАД),

Таблица 3. Корреляции толщины ПСНВ с толщиной перифовеолярной макулярной зоны (в т. ч. GCC)

Table 3. Correlations between peripapillary RNFL thickness and perifoveal macular thickness (including GCC)

Сегменты ДЗН ONH segments	Сегменты перифовеа / Perifoveal segments								
	PeF	T	S	N	I	GCC анализ / GCC Analysis			
						aver	sup	inf	
SN	0,40	0,37	0,31	0,45	0,34	0,60	0,60	0,57	
NU	0,45	0,33	0,48	0,52	0,35	0,63	0,62	0,61	
NL	0,48	0,22	0,51	0,60	0,43	0,63	0,57	0,65	
IN	0,41	0,22	0,37	0,52	0,42	0,44	0,35	0,49	
IT	0,60	0,65	0,64	0,53	0,51	0,58	0,62	0,51	
TL	0,44	0,66	0,54	0,56	0,49	0,62	0,66	0,54	
TU	0,33	0,21	0,46	0,41	0,19	0,56	0,60	0,48	
ST	0,63	0,42	0,53	0,51	0,45	0,46	0,51	0,40	

**Примечание:** PeF — PeriFovea, средняя толщина перифовеолярной зоны по всем меридианам; T — Tempo, темпоральный сегмент; S — Superior, верхний сегмент; N — Nasal, носовой сегмент; I — Inferior, нижний сегмент; Aver — Average GCC, средняя толщина GCC; Sup — Superior GCC, толщина верхней половины GCC-комплекса; Inf — Inferior, толщина нижней половины GCC-комплекса; SN — верхний назальный; NU — верхний назальный косой; NL — нижний назальный; IN — нижний назальный косой; IT — нижний темпоральный; TL — нижний темпоральный косой; TU — верхний темпоральный косой; ST — верхний темпоральный.

**Note:** PeF — PeriFovea, average perifoveal thickness across all meridians; T — Tempo, temporal segment; S — Superior, upper segment; N — Nasal, nasal segment; I — Inferior, lower segment; Aver — Average GCC, average GCC thickness; Sup — Superior GCC, thickness of the upper half of GCC; Inf — Inferior GCC, thickness of the lower half of GCC; SN — superior nasal; NU — upper nasal oblique; NL — lower nasal; IN — lower nasal oblique; IT — inferior temporal; TL — lower temporal oblique; TU — upper temporal oblique; ST — superior temporal.

Таблица 4. Корреляции между толщиной хориоидеи, возрастом и параметрами системного кровотока

Table 4. Correlations between choroid thickness, age, and systemic blood flow parameters

	F	PaF T	PaF N	PeF T	PeF N
Возраст / Age	-0,60	-0,61	-0,69	-0,54	-0,61
САД, мм рт.ст SBP, mm Hg	-0,71	-0,70	-0,72	-0,64	-0,71
ДАД, мм рт.ст DBP, mm Hg	-0,52	-0,51	-0,52	-0,54	-0,53
P перф / P perf	-0,66	-0,66	-0,66	-0,64	-0,67
P tl	-0,55	-0,65	-0,65	-0,77	-0,78

**Примечание:** САД — систолическое артериальное давление; ДАД — диастолическое артериальное давление; P перф — перфузионное давление; Ptl — толерантное ВГД; F (толщина хориоидеи в проекции центра фовеа); PaF T — толщина хориоидеи на отрезке 500–1500 мкм с темпоральной стороны; PaF N — толщина хориоидеи на отрезке 500–1500 мкм с назальной стороны; PeF T — толщина хориоидеи на отрезке 1500–2500 мкм с темпоральной стороны; PeF N — толщина хориоидеи на отрезке 1500–2500 мкм с назальной стороны.

**Note:** SBP — systolic blood pressure; DBP — diastolic blood pressure; P perf — perfusion pressure; Ptl — tolerant IOP; F (thickness of the choroid in the projection of fovea center); PaF T — thickness of the choroid in the segment 500–1500 microns from the temporal side; PaF N — thickness of the choroid in the segment 500–1500 microns from the nasal side; PeF T and PeF N — thickness of the choroid in the segment 1500–2500 microns from the temporal and nasal sides.

Таблица 5. Корреляции между толщиной хориоидеи и структурными и микроциркуляторными характеристиками фовеа

Table 5. Correlations between choroidal thickness and the structural and microcirculatory characteristics of the fovea

Сетчатка <i>Retina</i>	Хориоидея / <i>Choroid</i>				
	F	PaF T	PaF N	PeF T	PeF N
<b>ОКТ параметры / OCT parameters</b>					
Фовеа, мкм Fovea, $\mu\text{m}$		0,49	0,42	0,49	0,41
PeF	0,63	0,52	0,57	0,45	0,47
T	0,65	0,53	0,49	0,46	0,49
S	0,63	0,52	0,57	0,46	0,46
N	0,63	0,51	0,53	0,45	0,47
I	0,61	0,53	0,54	0,50	0,50
FLV, %	-0,58	-0,57	-0,57	-0,53	-0,55
<b>ОКТ-А параметры / OCT-A parameters</b>					
FD, %	0,43	0,48	0,4	0,43	0,36
FAZ	-0,4	-0,47	-0,33	-0,45	-0,46
Perim	-0,45	-0,52	-0,38	-0,5	-0,54

**Примечание:** F — толщина хориоидеи в проекции центра фовеа; PaF T — толщина хориоидеи на отрезке 500–1 500 мкм с темпоральной стороны; PaF N — толщина хориоидеи на отрезке 500–1 500 мкм с назальной стороны; PeF T — толщина хориоидеи на отрезке 1 500–2 500 мкм с темпоральной стороны; PeF N — толщина хориоидеи на отрезке 1 500–2 500 мкм с назальной стороны; PeF — PeriFovea, средняя толщина перифовеолярной зоны по всем меридианам; T — Tempo, темпоральный сегмент; S — Superior, верхний сегмент; N — Nasal, носовой сегмент; I — Inferior, нижний сегмент; FLV — объем фокальных потерь; FAZ — фовеолярная аваскулярная зона; Perim — периметр аваскулярной зоны, FD — плотность фовеолярных сосудов.

**Note:** F — choroidal thickness in the projection of foveal center; PaF T — choroidal thickness in the segment 500–1 500 microns on the temporal side; PaF N — choroidal thickness in the segment 500–1 500 microns on the nasal side; PeF T — choroidal thickness in the segment 1 500–2 500 microns on the temporal side; PeF N — choroidal thickness in the segment 1 500–2 500 microns on the nasal side; PeF — PeriFovea, average perifoveal thickness along all meridians; T — Tempo, temporal segment; S — Superior, upper segment; N — Nasal, nasal segment; I — Inferior, lower segment; FLV — volume of focal losses; FAZ — foveal avascular zone; Perim — perimeter of the avascular zone, FD — density of foveolar vessels.

перфузионного АД (ПАД), толерантного ВГД (Ptl) и возрастом обследуемых лиц (табл. 4).

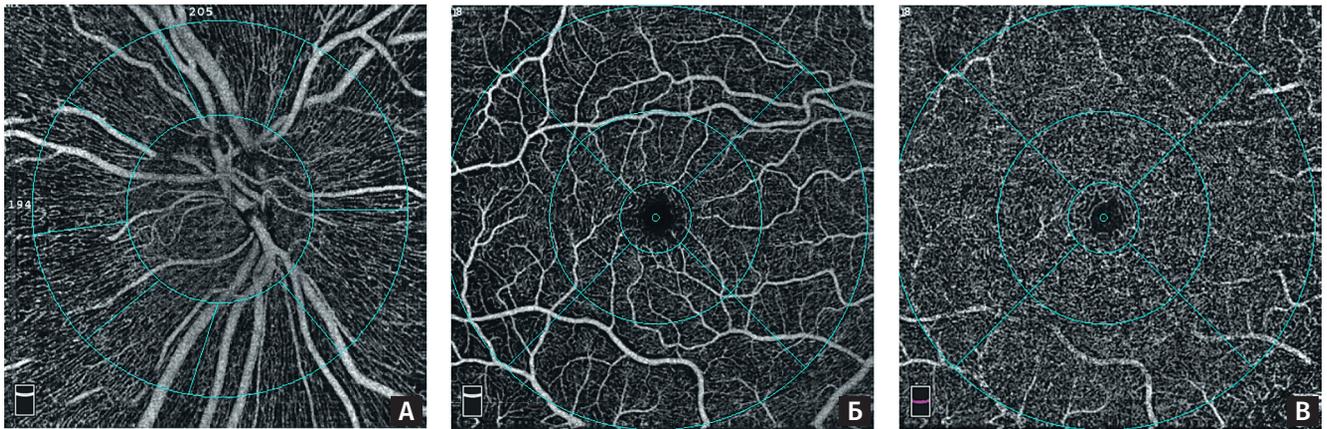
При этом корреляций между параметрами системной гемодинамики и показателями, характеризующими перфузию ДЗН (РПКС) и центральных отделов сетчатки (ПКС и ГСК), у здоровых лиц зрелого возраста не обнаружено.

Достоверные корреляции обнаружены между толщиной хориоидеи и показателями, характеризующими структуру фовеолярной зоны (толщина, мкм), ганглиозный комплекс сетчатки (объем фокальных потерь, FLV,%) и их кровоснабжение (FD, %; FAZ, мм<sup>2</sup>; PERIM, мм), представлены в табл. 5. Так, толщина хориоидеи положительно коррелирует с толщиной фовеа в центре, её перифовеолярной зоной и плотностью перифовеолярных сосудов. В то же время дефицит ее кровоснабжения ассоциируется с увеличением объема глобальных потерь, расширением площади и увеличением периметра ФАЗ.

## Обсуждение

В аспекте патогенеза глаукомной оптической нейропатии (ГОН) изучение интраокулярной микрогемодинамики и ее взаимоотношений со структурными характеристиками ДЗН, сетчатки, а также с системным кровотоком продолжает оставаться актуальными. При этом первоочередность механической или сосудистой теорий патогенеза ГОН остается предметом острых научных дискуссий. Сосудистая теория патогенеза ГОН основана на предположении о сниженной гемоперфузии глаза, закономерно сопровождающейся ишемией ДЗН и сетчатки [15, 16].

По мнению Н. Quigley, S. Naureh, развитие ГОН исходно не связано с сосудистыми нарушениями в сетчатке и зрительном нерве, а количество капилляров остается неизменным при существенном истончении слоя нервных волокон [17, 18]. Другие



**Рис. 4.** ОКТ-А: А — радиального перипапиллярного капиллярного сплетения; Б — поверхностного капиллярного сплетения, В — глубокого сосудистого комплекса

**Fig. 4.** OCT-A: А — radial peripapillary capillary plexus; Б — superficial capillary plexus; В — deep vascular complex

авторы предполагают, что повреждение микроциркуляторного русла имеет место уже на ранних стадиях заболевания [19]. Тем не менее проведенные до настоящего времени исследования не позволяют ответить на главный вопрос: являются ли нарушения микрогемодинамики ДЗН и сетчатки причиной или следствием глаукомного поражения [20].

По этой причине аспекты, касающиеся физиологии и патофизиологии интраокулярного кровообращения, а также интерпретация новых методов его оценки требуют дальнейшего осмысления.

Результаты представленного исследования не противоречат имеющимся на сегодняшний день данным о средних значениях секторальной толщины ПСНВ и показателях, характеризующих центральные отделы сетчатки по ОКТ и ОКТ-А [21–23].

Сегментам с наибольшей толщиной ПСНВ (ST и IT) соответствовала наибольшая плотность капилляров РПКС (рис. 1Б). Следовательно, обнаруженные анатомические особенности микрогемодинамики РПКС предполагают оценку именно этих секторов по ОКТ-А в качестве биомаркеров при диагностике, мониторинге и контроле лечения глаукомы.

Структура макулы в норме продемонстрировала наибольшую толщину в области парафовеа, что закономерно согласуется с максимальным скоплением здесь (до 50%) ганглиозных клеток сетчатки (рис. 2А). Плотность сосудов ГСК оказалась равномерной по всей окружности, а плотность ПКС имела наименьшую толщину в темпоральном отделе перифовеа, что, вероятно, и определяет согласованность между локализацией периметрических дефектов и снижением плотности микроциркуляторного русла с развитием глаукомного процесса еще при отсутствии морфологических изменений (рис. 2Б) [24–26].

Однако представленное исследование не обнаружило корреляций между толщиной ПСНВ и значениями плотности капиллярного микроциркуля-

торного русла РПКС и аналогичными показателями сетчатки у здоровых субъектов, о которых сообщают другие исследования [27]. При этом в норме ОКТ-ангиограммы ДЗН и сетчатки демонстрировали равномерное распределение капилляров РПКС, ПКС и ГСК во всех секторах с отсутствием зон ациркуляции (рис. 4).

С другой стороны, выявлены сильные корреляции между уровнем ВГД (IOPcc и IOPg), структурными характеристиками ДЗН и плотностью капилляров РПКС (см. табл. 1). С позиций патогенеза глаукомного процесса это подтверждает механическую теорию глаукомной нейрооптикопатии и ожидаемое отрицательное влияние повышенного (нетолерантного) ВГД не только на структуру, но и на микроциркуляцию волокон ДЗН. Кроме того, корреляционный анализ выявил сильные положительные ассоциативные связи между структурными характеристиками ДЗН (ПСНВ) и сетчатки (толщина перифовеа, включающая ГСС-комплекс) ( $R=0,58-0,71$ ;  $p=0,03$ ), объединенные понятием структурных (морфологических) биомаркеров, подтверждающих общность механизмов поражения этих структур при глаукоме (см. табл. 2) [28].

Особого интереса в представленном исследовании заслуживают выявленные высокие отрицательные корреляции между толщиной хориоидеи, уровнем систолического и диастолического артериального давления, а также показателями перфузионного давления и толерантного ВГД (Ptl) ( $R= -0,56... -0,72$ ;  $p\leq 0,001$ ) (см. табл. 3). Как известно, хориоидея лишена ауторегуляции, имеет автономную вегетативную нервную систему, а ее гемодинамика определяется перфузионным давлением и сопротивлением кровотоку, регулируемым артериями и артериолами. Кроме того, хориоидея обеспечивает 85% общего глазного кровотока, а все четыре ее отдела ДЗН, в особенности его преламинарная часть, в той или иной степени получают крово-

снабжение из системы задних коротких цилиарных артерий или хориоидеи (имеющей происхождение из этой же системы). Полученные корреляции подтверждают выдвинутые ранее предположения о прямом влиянии системного кровотока на состояние хориоидеи (учитывая отсутствие на этом уровне гематофтальмического барьера) и интраокулярное кровоснабжение в целом [29, 30]. Следовательно, становится понятным, что любое изменение уровня АД, а также нарушение вегетативной иннервации оказывают прямое влияние на перфузию хориоидеи, а соответственно, и метаболизм соответствующих структур. Кроме того, наблюдаемое нами в клинической практике увеличение толщины хориоидеи в ответ на интраоперационную декомпрессию в ходе операций фильтрующего типа (по данным ОКТ) также свидетельствует о прямом влиянии градиента АД-ВГД на перфузию хориоидеи и объясняет патогенетические механизмы как компенсаторного увеличения объема хориоидеи в ходе антиглаукомных вмешательств фильтрующего типа, направленного на улучшение интраокулярной гемоциркуляции, так и механизма развития хориоидальной эффузии при критическом увеличении градиента АД-ВГД. Следовательно, хориоидею можно считать динамической структурой, реагирующей в ответ на изменение уровня как перфузионного, так и внутриглазного давления.

В то же время корреляций между системными гемодинамическими параметрами и микроциркуляторными характеристиками сетчатки по данным ОСТ-А обнаружено не было, вероятно, ввиду того, что в норме кровоснабжение сетчатки подчиняется механизмам ауторегуляции.

## Литература

1. Jia Y., Wei E., Wang X. et al. Optical coherence tomography angiography of optic disc perfusion in glaucoma. *Ophthalmology*. 2014; 121(7):1322–1332.
2. Xu H., Deng G., Jiang C., Kong X., Yu J., Sun X. Microcirculatory responses to hyperoxia in macular and peripapillary regions. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2016; 57(10):4464–4468.
3. Pechauer A.D., Yali Jia, Liang Liu et al. Optical coherence tomography angiography of peripapillary retinal blood flow response to hyperoxia. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2015; 56(5):3287–3291.
4. Van Melkebeke L., Barbosa-Breda J., Huygens M., Stalmans I. Optical coherence tomography angiography in glaucoma: a review. *Ophthalmic Res*. 2018; 60(3):139–151.
5. Venugopal J.P., Rao H.L., Weinreb R.N. et al. Repeatability of vessel density measurements of optical coherence tomography angiography in normal and glaucoma eyes. *Br J Ophthalmol*. 2018; 102(3):352–357.
6. Manalastas P.I.C., Zangwill L.M., Saunders L.J. et al. Reproducibility of optical coherence tomography angiography macular and optic nerve head vascular density in glaucoma and healthy eyes. *J Glaucoma*. 2017; 26(10):851–859.
7. Newman A., Andrew N., Casson R. Review of the association between retinal microvascular characteristics and eye disease. *Clin Exp Ophthalmol*. 2018; 46(5):531–552.
8. Spaide R.F., Klancknik J.M., Cooney M.J. Retinal vascular layers imaged by fluorescein angiography and optical coherence tomography angiography. *JAMA Ophthalmol*. 2015; 133(1):45–50.

Обнаруженные положительные связи между толщиной и плотностью сосудов в фовеа, а также структурой перифовеа по всем сегментам с толщиной хориоидеи свидетельствуют о прямом влиянии хориоидеи и на функциональное состояние центральных отделов сетчатки. В то же время обнаруженные отрицательные корреляции между толщиной хориоидеи и объемом фокальных потерь (FLV,%), а также ОКТ-А параметрами ФАЗ (площадь и периметр) в аспекте патогенеза глаукомного процесса позволяют предположить, что нарушение кровоснабжения хориоидеи сопровождается не только ожидаемыми изменениями таких патогномоничных для глаукомы структурных показателей, как увеличение FLV и истончение перифовеолярной зоны, но и ухудшением таких микроциркуляторных показателей фовеа, как расширение площади ФАЗ, увеличение её периметра и изменение плотности фовеолярных капилляров (см. табл. 4).

Таким образом, проведенное исследование подтвердило большую вариабельность показателей ОКТ и ОКТ-А, характеризующих интраокулярную микрогемодинамику, даже в группе здоровых пациентов. Однако обнаруженные сильные взаимосвязи параметров ретинальной, хориоидальной микрогемодинамики по данным ОКТ (толщина хориоидеи) и ОКТ-А (РПКС (протокол HD Angio Disc 4.5); площадь, периметр, плотность сосудов ФАЗ (протокол Angio Retina 3.0)) с показателями системного кровотока у здоровых субъектов с большой долей вероятности позволяют рассматривать их в качестве гемодинамических биомаркеров в диагностике, мониторинге и оценке эффективности лечения любого интраокулярного сосудистого (в том числе глаукомного) процесса.

## References

1. Jia Y., Wei E., Wang X. et al. Optical coherence tomography angiography of optic disc perfusion in glaucoma. *Ophthalmology*. 2014; 121(7):1322–1332.
2. Xu H., Deng G., Jiang C., Kong X., Yu J., Sun X. Microcirculatory responses to hyperoxia in macular and peripapillary regions. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2016; 57(10):4464–4468.
3. Pechauer A.D., Yali Jia, Liang Liu et al. Optical coherence tomography angiography of peripapillary retinal blood flow response to hyperoxia. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2015; 56(5):3287–3291.
4. Van Melkebeke L., Barbosa-Breda J., Huygens M., Stalmans I. Optical coherence tomography angiography in glaucoma: a review. *Ophthalmic Res*. 2018; 60(3):139–151.
5. Venugopal J.P., Rao H.L., Weinreb R.N. et al. Repeatability of vessel density measurements of optical coherence tomography angiography in normal and glaucoma eyes. *Br J Ophthalmol*. 2018; 102(3):352–357.
6. Manalastas P.I.C., Zangwill L.M., Saunders L.J. et al. Reproducibility of optical coherence tomography angiography macular and optic nerve head vascular density in glaucoma and healthy eyes. *J Glaucoma*. 2017; 26(10):851–859.
7. Newman A., Andrew N., Casson R. Review of the association between retinal microvascular characteristics and eye disease. *Clin Exp Ophthalmol*. 2018; 46(5):531–552.
8. Spaide R.F., Klancknik J.M., Cooney M.J. Retinal vascular layers imaged by fluorescein angiography and optical coherence tomography angiography. *JAMA Ophthalmol*. 2015; 133(1):45–50.

9. Hagag A.M., Gao S.S., Jia Y., Huang D. Optical coherence tomography angiography: Technical principles and clinical applications in ophthalmology. *Taiwan J Ophthalmol.* 2017; 7(3):115–129.
10. Guidoboni G., Harris A., Cassani S., Arciero J. et al. Intraocular pressure, blood pressure, and retinal blood flow autoregulation: a mathematical model to clarify their relationship and clinical relevance. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2014; 29;55(7):4105–4118.
11. Prada D., Harris A., Guidoboni G., Siesky B., Huang A.M., Arciero J. Autoregulation and neurovascular coupling in the optic nerve head. *Surv Ophthalmol.* 2016; 61(2):164–186.
12. Жукова С.И. ОКТ и ОКТА: случаи клинической практики. Атлас с интерактивным контентом и приложения дополненной реальности OCT-angio. М.: Апрель; 2019. 187 с.
13. Курьшева Н.И., Царегородцева М.А., Рябова Т.Я., Шлапак В.Н. Перфузионное давление и первичная сосудистая дисрегуляция у больных глаукомой нормального давления. *РМЖ Клиническая офтальмология.* 2011; 1:9–10.
14. Шуко А.Г., Юрьева Т.Н., Чекмарева Л.Т., Малышев В.В. Глаукома и патология радужки. М.: 2009. 165 с.
15. Курьшева Н.И. Сосудистая теория патогенеза глаукомной оптиконейропатии: обоснование с позиций анатомии и физиологии глазного кровотока. Часть 1. *Национальный журнал глаукома.* 2017; 16(3):90–97.
16. Wentz S., Seizys C., Guidoboni G., Arciero J.C. et al. The role of blood flow in glaucoma. *Glaucoma Res Clin Advances.* 2002; 21:359–393.
17. Quigley H., Addicks E. Optic nerve damage in human glaucoma. The sit of injury and susceptibility to damage. *Arch Ophthalmol.* 1981; 99(4):635–649.
18. Hayreh S.S. Ischemic optic neuropathies. Springer; 2011. 456 p.
19. Федоров С.Н. Общая сосудистая патология и открытоугольная глаукома (Допплерографические данные). *Вопросы патогенеза и лечения глаукомы.* М.; 1981: 59–63.
20. Курьшева Н.И. ОКТ-ангиография и ее роль в исследовании ретикулярной микроциркуляции при глаукоме. Часть 2. *Национальный журнал глаукома.* 2018; 11(3):95–100.
21. Yu P.K., Cringle S.J., Yu D.Y. Correlation between the radial peripapillary capillaries and the retinal nerve fibre layer in the normal human retina. *Exp Eye Res.* 2014; 129:83–92;
22. Yu P.K., Balaratnasingam C., Xu J. et al. Label-free density measurements of radial peripapillary capillaries in the human retina. *PLoS One.* 2015; 10:e0135151.
23. Falavarjani K.G., Shenazandi H., Naseri D. et al. Foveal avascular zone and vessel density in healthy subjects: an optical coherence tomography angiography study. *J Ophthalmic Vis Res.* 2018; 13(3):260–265.
24. Liu L., Jia Y., Takusagawa H.L. et al. Optical coherence tomography angiography of the peripapillary retina in glaucoma. *JAMA Ophthalmol.* 2015; 133(9):1045–1052.
25. Wang X., Jiang C., Ko T. et al. Correlation between optic disc perfusion and glaucomatous severity in patients with open-angle glaucoma: an optical coherence tomography angiography study. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.* 2015; 253(9):1557–1564.
26. Yarmohammadi A., Zangwill L.M., Diniz-Filho A. et al. Optical coherence tomography angiography vessel density in healthy, glaucoma suspect, and glaucoma eyes. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2016; 57(9):451–460.
27. Mase T., Ishibazawa A., Nagaoka T., Yokota H., Yoshida A. Radial peripapillary capillary network visualized using wide-field montage optical coherence tomography angiography. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2016; 57(9):504–514.
28. Европейское руководство и терминология по глаукоме. М.: Офтальмология; 2019. 197 с.
29. Kim M., Kim S. Association between choroidal thickness and ocular perfusion pressure in young, healthy subjects: enhanced depth imaging optical coherence tomography study. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2012; 53(12):7710–7717.
30. Курьшева Н.И., Ардзевнишвили Т.Д., Фомин А.В. Хориоидея при глаукоме. *Национальный журнал глаукома.* 2014; 13(1):60–67.
9. Hagag A.M., Gao S.S., Jia Y., Huang D. Optical coherence tomography angiography: Technical principles and clinical applications in ophthalmology. *Taiwan J Ophthalmol.* 2017; 7(3):115–129.
10. Guidoboni G., Harris A., Cassani S., Arciero J. et al. Intraocular pressure, blood pressure, and retinal blood flow autoregulation: a mathematical model to clarify their relationship and clinical relevance. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2014; 29;55(7):4105–4118.
11. Prada D., Harris A., Guidoboni G., Siesky B., Huang A.M., Arciero J. Autoregulation and neurovascular coupling in the optic nerve head. *Surv Ophthalmol.* 2016; 61(2):164–186.
12. Zhukova S.I. OCT and OCTA: cases of clinical practice. Atlas with interactive content and augmented reality apps OCT-angio. Moscow: April; 2019. 187 p. (In Russ.)
13. Kurisheva N.I., Tsargorodtseva M.A., Ryabova T.Ya., Shlapak V.N. Perfusion pressure and primary vascular dysregulation in patients with normal pressure glaucoma. *RMJ Clinical Ophthalmology.* 2011: 1:9–10. (In Russ.)
14. Shchuko A.G., Iureva T.N., Chekmareva L.T., Malishev V.V. Glaucoma and iris pathology. Moscow; 2009. 165 p. (In Russ.)
15. Kuryseva N.I. Vascular theory of the glaucomatous optic neuropathy pathogenesis: rationale in terms of ocular blood flow anatomy and physiology. Part 1. *National J glaucoma.* 2017; 16(3):90–97. (In Russ.)
16. Wentz S., Seizys C., Guidoboni G., Arciero J.C. et al. The role of blood flow in glaucoma. *Glaucoma Res Clin Advances.* 2002; 21:359–393.
17. Quigley H., Addicks E. Optic nerve damage in human glaucoma. The sit of injury and susceptibility to damage. *Arch Ophthalmol.* 1981; 99(4):635–649.
18. Hayreh S.S. Ischemic optic neuropathies. Springer; 2011. 456 p.
19. Fyodorov S.N. General vascular pathology and open-angle glaucoma (Doppler data). Questions of the pathogenesis and treatment of glaucoma. Moscow; 1981: 59–63. (In Russ.)
20. Kuryseva N.I. OCT angiography and its role in the study of retinal microcirculation in glaucoma. Part 2. *National J glaucoma.* 2018; 11(3):95–100. (In Russ.)
21. Yu P.K., Cringle S.J., Yu D.Y. Correlation between the radial peripapillary capillaries and the retinal nerve fibre layer in the normal human retina. *Exp Eye Res.* 2014; 129:83–92;
22. Yu P.K., Balaratnasingam C., Xu J. et al. Label-free density measurements of radial peripapillary capillaries in the human retina. *PLoS One.* 2015; 10:e0135151.
23. Falavarjani K.G., Shenazandi H., Naseri D. et al. Foveal avascular zone and vessel density in healthy subjects: an optical coherence tomography angiography study. *J Ophthalmic Vis Res.* 2018; 13(3):260–265.
24. Liu L., Jia Y., Takusagawa H.L. et al. Optical coherence tomography angiography of the peripapillary retina in glaucoma. *JAMA Ophthalmol.* 2015; 133(9):1045–1052.
25. Wang X., Jiang C., Ko T. et al. Correlation between optic disc perfusion and glaucomatous severity in patients with open-angle glaucoma: an optical coherence tomography angiography study. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.* 2015; 253(9):1557–1564.
26. Yarmohammadi A., Zangwill L.M., Diniz-Filho A. et al. Optical coherence tomography angiography vessel density in healthy, glaucoma suspect, and glaucoma eyes. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2016; 57(9):451–460.
27. Mase T., Ishibazawa A., Nagaoka T., Yokota H., Yoshida A. Radial peripapillary capillary network visualized using wide-field montage optical coherence tomography angiography. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2016; 57(9):504–514.
28. European Glaucoma Guidelines and Terminology. Moscow: Ophthalmology; 2019; 197 p. (In Russ.)
29. Kim M., Kim S. Association between choroidal thickness and ocular perfusion pressure in young, healthy subjects: enhanced depth imaging optical coherence tomography study. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2012; 53(12):7710–7717.
30. Kuryseva N.I., Ardzhevishvili T.D., Fomin A.V. The choroid and glaucoma. *National J glaucoma.* 2014; 13(1):60–67. (In Russ.)

Поступила / Received / 19.04.2021