Морфофункциональные изменения сетчатки в условиях послеоперационной гипотонии

В.П. Еричев, А.А. Антонов, А.А. Витков, Е.А. Рагозина, А.В. Волжанин

ФГБНУ «НИИГБ», Москва, Россия

РЕЗЮМЕ

Цель исследования: изучить изменения микрососудистого русла сетчатки в условиях гипотонической макулопатии (ГМ) после непроникающей глубокой склерэктомии (НГСЭ).

Материал и методы: в исследование было включено 35 пациентов (35 глаз) с декомпенсированной глаукомой II и III стадии, у которых после НГСЭ внутриглазное давление (ВГД) составляло менее 10 мм рт. ст. Помимо стандартного обследования пациентам до операции и на 1-й день после операции выполняли оптическую когерентную томографию с ангиографией (ОКТ-А). Оценивали плотность сосудов (vessel density, VD) на уровне радиальной перипапиллярной сети (РПС) на сканах диска зрительного нерва (зона сканирования 4×4 мм) и на уровне поверхностного сосудистого сплетения (ПСС) на снимках макулярной области (зона сканирования 6×6 мм), площадь фовеолярной аваскулярной зоны (ФАЗ) на сканах 3×3 мм.

Результаты исследования: у всех пациентов был достигнут гипотензивный эффект, ВГД было снижено в среднем на $17,7 \pm 8,3$ мм рт. ст. У 15 больных наблюдалось ухудшение исходных показателей ОКТ-А (1-я группа), у 17 больных показатели ОКТ-А улучшились (2-я группа), у 3 больных не изменились. В 1-й группе VD изменилась в парафовеолярной зоне сверху на -1,5% [-2,45%, -0,85%], внизу — на -1,3% [-1,75%, -0,85%], в перипапиллярной зоне сверху — на -0,6% [-2,0%, -0,1%], внизу — на -1,1% [-2,4%, 0%]. Во 2-й группе VD изменилась в парафовеолярной зоне сверху на 0,85% [0%, 1,75%], внизу — на 1,2% [0,68%, 2,6%]; в перипапиллярной зоне сверху — на 1,2% [0,18%, 2,0%], внизу — на 0,95% [0,05%, 1,75%]. ВГД в 2 группах не различалось, показатели ОКТ-А с ВГД не коррелировали. Площадь ФАЗ после операции не изменилась.

Заключение: послеоперационная гипотония может оказывать как положительное, так и отрицательное влияние на микрососудистое русло сетчатки. Результаты ОКТ-А после НГСЭ не коррелируют с ВГД. Необходимы дальнейшие исследования для выявления прогностических факторов развития ГМ и оценки ее долгосрочного влияния на сосуды сетчатки.

Ключевые слова: глаукома, непроникающая глубокая склерэктомия, гипотоническая макулопатия, ОКТ-ангиография.

Для цитирования: Еричев В.П., Антонов А.А., Витков А.А. и др. Морфофункциональные изменения сетчатки в условиях послеоперационной гипотонии. Клиническая офтальмология. 2021;21(4):187–193. DOI: 10.32364/2311-7729-2021-21-4-187-193.

Morphological and functional retinal changes in postoperative hypotony

V.P. Erichev, A.A. Antonov, A.A. Vitkov, E.A. Ragozina, A.V. Volzhanin

Scientific Research Institute of Eye Diseases, Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Aim: to analyze the retinal microvascular network changes in hypotony maculopathy after non-penetrating deep sclerectomy (NPDS).

Patients and Methods: the study enrolled 35 patients (35 eyes) with uncontrolled glaucoma stages II and III in whom the intraocular pressure (IOP) level was less than 10 mm Hg after NPDS. In addition to a standard eye exam, all patients underwent optical coherence tomography angiography (OCTA) before and one day after surgery. In addition, the radial peripapillary capillary (RPC) network vessel density (VD) on 4×4-mm optic nerve scans, superficial vascular plexus (SVP) VD on 6×6-mm macular scans, and foveal avascular zone (FAZ) area on 3×3-mm scans were evaluated.

Results: IOP-lowering effect was reported in all patients, i.e., IOP level reduced by, on average, 17.7 ± 8.3 mm Hg. In 15 patients, baseline OCTA parameters worsened (group 1). In 17 patients, OCTA parameters improved (group 2). In 3 patients, OCTA parameters remained unchanged (group 3). In group 1, parafoveal VD reduced by 1.5% [2.45%; 0.85%] in the superior sector and 1.3% [1.75%; 0.85%] in the inferior sector. Peripapillary VD reduced by 0.6% [2.0%; 0.1%] in the superior sector and 1.1% [2.4%; 0.0%] in the inferior sector. In group 2, parafoveal VD improved by 0.85% [0.0%; 1.75%] in the superior sector and 1.2% [0.68%; 2.6%] in the inferior sector. Peripapillary VD improved by 1.2% [0.18%; 2.0%] in the superior sector and 0.95% [0.05%; 1.75%] in the inferior sector. IOP levels were similar. No correlations between OCTA parameters and IOP levels were revealed. Postoperatively, the FAZ area remained unchanged.

Conclusions: postoperative hypotonia has a positive and negative impact on the retinal microvascular network. OCTA findings after NPDS demonstrate no correlations with IOP levels. Further studies are needed to identify prognostic factors of hypotony maculopathy and assess its long-term effects on retinal vessels.

Keywords: glaucoma, non-penetrating deep sclerectomy, hypotony maculopathy, OCTA.

For citation: Erichev V.P., Antonov A.A., Vitkov A.A. et al. Morphological and functional retinal changes in postoperative hypotony. Russian Journal of Clinical Ophthalmology. 2021;21(4):187–193 (in Russ.). DOI: 10.32364/2311-7729-2021-21-4-187-193.

ВВЕДЕНИЕ

Глаукома является одной из основных причин слепоты и необратимой слепоты в мире. По данным на 2020 г., среди лиц старше 50 лет из-за глаукомы ослепло около 3,6 млн человек, а снижение зрения до 0,33 или ниже было зафиксировано у 4,1 млн человек [1]. К 2040 г. общее число больных глаукомой может достичь 111,8 млн человек [2].

В силу особенностей возникновения и развития глаукому относят к хроническим неизлечимым заболеваниям, однако ее прогрессирование возможно остановить путем снижения внутриглазного давления (ВГД) до целевых показателей. Хотя медикаментозное и лазерное лечение в большинстве случаев позволяет достичь безопасного уровня ВГД, хирургическое вмешательство остается наиболее надежным способом достижения продолжительной компенсации офтальмотонуса.

Гипотоническая макулопатия (ГМ) ассоциирована с крайне низким уровнем ВГД, которое развивается при определенных состояниях: травме, дисфункции цилиарного тела, отслойке сетчатки и в ряде других случаев, а также при избыточной фильтрации внутриглазной жидкости после антиглаукомных вмешательств. Критерии гипотонии неоднородны: так называемая «статистическая» гипотония описывается как значение ВГД, которое ниже нормального на 2 мм рт. ст. или 2 стандартных отклонения — 10,1 мм рт. ст. [3] и 6,5 мм рт. ст. [4] соответственно. Описана также хроническая гипотония, определяемая как уровень ВГД менее 6 мм рт. ст. на протяжении не менее 3 мес. [5]. Однако для клинической практики более значимо наличие структурных изменений, которые влияют на зрительные функции. По данным разных авторов, у пациентов с послеоперационной гипотонией ГМ развивается в 10–33% случаев [6–8], при этом применение антиметаболитов в хирургии глаукомы увеличивает частоту развития этой патологии [6, 9–11].

На сегодняшний день имеется небольшое количество исследований, посвященных изучению состояния макулярной области в условиях избыточной офтальмогипотензии, индуцированной хирургическим вмешательством, с помощью оптической когерентной томографии (ОКТ) [12, 13]. К. Azuma et al. [14] выявили ГМ в 17 (15,2%) глазах из 112 после успешной трабекулэктомии с шунтом Ex-PRESS со снижением ВГД более чем на 30% либо ниже 14 мм рт. ст. В большинстве случаев ГМ, наблюдаемая на ОКТ, не визуализировалась на фундус-фотографиях, при этом признаки ГМ на ОКТ могли определяться уже при снижении ВГД ниже 10 мм рт. ст. Большинство же более ранних публикаций посвящено описанию картины ГМ на ОКТ на малых выборках (до 14 глаз) [15–18]. Авторы вышеупомянутых работ указывают на высокую чувствительность и большую клиническую значимость ОКТ для раннего выявления ГМ. Однако ни в одной из имеющихся работ не использованы возможности ОКТ-ангиографии (ОКТ-А) для оценки изменений сосудистого русла сетчатки при ГМ. С учетом того, что классическая клиническая картина ГМ (интра- или субретинальная жидкость при наличии хориоретинальных складок и утолщении макулярной области) предполагает участие сосудистого русла сетчатки, обследование таких пациентов с помощью ОКТ-А позволяет расширить знания о патогенезе ГМ.

Цель исследования: изучить изменения микрососудистого русла сетчатки в условиях ГМ после НГСЭ.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В отделе глаукомы ФГБНУ «НИИГБ» нами проведено нерандомизированное проспективное обследование 35 пациентов (35 глаз) с диагнозом «первичная открытоугольная глаукома» (ПОУГ) II и III стадии, которым по медицинским показаниям было проведено хирургическое лечение. Клинические данные пациентов представлены в таблице 1.

В исследование включали пациентов с ВГД менее 10 мм рт. ст. на следующий день после антиглаукомной операции, соответствовавших основным критериям включения: наличие развитой и далекозашедшей стадии ПОУГ, достаточная прозрачность оптических сред глаза, позволяющая получить качество ОКТ-сигнала не менее 7 баллов из 10, отсутствие в анамнезе других глазных заболеваний и интраокулярной хирургии (не считая неосложненной фактоэмюльсификации), нормальный уровень артериального давления на момент проведения исследования.

Показанием к операции было наличие прогрессирующей оптиконейропатии на фоне субкомпенсированного и декомпенсированного ВГД на максимально переносимом гипотензивном режиме. Во всех случаях была выполнена непроникающая глубокая склерэктомия (НГСЭ) по стандартной методике.

Всем пациентам до включения в исследование было проведено комплексное офтальмологическое обследование. Остроту зрения оценивали с помощью визометрии стандартным методом с использованием проектора оптопиков и набора корригирующих стекол. Уровень ВГД определяли с помощью бесконтактного тонометра (Reichert 7, США).

Наряду с проведением стандартного ОКТ-исследования перипапиллярной и макулярной областей (оценка структурных параметров — толщина комплекса ганглиозных клеток сетчатки в макуле и слоя нервных волокон сетчатки в перипапиллярной области) также проводили ОКТ в режиме ангиографии (Optopol, OPTOPOL Technology Sp., Польша). При этом оценивали плотность сосудов (vessel density, VD) на уровне радиальной перипапиллярной сети (РПС) на сканах диска зрительного нерва (зона сканирования 4×4 мм) и на уровне поверхностного сосудистого сплетения (ПСС) на снимках макулярной об-

Таблица 1. Клинические данные пациентов

Table 1. Clinical characteristics of patients

Показатель / Parameter	Значение / Value
Возраст, лет / Age, years	63,2±9,3
Женщины / Women	19 (54,28%)
Мужчины / Men	16 (45,72%)
II стадия ПОУГ / Moderate POAG	14 (40%)
III стадия ПОУГ / Advanced POAG	21 (60%)
Максимально скорректированная острота зрения Best corrected visual acuity	0,8±0,2
Исходное ВГД, мм рт. ст. / Baseline IOP, mmHg	27,38±4,8

ласти (зона сканирования 6×6 мм). Также измеряли площадь фовеолярной аваскулярной зоны (ФАЗ) на сканах 3×3 мм. Исследование проводили до НГСЭ и на следующий день после операции.

Статистическая обработка выполнена в программном комплексе IBM SPSS. Проверка нормальности распределения проведена с помощью критерия Шапиро — Уилка и оценки асимметрии и эксцесса. Сравнение исследуемых критериев выполнено с помощью критерия ранговых знаков Вилкоксона. Корреляции показателей рассчитывали с помощью коэффициента Спирмана.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На момент послеоперационного осмотра в результате НГСЭ гипотензивный эффект был достигнут у всех пациентов. Ни у одного пациента не наблюдали интраоперационных и ранних послеоперационных осложнений. В среднем ВГД было снижено на $17,7 \pm 8,3$ мм рт. ст. Анализ полученных данных всех пациентов показал выраженную дисперсию исследуемых показателей микроциркуляции (табл. 2).

Сравнительная оценка послеоперационных изменений кровотока сетчатки позволила разделить пациентов на 2 группы. В 1-ю группу вошли 15 глаз (42,9%) с отрицательной динамикой показателей ОКТ-А, во 2-ю группу — 17 глаз (48,5%) с положительной динамикой. У 3 (8,6%) пациентов не было выявлено изменений исследуемых показателей.

Степень снижения ВГД была сопоставима в обеих группах ($-15,5$ мм рт. ст. и $-15,4$ мм рт. ст.). Не было выявлено статистически значимой корреляции между степенью снижения ВГД или его послеоперационными значениями с динамикой показателей ОКТ-А.

Наиболее выраженная отрицательная динамика у пациентов 1-й группы наблюдалась как в верхней, так и в нижней половине ПСС в парафовеолярной области (табл. 3), в слое РПС наблюдались меньшие изменения VD. Во 2-й группе отрицательная динамика в равной степени присутствовала в РПС и ПСС.

В обеих группах не было выявлено статистически значимого изменения площади ФАЗ после хирургического вмешательства (табл. 4).

Приводим клинические наблюдения.

КЛИНИЧЕСКОЕ НАБЛЮДЕНИЕ 1

Пациентка, 62 года, диагноз OD — ПОУГ II ст. Из анамнеза: в течение последних 6 мес. принимает аналог простагландинов и фиксированную комбинацию бета-блокатора и ингибитора карбоангидразы. Страдает ишемической болезнью сердца, гипертонической болезнью I ст. При осмотре: МКОЗ 1,0, роговично-компенсированное ВГД 31,7 мм рт. ст., передняя камера средней глубины, угол передней камеры (УПК) открыт, экзогенная пигментация, пигментная кайма радужки разрушена, псевдоэксфолиации, начальные помутнения хрусталика, диск зрительного нерва бледный, отношение экскавации к диску 0,7.

Пациентке выполнена НГСЭ, операция и ранний послеоперационный период — без осложнений, ВГД после операции — 7,4 мм рт. ст. На ОКТ-А после операции визуализируется уменьшение плотности сосудов перипапиллярного и парафовеолярного русла (рис. 1, 2).

Таблица 2. Исследуемые показатели

Table 2. Parameters studied

Показатель / Parameter	Среднее Mean	Мин Minimum	Макс Maximum
Возраст, лет / Age, years	63,2±9,3	55	82
Δ ВГД, мм рт. ст. / Δ IOP, mmHg	-17,7±8,3	-5,5	-35,4
Δ VD superior parafovea, %	-0,17±2,1	-5,1	5,2
Δ VD inferior parafovea, %	0,19±1,78	-3,5	4,6
Δ VD superior peripapillary, %	0,38±2,02	-2,8	4,7
Δ VD inferior peripapillary, %	-0,05±2,16	-5,5	4,5

Примечание. Здесь и в таблице 3: parafovea — парафовеа, peripapillary — перипапиллярная область.

Таблица 3. Показатели ОКТ-А у больных 1-й и 2-й групп (Me (Q1; Q3))

Table 3. OCTA parameters in groups 1 and 2 (Me (Q1; Q3))

Показатель Parameter	1-я группа Group 1	2-я группа Group 2
Δ ВГД, мм рт. ст. / Δ IOP, mmHg	-15,5 (-18,9; -12,4)	-15,4 (-25,4; -12,9)
Δ VD superior parafovea, %	-1,5 (-2,45; -0,85)	0,85 (0,00; 1,75)
Δ VD inferior parafovea, %	-1,3 (-1,75; -0,85)	1,2 (0,68; 2,6)
Δ VD superior peripapillary, %	-0,6 (-2,0; -0,1)	1,2 (0,18; 2,0)
Δ VD inferior peripapillary, %	-1,1 (2,4; 0,0)	0,95 (0,05; 1,75)

Таблица 4. Площадь ФАЗ до и после операции

Table 4. FAZ area before and after surgery

Группа Group	Площадь ФАЗ, мм² / FAZ area, mm²		p
	До операции Preoperatively	После операции Postoperatively	
1-я	0,336±0,145	0,349±0,0875	>0,05
2-я	0,304±0,145	0,352±0,100	>0,05

КЛИНИЧЕСКОЕ НАБЛЮДЕНИЕ 2

Пациентка, 67 лет, диагноз OS — ПОУГ III ст. Из анамнеза: в течение последних 4 мес. принимает аналог простагландинов и фиксированную комбинацию бета-блокатора и ингибитора карбоангидразы. Страдает ишемической болезнью сердца, гипертонической болезнью II ст., бронхиальной астмой I ст. При осмотре: МКОЗ 0,8, роговично-компенсированное ВГД 31,2 мм рт. ст., передняя камера средней глубины, УПК открыт, экзогенная пигментация, пигментная кайма радужки частично разрушена, начальные помутнения хрусталика, диск зрительного нерва бледный, отношение экскавации к диску 0,8 с отсутствием нейроретинального пояса в височном сегменте.

Пациентке выполнена НГСЭ, операция и ранний послеоперационный период — без осложнений, ВГД после операции — 8,5 мм рт. ст. По данным ОКТ-А визуализируется увеличение плотности сосудов перипапиллярного и парафовеолярного русла после операции (рис. 3, 4).

Рис. 1. Протокол исследования сосудов парафовеолярного русла правого глаза пациентки 62 лет до (A) и после (B) операции.

Здесь и на рис. 2–4 в сравнительной таблице указана разница (Diff.) между двумя исследованиями (Exam 1, Exam 2)

Fig. 1. Parafoveal vessel density of the right eye of a 62-year-old patient before (A) and after (B) surgery.

Here and on the figure 2–4 a comparative table illustrates differences (Diff.) between examinations 1 and 2 (Exam 1, Exam 2)

ОБСУЖДЕНИЕ

Влияние ВГД на кровообращение в сетчатке в настоящее время изучено недостаточно, а имеющиеся данные противоречивы. Ранее подобные исследования проводили с изучением ретробульбарного кровотока [19]. С появлением ОКТ-А стало возможным неинвазивное (в отличие от флюоресцентной ангиографии) изучение микроциркуляторного русла сетчатки, которое, как отмечено ранее, обладает высокой диагностической значимостью, особенно у пациентов с ПОУГ.

В ряде исследований [20–22] не была выявлена зависимость между уровнем ВГД и параметрами ОКТ-А. Дру-

Рис. 2. Протокол исследования сосудов перипапиллярного русла правого глаза пациентки 62 лет до (A) и после (B) операции

Fig. 2. Peripapillary vessel density of the right eye of a 62-year-old patient before (A) and after (B) surgery

гие авторы [23, 24] при изучении влияния снижения ВГД (вследствие медикаментозной терапии) на параметры ОКТ-А отмечали положительную динамику показателей гемоперфузии. Так, E. Chihara et al. [25] сравнивали использование ингибиторов Rho-киназы и агониста α_2 -адренорецепторов бримонидина, описывая более выраженное улучшение параметров ОКТ-А при применении первого в сравнении с бримонидином. Однако недостатком данных работ является невозможность исключения прямого действия препаратов на кровоток глаза.

Число исследований влияния послеоперационной гипотонии на кровоток глаза ограничено: в зарубежной литературе представлены единичные данные исследований по этой тематике, при этом во всех работах выполняемым хирургическим вмешательством была трабекулэктомия.

Рис. 3. Протокол исследования сосудов парафовеолярного русла левого глаза пациентки 67 лет до (А) и после (В) операции

Fig. 3. Parafoveal vessel density of the left eye of a 67-year-old patient before (A) and after (B) surgery

Рис. 4. Протокол исследования сосудов перипапиллярного русла левого глаза пациентки 67 лет до (А) и после (В) операции

Fig. 4. Peripapillary vessel density of the left eye of a 67-year-old patient before (A) and after (B) surgery

Так, С. Lommatzsch et al. [26] не обнаружили значимой разницы параметра VD до трабекулэктомии и через 6 мес. Отсутствие выраженных изменений параметров ОКТ-А также было отмечено в исследовании Р. Zéboulon et al. [27]. Единственное статистически значимое изменение было зафиксировано в нижневисочной области макулярной зоны, в которой после операции наблюдали снижение параметра VD. Как известно, при развитии глаукомы этот сегмент наиболее уязвим. T.W. Ch'ng et al. [28] провели исследование микроциркуляции сетчатки с помощью ОКТ-А с самым большим сроком наблюдения, составившим 12 мес. В макулярной зоне через 1 мес. после операции было выявлено снижение плотности сосудов. При дальнейшем наблюдении к 6-му месяцу показатель возвращался к нормальным значениям, но к 12-му месяцу параметр VD уменьшался вновь. Авторы предполагают наличие нарушений механизма ауторегуляции кровотока у пациентов

с ПОУГ. В исследовании J.W. Shin et al. [29] на 31 пациенте с ПОУГ изучили VD до и после трабекулэктомии одновременно с изменениями глубины решетчатой пластинки (РП). Улучшение микроциркуляции крови в перипапиллярной сетчатке наблюдалась у 19 (61,3%) пациентов, при этом была выявлена достоверная корреляция увеличения плотности сосудов с максимальным уменьшением глубины расположения РП (отношение шансов 1,062 при $p=0,026$). В связи с этим авторы делают предположение о большем влиянии на кровоток перипапиллярной области биомеханических параметров, чем уровня снижения ВГД. Подобные выводы о значимости биомеханических изменений были сделаны в исследовании J.A. Kim et al. [30], однако авторы не обнаружили послеоперационного изменения ангиографических показателей в преламинарной ткани, перипапиллярной

сетчатке и хориоиде. Показатель VD значимо достоверно увеличился (с 10,21% до 11,88%; $p=0,006$) только в зоне РП, причем отмечалась положительная корреляция со степенью уменьшения индекса кривизны РП.

Т.Н. Юрьева и соавт. [31] оценивали хориоретинальный кровоток после НГСЭ. Как и в нашем исследовании, авторы отмечали как положительную, так и отрицательную динамику параметра VD. При этом отрицательная динамика отмечена в глазах с выраженной послеоперационной гипотонией (2,8–4,3 мм рт. ст.), в остальных случаях динамика была положительная. В нашем исследовании корреляции с уровнем ВГД обнаружено не было. Различие результатов в вышеуказанных исследованиях можно объяснить небольшой величиной выборки, различным средним уровнем ВГД до операции, а соответственно, и различной степенью его снижения в результате хирургического вмешательства; использованием разных томографов, а также отсутствием учета эффекта возможного влияния других факторов (например, антиглаукомных препаратов).

Область сетчатки в пределах макулы, в которой отсутствуют капилляры, называют ФАЗ. Именно эта область ответственна за центральную остроту зрения [32]. Площадь ФАЗ у здоровых людей молодого возраста составляет в среднем $0,32 \pm 0,11$ мм² у женщин и $0,23 \pm 0,09$ мм² у мужчин (при измерении площади ФАЗ на уровне ПСС) [33]. Данный параметр зависит от пола, возраста, переднезадней оси глаза и толщины макулярной области [34, 35]. У пациентов с глаукомой площадь ФАЗ по сравнению с таковой у здоровых лиц увеличена [36]. Было показано, что площадь ФАЗ у больных глаукомой больше в глазах с центральным дефектом полей зрения [37]. В нашем исследовании площадь ФАЗ у большинства пациентов до операции находилась в пределах нормальных значений. В отличие от описанной выше работы T.W. Ch'ng et al. [28], в нашем исследовании не происходило статистически значимого изменения площади ФАЗ после операции. Однако при этом стоит учитывать разный объем хирургического вмешательства в сравниваемых исследованиях.

Нашему исследованию свойственны некоторые ограничения. Малое число пациентов, включенных в исследование, объясняется сложностью выполнения исследования ОКТ-А у пациентов с ПОУГ (проведение исследования без расширения зрачка, сложность неподвижной фиксации взора у пациентов с выраженными изменениями полей зрения). В исследуемую группу мы включали пациентов с компенсированным уровнем артериального давления, но не оценивали наличие и объемы применяемых системных препаратов, которые могли исказить результаты исследования, а также наличие сопутствующих заболеваний, таких как сахарный диабет. Также сложно оценить потенциальное влияние применения антиглаукомных препаратов на микроциркуляцию глаза. Вследствие этических и медицинских причин невозможно отменить гипотензивный режим для исключения влияния данного фактора. Факторы, непосредственно связанные с хирургическим вмешательством (нанесение разрезов на склеру, воспалительная реакция, применение цитостатиков и послеоперационных противовоспалительных лекарственных средств), вероятнее всего, также в некоторой мере связаны с изменением микроциркуляции сетчатки. Наконец, следует учитывать ограничения, связанные непосредственно с ОКТ-А и техническими возможностями прибора. На сегодняшний день рассчитываемые прибором количественные показатели (VD, ФАЗ и др.) остаются очень

изменчивыми. Плавающие помутнения в стекловидном теле, анатомические послеоперационные изменения (репозиция перипапиллярной склеры [38], изменение экскавации диска зрительного нерва [39], изменение структуры сетчатки в условиях гипотонии) не учитываются современной версией томографа при сравнении в режиме follow-up. Кроме того, согласно данным Н.В. Lim et al. [40], для качественного сравнения двух снимков сила сигнала должна быть абсолютно идентичной и составлять как минимум 9 баллов из 10 согласно встроенной в прибор системе оценки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье представлены наши первые результаты в рамках исследования изменений регионарного кровотока после НГСЭ у пациентов с диагнозом ПОУГ методом ОКТ-А. Выявлено снижение показателей ОКТ-А в 42,9% случаев и положительная динамика в 48,5%. Результаты ОКТ-А после НГСЭ не коррелировали с уровнем ВГД. Наиболее выраженная отрицательная динамика плотности сосудов наблюдалась как в верхней, так и в нижней половине в парафовеолярной области, в слое РПС наблюдались меньшие изменения VD. Положительная динамика в равной степени присутствовала в РПС и ПСС. Поскольку снижение ВГД в результате антиглаукомной операции может оказывать как положительное, так и отрицательное влияние на микроциркуляторное русло сетчатки, не зависящее от уровня ВГД, получаемые данные позволяют выбрать адекватную стратегию пред- и послеоперационного ведения индивидуально для каждого пациента. Актуальным представляется дальнейшее исследование возможных прогностических факторов изменений регионарного кровотока, а также их непосредственное влияние на течение глаукомы.

Литература/References

1. GBD 2019 Blindness and Vision Impairment Collaborators. Causes of blindness and vision impairment in 2020 and trends over 30 years, and prevalence of avoidable blindness in relation to VISION 2020: the Right to Sight: an analysis for the Global Burden of Disease Study. *Lancet Glob Health*. 2021;9(2):e144–e160. DOI: 10.1016/S2214-109X(20)30489-7.
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(11):2081–2090. DOI: 10.1016/j.ophtha.2014.05.013.
3. Schubert H.D. Postsurgical hypotony: relationship to fistulization, inflammation, chorioretinal lesions, and the vitreous. *Surv Ophthalmol*. 1996;41(2):97–125. DOI: 10.1016/S0039-6257(96)80001-4.
4. Pederson J.E. Ocular hypotony. *Trans Ophthalmol Soc U K*. 1986;105(2):220–226.
5. Nuyts R.M., Greve E.L., Geijssen H.C., Langerhorst C.T. Treatment of hypotony maculopathy after trabeculectomy with mitomycin C. *Am J Ophthalmol*. 1994;118(3):322–331. DOI: 10.1016/S0002-9394(14)72956-3.
6. Fannin L.A., Schiffman J.C., Budenz D.L. Risk factors for hypotony maculopathy. *Ophthalmology*. 2003;110(6):1185–1191. DOI: 10.1016/S0161-6420(03)00227-6.
7. Tseng V.L., Kim C.H., Romero P.T. et al. Risk Factors and Long-Term Outcomes in Patients with Low Intraocular Pressure after Trabeculectomy. *Ophthalmology*. 2017;124(10):1457–1465. DOI: 10.1016/j.ophtha.2017.05.014.
8. Saeedi O.J., Jefferys J.L., Solus J.F. et al. Risk factors for adverse consequences of low intraocular pressure after trabeculectomy. *J Glaucoma*. 2014;23(1):e60–68. DOI: 10.1097/IJG.0000000000000008.
9. Suner I.J., Greenfield D.S., Miller M.P. et al. Hypotony maculopathy after filtering surgery with mitomycin C. Incidence and treatment. *Ophthalmology*. 1997;104(2):207–214; discussion 214–205. DOI: 10.1016/S0161-6420(97)30332-7.
10. Costa V.P., Wilson R.P., Moster M.R. et al. Hypotony maculopathy following the use of topical mitomycin C in glaucoma filtration surgery. *Ophthalmic Surg*. 1993;24(6):389–394.
11. Rasheed el-S. Initial trabeculectomy with intraoperative mitomycin-C application in primary glaucomas. *Ophthalmic Surg Lasers*. 1999;30(5):360–366.
12. Dellaporta A. Fundus changes in postoperative hypotony. *Am J Ophthalmol*. 1955;40(6):781–785. DOI: 10.1016/0002-9394(55)91105-3.
13. Еричев В.П., Петров С.Ю., Орехова Н.А., Эльмурзаева Л.Х. Гипотоническая макулопатия после глаукомной хирургии: механизмы развития, методы профилактики и терапии. *РМЖ. Клиническая офтальмология*. 2020;20(1):26–31. DOI: 10.32364/2311-7729-2020-1-26-31.

- [Erichiev V.P., Petrov S.Yu., Orekhova N.A., El'murzaeva L.Kh. Hypotony maculopathy after glaucoma surgery: pathogenic mechanisms, diagnostic tools, and treatment modalities. *RMJ Clinical Ophthalmology*. 2020;20(1):26–31 (in Russ.). DOI: 10.32364/2311-7729-2020-20-1-26-31.
14. Azuma K., Saito H., Takao M., Araie M. Frequency of hypotonic maculopathy observed by spectral domain optical coherence tomography in post glaucoma filtration surgery eyes. *Am J Ophthalmol Case Rep*. 2020;19:100786. DOI: 10.1016/j.ajoc.2020.100786.
15. Budenz D.L., Schwartz K., Gedde S.J. Occult hypotony maculopathy diagnosed with optical coherence tomography. *Arch Ophthalmol*. 2005;123(1):113–114. DOI: 10.1001/archophth.123.1.113.
16. Klink T., Lieb W.E., Göbel W. Early and late findings with optical coherence tomography (OCT) in patients with postoperative hypotonia. *Ophthalmologie*. 2000;97(5):353–358. DOI: 10.1007/s003470050536.
17. Lima V.C., Prata T.S., Castro D.P. et al. Macular changes detected by Fourier-domain optical coherence tomography in patients with hypotony without clinical maculopathy. *Acta Ophthalmol*. 2011;89(3):e274–277. DOI: 10.1111/j.1755-3768.2009.01719.x.
18. Goodkin M.L., Grewal D.S., Greenfield D.S. Three-dimensional high-speed optical coherence tomography for diagnosis of hypotony maculopathy after glaucoma filtration surgery. *J Glaucoma*. 2010;19(6):349–355. DOI: 10.1097/IJG.0b013e3181bd59c.
19. Trible J.R., Sergott R.C., Spaeth G.L. et al. Trabeculectomy is associated with retrobulbar hemodynamic changes. A color Doppler analysis. *Ophthalmology*. 1994;101(2):340–351. DOI: 10.1016/s0161-6420(13)31332-3.
20. 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. DOI: 10.1007/s00417-015-3095-y.
21. Rao H.L., Pradhan Z.S., Weinreb R.N. et al. Regional Comparisons of Optical Coherence Tomography Angiography Vessel Density in Primary Open-Angle Glaucoma. *Am J Ophthalmol*. 2016;171:75–83. DOI: 10.1016/j.ajo.2016.08.030.
22. Patel N., McAllister F., Pardon L., Harwerth R. The effects of graded intraocular pressure challenge on the optic nerve head. *Exp Eye Res*. 2018;169:79–90. DOI: 10.1016/j.exer.2018.01.02.
23. Holló G. Influence of large intraocular pressure reduction on peripapillary OCT vessel density in ocular hypertensive and glaucoma eyes. *J Glaucoma*. 2017;26(1):e7–e10. DOI: 10.1097/IJG.0000000000000527.
24. Юрьева Т.Н., Жукова С.И. ОКТ-ангиография в комплексной оценке эффективности гипотензивной терапии у больных с первичной открытоугольной глаукомой. *Российский офтальмологический журнал*. 2019;12(3):43–49. DOI: 10.21516/2072-0076-2019-12-3-43-49.
- [Yurieva T.N., Zhukova S.I. OCT angiography in a comprehensive assessment of hypotensive therapy effectiveness in patients with primary open-angle glaucoma. *Russian Ophthalmological Journal*. 2019;12(3):43–49 (in Russ.). DOI: 10.21516/2072-0076-2019-12-3-43-49.
25. Chihara E., Dimitrova G., Chihara T. Increase in the OCT angiograph- ic peripapillary vessel density by ROCK inhibitor ripasudil instillation: a comparison with brimonidine. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2018;256(7):1257–1264. DOI: 10.1007/s00417-018-3945-5.
26. Lommatzsch C., Rothaus K., Koch J.M. et al. Retinal perfusion 6 months after trabeculectomy as measured by optical coherence tomography angiography. *Int Ophthalmol*. 2019;39(11):2583–2594. DOI: 10.1007/s10792-019-01107-7.
27. Zéboulon P., Lévêque P.M., Brasnu E. et al. Effect of surgical intraocular pressure lowering on peripapillary and macular vessel density in glaucoma patients: an optical coherence tomography angiography study. *J Glaucoma*. 2017;26(5):466–472. DOI: 10.1097/IJG.0000000000000652.
28. Ch'ng T.W., Gillmann K., Hoskens K. et al. Effect of surgical intraocular pressure lowering on retinal structures — nerve fibre layer, foveal avascular zone, peripapillary and macular vessel density: 1 year results. *Eye (Lond)*. 2020;34(3):562–571. DOI: 10.1038/s41433-019-0560-6.
29. Shin J.W., Sung K.R., Uhm K.B. et al. Peripapillary microvascular improvement and lamina cribrosa depth reduction after trabeculectomy in primary open-angle glaucoma. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2017;58(13):5993–5999. DOI: 10.1167/iovs.17-22787.
30. Kim J.A., Kim T.W., Lee E.J. et al. Microvascular changes in peripapillary and optic nerve head tissues after trabeculectomy in primary open-angle glaucoma. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2018;59(11):4614–4621. DOI: 10.1167/iovs.18-25038.
31. Юрьева Т.Н., Жукова С.И., Помкина И.В. Хориодальный кровоток у больных с глаукомой в условиях офтальмогипертензии и компенсированного внутриглазного давления. *Сибирский научный медицинский журнал*. 2020;40(4):91–97. DOI: 10.15372/SSMJ20200413.
- [Yurieva T.N., Zhukova S.I., Pomkina I.V. Choroidal blood flow in glaucoma patients in conditions of ophthalmic hypertension and compensated intraocular pressure. *Siberian Scientific Medical Journal*. 2020;40(4):91–97 (in Russ.). DOI: 10.15372/SSMJ20200413.
32. Jonas J.B., Schneider U., Naumann G.O. Count and density of human retinal photoreceptors. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 1992;230(6):505–510. DOI: 10.1007/BF00181769.
33. Ghassemi F., Mirshahi R., Bazvand F. et al. The quantitative measurements of foveal avascular zone using optical coherence tomography angiography in normal volunteers. *J Curr Ophthalmol*. 2017;29(4):293–299. DOI: 10.1016/j.joco.2017.06.004.
34. Tan P.E., Balaratnasingam C., Xu J. et al. Quantitative Comparison of Retinal Capillary Images Derived By Speckle Variance Optical Coherence Tomography With Histology. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2015;56(6):3989–3996. DOI: 10.1167/iovs.14-15879.
35. Noscas F., Sellam A., Glacet-Bernard A. et al. Normative Data for Vascular Density in Superficial and Deep Capillary Plexuses of Healthy Adults Assessed by Optical Coherence Tomography Angiography. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2016;57(9):OCT211–223. DOI: 10.1167/iovs.15-18793.
36. Zivkovic M., Dayanir V., Kocaturk T. et al. Foveal Avascular Zone in Normal Tension Glaucoma Measured by Optical Coherence Tomography Angiography. *Biomed Res Int*. 2017;2017:3079141. DOI: 10.1155/2017/3079141.
37. Kwon J., Choi J., Shin J.W. et al. Alterations of the Foveal Avascular Zone Measured by Optical Coherence Tomography Angiography in Glaucoma Patients With Central Visual Field Defects. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2017;58(3):1637–1645. DOI: 10.1167/iovs.16-21079.
38. Heickell A.G., Bellezza A.J., Thompson H.W., Burgoyne C.F. Optic disc surface compliance testing using confocal scanning laser tomography in the normal monkey eye. *J Glaucoma*. 2001;10(5):369–382. DOI: 10.1097/00061198-200110000-00002.
39. Lesk M.R., Spaeth G.L., Azuara-Blanco A. et al. Reversal of optic disc cupping after glaucoma surgery analyzed with a scanning laser tomograph. *Ophthalmology*. 1999;106(5):1013–1018. DOI: 10.1016/S0161-6420(99)00526-6.
40. Lim H.B., Kim Y.W., Kim J.M. et al. The Importance of Signal Strength in Quantitative Assessment of Retinal Vessel Density Using Optical Coherence Tomography Angiography. 2018;8:12897. DOI: 10.1038/s41598-018-31321-9.

Сведения об авторах:

Еричев Валерий Петрович — д.м.н., профессор, заведующий отделом глаукомы; ORCID iD 0000-0001-6842-7164.

Антонов Алексей Анатольевич — к.м.н., ведущий научный сотрудник отдела глаукомы; ORCID iD 0000-0002-5171-8261.

Витков Александр Александрович — младший научный сотрудник отдела глаукомы; ORCID iD 0000-0001-7735-9650.

Рагозина Екатерина Александровна — младший научный сотрудник отдела глаукомы; ORCID iD 0000-0002-6980-4563.

Волжанин Андрей Вячеславович — к.м.н., младший научный сотрудник отдела глаукомы; ORCID iD 0000-0002-1421-8882.

ФГБНУ «НИИГБ». 119021, Россия, г. Москва, ул. Россолимо, д. 11а, б.

Контактная информация: Витков Александр Александрович, e-mail: avitkov.niigb@gmail.com.

Прозрачность финансовой деятельности: никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

Конфликт интересов отсутствует.

Статья поступила 30.08.2021.

About the authors:

Valeriy P. Erichev — Dr. Sc. (Med.), Professor, Head of the Division of Glaucoma; ORCID iD 0000-0001-6842-7164.

Aleksey A. Antonov — C. Sc. (Med.), leading researcher of the Division of Glaucoma; ORCID iD 0000-0002-5171-8261.

Aleksandr A. Vitkov — junior researcher of the Division of Glaucoma; ORCID iD 0000-0001-7735-9650.

Ekaterina A. Ragozina — junior researcher of the Division of Glaucoma; ORCID iD 0000-0002-6980-4563.

Andrey A. Volzhanin — C. Sc. (Med.), junior researcher of the Division of Glaucoma; ORCID iD 0000-0002-1421-8882.

Scientific Research Institute of Eye Diseases, 11A, B, Rossolimo str., Moscow, 119021, Russian Federation

Contact information: Aleksandr A. Vitkov, e-mail: avitkov.niigb@gmail.com.

Financial Disclosure: no author has a financial or property interest in any material or method mentioned.

There is no conflict of interests.

Received 30.08.2021.