

DOI: <https://doi.org/10.25276/2410-1257-2021-1-26-31>

Оптическая когерентная томография и оптическая когерентная томография-ангиография в определении прогрессирования глаукомы

Н.И. Курышева, А.Д. Никитина

ФГБУ ГНЦ РФ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА, Москва

РЕФЕРАТ

Цель. Изучить роль оптической когерентной томографии и ОКТ-ангиографии (ОКТА) в определении прогрессирования первичной глаукомы.

Материал и методы. В проспективном наблюдении с 2015 по 2019 годы за 128 больными с начальной стадией первичной глаукомы (128 глаз) было выполнено исследование полей зрения не менее 6 раз: стандартная автоматизированная периметрия (САП) и спектральная ОКТ (СОКТ) у каждого больного, в течение последнего года наблюдения применялась также ОКТА. Для определения прогрессирования заболевания проводили анализ событий и тенденции на периметре Humphrey. Оценивали факт и скорость истончение слоя нервных волокон сетчатки (СНВС) и ее ганглиозного комплекса (ГКС). Если они имели тенденцию значительного ($p < 0,05$) истончения со временем, то глаз классифицировался как имеющий СОКТ-прогрессию. Учитывали также показатели роговично-компенсированного ВГД: минимальное (ВГД мин.) и пиковое (ВГД макс.).

Результаты. Прогрессирование глаукомы было выявлено в 79 глазах. Изолированное применение САП позволяло выявить прогрес-

сирование только в 2,3% случаев, СОКТ – в 37,5%, из них изолированная оценка ГКС – в 7,8%, а СНВС – в 5,5%. Сочетанная морфофункциональная оценка в динамике повышала возможность выявления прогрессии до 61,7%.

Прогрессирование было связано с исходной степенью глаукомного повреждения: для периметрического индекса PSD $p=0,025$, для объема фокальных потерь ГКС $p=0,024$, а также уровнем минимального ВГД ($p=0,04$). У всех больных с прогрессированием было отмечено снижение плотности капиллярной сети в перипапиллярной сетчатке и в парафовеа.

Заключение. СОКТ играет важную роль в выявлении прогрессирования глаукомы. Сочетанная морфофункциональная оценка в динамике позволяет выявить прогрессирование более чем у половины больных. Прогрессирование ассоциировано с исходной степенью глаукомного поражения и недостаточным снижением ВГД в процессе лечения, сопровождаемая во всех случаях ухудшением ретикулярной микроциркуляции.

Ключевые слова: первичная глаукома, прогрессирование глаукомы, оптическая когерентная томография, ОКТ-ангиография, ВГД. ■

Точка зрения. Восток – Запад. 2021;1:26–31.

ABSTRACT

Optical coherence tomography and optical coherence tomography-angiography in determining the progression of glaucoma

N.I. Kuryshcheva, A.D. Nikitina

Burnasyan Federal Medical Biophysical Center Of Federal Medical Biological Agency of Russia, Moscow

Purpose. To study the role of optical coherence tomography (OCT) and OCT angiography (OCTA) in the detection of the primary glaucoma progression.

Material and methods. The prospective study of 128 patients with primary glaucoma (128 eyes), conducted from 2015 to 2019, included at least 6 standard automated perimetry (SAP) and spectral-domain OCT (SD-OCT) examinations in each patient; OCTA was also used during the last year of observation. To determine the disease progression, the trend and event analysis using the Humphrey Field Analyzer was performed. The fact and rate of thinning of the retinal nerve fiber layer (RNFL) and its ganglion cell complex (GCC) were evaluated. If they had a trend of significant ($p < 0,05$) thinning, the eye was classified as having the SD-OCT progression. The values of

corneal-compensated IOP were also considered: minimal (IOPmin) and peak (IOPmax).

Results. Glaucoma progression was detected in 79 eyes. The isolated use of SAP allows detecting the progression only in 2.3% cases, SD-OCT – in 37.5%, among them the isolated assessment of GCC amounted to 7.8%, and RNFL – to 5.5%. The complex dynamic morphological and functional assessment increased the possibility of progression detection up to 61.7%.

Progression was related to the stage of glaucoma damage at the moment of diagnosis: for the perimetry index PSD $p=0,025$, for the focal loss volume of GCC $p=0,024$, as well as with the level of minimal IOP ($p=0,04$). All patients with progression have shown the vessel density decrease in the peripapillary retina and parafovea.

Conclusion. SD-OCT plays an important role in detecting the progression of glaucoma. The complex dynamic morphological and functional assessment allows detecting the progression in over half of patients. Progression is associated with the initial stage of glaucoma and

an insufficient IOP decrease during treatment, accompanied by retinal microcirculation deterioration.

Key words: primary, glaucoma progression, optical coherence tomography, OCT-angiography, IOP. ■

Point of View. East – West. 2021;1:26–31.

Раннее выявление прогрессирования глаукомы в определенной мере является гарантией более успешного ее лечения, поскольку позволяет своевременно изменить его тактику. На протяжении многих лет определение прогрессирования глаукомы осуществлялось методом стандартной автоматизированной периметрии (САП) [1]. Однако в начальную стадию заболевания изменения в полях зрения существенно отстают от структурных потерь, характеризуясь, кроме того, значительным процентом ложно-положительных результатов [2]. В этой связи в выявлении прогрессирования важную роль приобретает спектральная оптическая когерентная томография (СОКТ), которая несет важную информацию о прогрессирующей потере аксонов ганглиозных клеток сетчатки (ГКС). Истончение слоя нервных волокон (СНВС) перипапиллярной сетчатки рассматривают как предиктор потери зрительных функций [3]. Другой, не менее важной зоной для мониторинга глаукомы, является макула, во внутренних слоях которой находится максимальная концентрация ГКС [4]. СОКТ, однако, также не лишена ограничений, характеризуясь возможностью артефактов, наличия ложно-положительных ответов, а также зависимостью от рефракции глаза [5]. В этой связи в последние время в литературе активно обсуждается возможность применения в мониторинге глаукомы нового метода исследования – ОКТ-ангиографии (ОКТА) [6]. Следует понимать, что для каждой стадии глаукомы преимущества имеет тот или иной метод, поэтому поиск наиболее эффективного их сочетания является приоритетом современных исследований в диагностике глаукомы.

ЦЕЛЬ

Изучить роль оптической когерентной томографии и ОКТ-ангиографии в определении прогрессирования первичной глаукомы.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследование проведено в соответствии с этическими принципами, заложенными Хельсинкской декларацией и отраженными в правилах качественной клинической практики (GCP) и нормативных требованиях. Протокол исследования утвержден этическим комитетом ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России.

Набор пациентов для этого исследования осуществлялся с июня по ноябрь 2015 г. Из 500 больных были отобраны 128 больных с начальной стадией заболевания, которые соответствовали критериям включения и имели не менее 6 исследуемых полей зрения за период наблюдения. Остальные 372 были исключены либо по причине недостаточного количества тестов периметрии, либо при недостаточном качестве/количестве сканирования на ОКТ. 112 больных перенесли фактоэмульсификацию катаракты или антиглаукомные операции, что также было критерием исключения. Далее больные далее наблюдались по декабрь 2019 г.

Диагноз «глаукома» устанавливался на основе данных офтальмоскопии при выявлении глаукомной оптической нейропатии (ГОН), определяемой как сужение нейроретинального ободка с вертикальным ЭДЗН > 0,7 и/или с асимметрией вертикальной ЭДЗН > 0,2 и дефектов поля зрения, указывающих на

наличие глаукомы, или же на основе комбинации всех вышеупомянутых признаков. Результаты поля зрения SAP 24-2 принимали как выходящие за пределы нормы, если параметр «стандартное отклонение» (PSD) имел $P < 5\%$ или результат глаукомного гемиполярного теста детерминировался, как «вне нормальных пределов».

Критериями исключения являлись: сопутствующая офтальмопатология, недостаточно прозрачные оптические среды глаза, отсутствие устойчивой фиксации, медикаментозный миоз, сферозэквивалент $\pm 6,0$ дптр., астигматизм $\pm 2,0$ дптр, хирургические операции на органе зрения, включая антиглаукомные и фактоэмульсификацию катаракты, наличие хронических системных аутоиммунных заболеваний, сахарного диабета, болезни Паркинсона, Альцгеймера, деменции, хронических системных заболеваний, требующих прием системных глюкокортикоидов, а также другой сопутствующей офтальмопатологии.

Тонометрия на всех этапах проводилась в одно и то же время: с 10.00 до 12.00 методом тонометрии с помощью анализатора биомеханических свойств глаза (Ocular Response Analyzer, ORA, Reichert, USA). Определяли исходное внутриглазное давление (исх. ВГД), его наблюдения максимальное (макс. ВГД) и минимальное (мин. ВГД) за весь период наблюдения.

Всем больным на последнем году наблюдения выполняли ОКТ-ангиографию по методу, описанному ранее [7] на ОКТ-томографе с функцией ангиографии (Avanti, Optovue Inc., Fremont, CA, USA): AngioVue OCTA software revision 2016.1.0.26.

Определение скорости прогрессирования ГОН осуществлялось на основе программного обеспечения

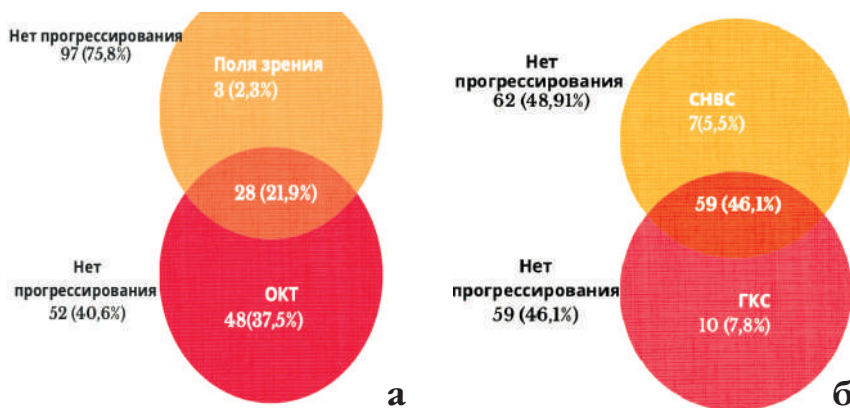


Рис. 1. Диаграмма Венна, демонстрирующая распределение количества случаев выявления прогрессирования ПЗУГ и ПОУГ по данным САП и ОКТ (а) и отдельно для ОКТ – по анализу СНВС и ГКС (б)

Guided Progression Analysis (GPA) анализатора поля зрения Humphrey II по индексу поля зрения (VFI) или периметрическому индексу MD, а также точечный анализ событий [8]. Уровни вероятности считались статистически значимыми, когда значение p было меньше 0,05 для наклона всей области 24-2. Для расчета средних показателей прогрессии отбирались только достоверные значения. САП проводили каждые 6 месяцев. Конечная точка, соответствующая заключению «прогрессирование», определялась, когда или анализ события, или анализ тенденции указывал на значительную степень прогрессии.

Слой нервных волокон сетчатки (СНВС) и слой ганглиозных клеток сетчатки (ГКС) анализировали на спектральном томографе FD-OCT (RTVue, Optovue, Inc., Fremont, CA, USA). При каждом посещении проводили три сканирования слоя ГКС и ДЗН. Для анализа отбирались только сканы ДЗН и сканы ГКС с индексом уровня сигнала (SSI) выше 45.

С помощью автоматизированного программного обеспечения Optovue получали карту толщины ГКС диаметром 6 мм с центром в области 0,75 мм темпорально от фoveальной области. Перипапиллярный СНВС измерялся с использованием протоколов ONH и 3D Disc. Программное обеспечение RTVue (версия 6.12) использовалось для обеспечения следующих измерений, полученных на основе изображений ОКТ: средней толщины слоя ГКС и средней толщины СНВС. Оба эти параметра исполь-

зовали для отслеживания структурных изменений, по которым судили о прогрессировании ГОН. При каждом посещении выявлялась серия параметров, начиная от исходной и заканчивая текущим посещением. Прогрессирование отмечалось тогда, когда наблюдался значительный ($p < 0.05$) отрицательный наклон графика толщины СНВС или ГКС (тенденция к истончению). В дальнейшем анализе учитывали данные о выявлении прогрессирования отдельно по СНВС, по ГКС, а также – обоими методами СОКТ, что продемонстрировано на рис. 1.

Статистическая обработка данных

Для сравнения двух независимых групп по одному признаку использовался обобщенный критерий ранговых сумм Уилкоксона–Манна–Уитни и критерий хи-квадрат Пирсона. Двусторонний критерий суммы рангов Вилкоксона (критерий Уилкоксона–Манна–Уитни) использовался для сравнения глаз с прогрессированием с глазами без прогрессирования. Данные представлены в виде $mean \pm SD$. Показатели со значением $P\text{-value} < 0,05$ считались статистически значимыми. Статистический анализ проводили с помощью статистического пакета SPSS версии 16 for Windows.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Клиническая характеристика больных приведена в таблице 1.

Изолированное применение САП позволяло выявить прогрессирование только в 2,3% случаев, СОКТ – в 37,5%, из них изолированная оценка ГКС – в 7,8%, а СНВС – в 5,5%. Сочетанная морфофункциональная оценка в динамике повышала возможность выявления прогрессии до 61,7%. Эти данные совпадают с литературными, согласно которым, СОКТ позволяет раньше и точнее определить прогрессирование глаукомы в начальную стадию заболевания по сравнению с периметрией [2]. Следует обратить внимание на тот факт, что в оценке прогрессирования методом СОКТ используются несколько структурных характеристик, главными из которых являются средняя толщина СНВС и ганглиозного слоя сетчатки (в настоящем исследовании под последним понимали комплекс, состоящий из тел ганглиозных клеток, из аксонов и дендритов).

Согласно литературным данным, прогрессирование истончения слоя ганглиозных клеток и внутреннего плексиформного слоя предшествует прогрессированию перипапиллярного СНВС у пациентов с глаукомой низкого давления, тогда как у пациентов с более высоким исходным ВГД в первую очередь отмечалось прогрессирование, выявляемое по истончению перипапиллярного СНВС [9]. В то же время во многих исследованиях сообщалось, что ранние повреждения перипапиллярного СНВС в нижнем и верхнем квадрантах часто связаны с начальными изменениями слоя ГКС, находящимися по большей части в нижнем височном и верхнем височном секторах макулы [10, 11]. В других исследованиях было показано, что параметры слоя ГКС имеют схожую диагностическую точность по сравнению с параметрами перипапиллярного СНВС при выявлении ранней глаукомы [12]. Принято считать, что СОКТ может быть полезной только при препериметрической глаукоме, когда толщина СНВС имеет большую чувствительность, чем анализ поля зрения, но это не относится к более продвинутым стадиям заболевания [4, 13]. Результаты настоящего исследования показали, что при сравнении групп пациентов с прогрессированием глаукомы, выявляе-

Таблица 1

Клиническая характеристика больных

Параметры	Прогрессирование определено (79 глаз)	Прогрессирование не выявлено (49 глаз)	p
Возраст, годы	67,23±6,43	65,33±5,42	0,33
MD исходное, Дб	-1,63±1,01	-1,44±1,13	0,78
PSD исходное, Дб	2,16±1,17	1,18±0,43	0,025
Центральная толщина роговицы, мкм	554,11±27,20	548,24±17,11	0,61
СНВС, мкм	94,37±7,19	93,52±8,33	0,92
ГКС, мкм	85,23±11,13	87,06±8,11	0,32
FLV, %	2,63±2,14	1,93±1,71	0,024
GLV, %	11,12±6,24	8,14±5,52	0,05
Передне-задняя ось, мм	23,06±0,77	23,82±0,19	0,85
Исходное ВГД, мм рт. ст.	21,14±2,02	21,14±4,53	0,82
ВГД максимальное, мм рт. ст.	22,14±1,16	22,14±2,34	0,71
ВГД минимальное, мм рт. ст.	16,31±1,43	15,61±2,33	0,04
Среднее количество гипотензивных капель	1,22±0,63	1,12±0,72	0,432

Примечание: P – показатель по обобщенному критерию ранговых сумм Уилкоксона-Манна-Уитни и критерию хи-квадрат Пирсона; ГКС – ганглиозный комплекс сетчатки; MD – среднее отклонение; PSD – паттерн стандартное отклонение; СНВС – слой нервных волокон сетчатки; ВГД – внутриглазное давление; FLV (focal loss volume) – объем фокальных потерь ганглиозного комплекса сетчатки (ГКС); GLV (global loss volume) – объем глобальных потерь ГКС.

Таблица 2

Скорость изменения структурных параметров в группах с прогрессированием ГОН и без прогрессирования

Параметры	Есть прогрессия	Нет прогрессии	p-value
ROP1, $\mu\text{m}/\text{year}$	-2,28±1,2	0,48±0,3	0,003
ROP2, $\mu\text{m}/\text{year}$	-6,4±1,1	-0,83±0,9	0,004
ROP3	-3,9±0,6	-0,6±0,3	0,0009
VD перипапиллярной сетчатки	-5,1±0,8	-1,3±1,1	0,03
VD disk WI (disk+peripapillary) (%/year)	1,85±1,2	1,03 ±0,7	0,04
VD macula superf. WI (fovea+parafovea) (%/year)			

Примечание: ROP1 – rate of progression (скорость прогрессирования (истончения) слоя нервных волокон) в мкм/год; ROP2 – rate of progression infer – hemi (скорость истончения слоя нервных волокон в нижней гемисфере) в мкм/год; ROP3 – rate of progression (скорость прогрессирования (истончения) ГКС) в мкм/год; RNFL – слой нервных волокон сетчатки (СНВС); ГКС – ганглиозный комплекс сетчатки; VD – плотность капиллярной сети; WI – whole image.

мом по данным САП, и без него показатели скорости структурных потерь достоверно отличались, независимо от того, характеризовали они скорость истончения СНВС или ГКС (табл. 2). Это подчеркивает важность комплексного подхода в использовании СОКТ при оценке прогрессирования начальной стадии глаукомы. Вместе с тем, обра-

щает на себя внимание особенно значительная скорость истончения СНВС в нижней гемисфере, как наиболее чувствительной к глаукомному поражению и его прогрессированию (табл. 2).

Прогрессирование глаукомы было связано с исходной степенью глаукомного повреждения: отличие между группой с прогрессировани-

ем и без него составили для периметрического индекса PSD $p=0,025$, для объема фокальных потерь ГКС $p=0,024$. Также была установлена корреляция между скоростью истончения СНВС (Rop2) и уровнем минимального ВГД ($p=0,04$).

Эти данные совпадают с литературными и указывают на значимость снижения ВГД для стабилиза-

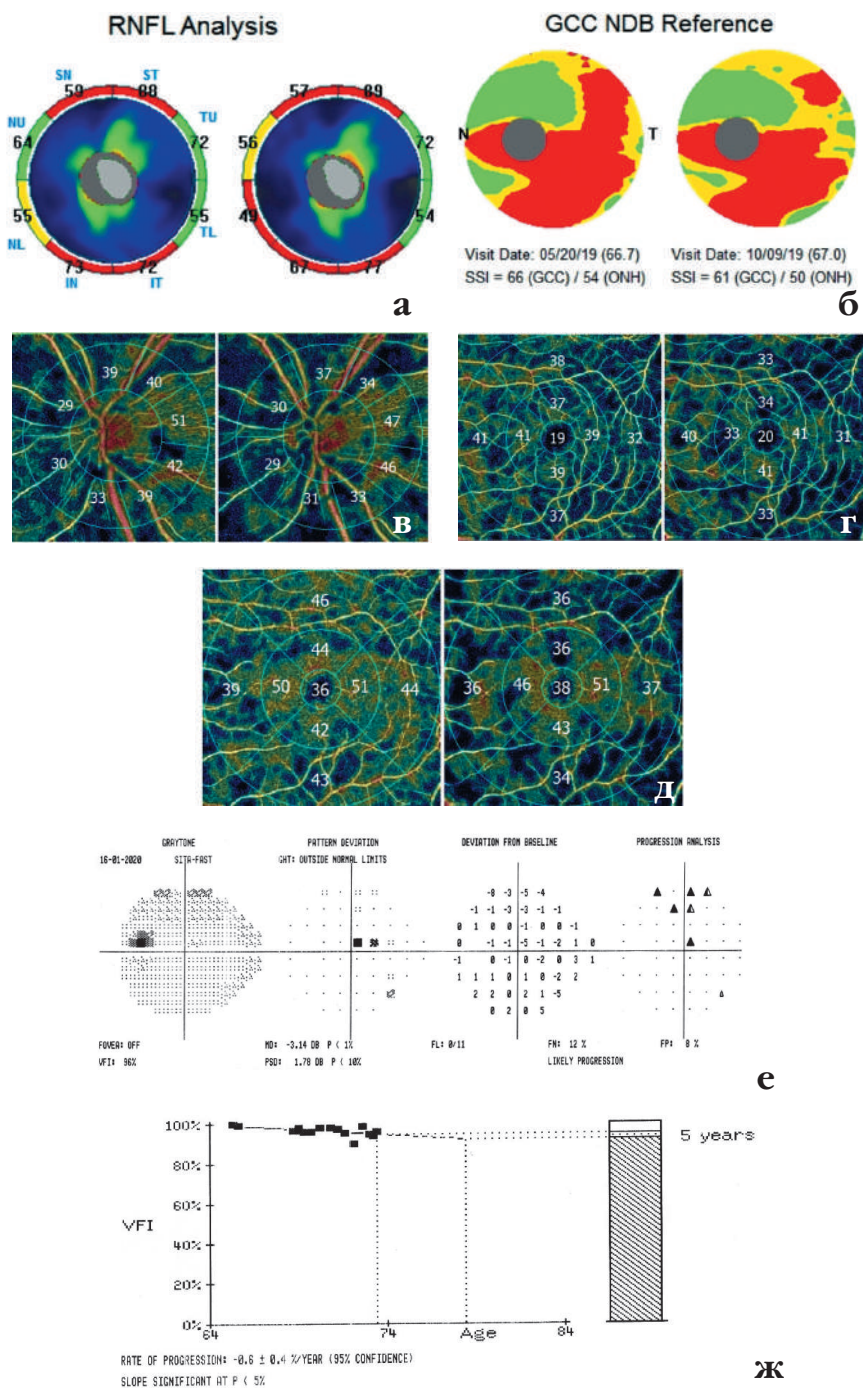


Рис. 2. Пример прогрессирования глаукомы у пациента с начальной стадией заболевания: Nerve Fiber ONH/GCC change analysis – протоколы изменений толщины СНВС (а) и ГКС (б); в – карта плотности капиллярной сети в ДЗН и перипапиллярной сетчатке (HD Angio Disk) в динамике; г, д – карта плотности капиллярной сети в фовеа и парафовеа (Angio Retina) в динамике соответственно для поверхностного (superficial) и глубокого (deep) сосудистого сплетения; е, ж – протоколы GPA Humphrey – анализ событий и тренда соответственно

ции глаукомного процесса [1]. Следует подчеркнуть, что минимальные значения ВГД в группе с прогрессированием заболевания составили $16,31 \pm 1,43$ мм рт. ст. (табл. 1). На

первый взгляд, это ВГД не представляется повышенным и в подавляющем большинстве случаев не вызывает тревоги у офтальмолога, не побуждая его к пересмотру гипотен-

зивного режима. Тем не менее, как показывают результаты настоящего исследования, заболевание у пациентов прогрессировало, и скорость этой прогрессии коррелировала со значениями минимального офтальмотонуса. Этот факт подчеркивает необходимость своевременного выявления прогрессирования, независимо от уровня ВГД.

В настоящем исследовании у ряда пациентов (50 глаз) на заключительных этапах наблюдения была выполнена ОКТ-ангиография не менее трех раз, что позволило провести тренд-анализ плотности капиллярной сети в ДЗН и перипапиллярной сетчатке (Whole Image Vessel Density Disc, WI VD Disc) и во внутренних слоях макулы в фовеальной и парафовеальной области в поверхностном и глубоком сосудистых сплетениях (рис. 2). Результаты показали различие в скорости потери плотности капиллярной сети (VD) у больных с прогрессирующим и стабильным течением (табл. 2).

Следует подчеркнуть, что отрицательный тренд VD как в перипапиллярной, так и парафовеальной сетчатке удавалось определить во всех глазах с прогрессирующим течением. В качестве примера приводятся данные пациента 72 лет с медленно прогрессирующим течением глаукомы. Об этом свидетельствуют данные периметрии, полученные за 4 года наблюдения (рис. 2 е, ж). Данные ОКТ и ОКТ-А, выполненные на одном томографе в период с мая 2019 г. по октябрь 2020 г., демонстрируют истончение толщины перипапиллярной сетчатки (а), относительно стабильное состояние ГКС (б) и прогрессирующую потерю капиллярной сети как в ДЗН и перипапиллярной сетчатке (в), так и в парафовеа в поверхностном (г) и глубоком сосудистых сплетениях (д). Заметно, что потеря капиллярной сети в нижневисочном секторе перипапиллярной сетчатки составляет 6% в год, а в глубоком сосудистом плексусе парафовеа – 6,8% в год. Следует подчеркнуть, что указанные зоны обеднения микроциркуляторного русла соответствуют области истончения СНВС и ГКС, а также локализации дефектов поля зрения в верхней гемисфере и дефекту в парацентральной зоне (е).

Роль ОКТ-А в мониторинге прогрессирования глаукомы на всех стадиях заболевания все еще остается неопределенной. Kim H.S. и его коллеги сообщали, что ОКТ-А характеризуется более широким динамическим диапазоном, чем поле зрения и структурная ОКТ. Следовательно, она может эффективно использоваться для выявления прогрессирования при тяжелых формах глаукомы, когда САП и СОКТ ограничены высокой изменчивостью между тестом и повторным тестом [14].

Вместе с тем, в настоящее время отсутствуют долгосрочные исследования, изучающие роль ОКТ-А в мониторинге глаукомы. Вопрос о том, являются ли сосудистые изменения диска зрительного нерва или макулы причиной или следствием глаукомного поражения, остается открытым. Тот факт, что сосудистые аномалии, обнаруженные с помощью ОКТ-А, напоминают по форме и расположению дефекты макулярного слоя ганглиозных клеток и внутреннего плексиформного слоя и перипапиллярного СНВС, позволяет предположить, что плотность сосудов снижается вследствие потери нервной ткани, а не наоборот [14]. Однако для более подробного изучения этого вопроса необходимо провести дальнейшие исследования самой ранней стадии заболевания с использованием ОКТ и ОКТ-А. Это, безусловно, обеспечит более широкое понимание патогенеза глаукомы и его сосудистого компонента.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящее исследование продемонстрировало важную роль спектральной ОКТ в выявлении про-

грессирования начальной стадии глаукомы и показало, что сочетанная морфофункциональная оценка в динамике позволяет выявить прогрессирование более, чем у половины больных. Результаты подтвердили тот факт, что прогрессирование ассоциировано с исходной степенью глаукомного поражения и недостаточным снижением ВГД в процессе лечения. Следует подчеркнуть (и в этом заключается новизна данной работы), что все случаи установленного прогрессирования заболевания сопровождались ухудшением ретикулярной микроциркуляции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Leske M.C., Heijl A., Hyman L., Bengtsson B. Early Manifest Glaucoma Trial: design and baseline data. *Ophthalmology*. 1999; 106(11): 2144-2153.
2. Zhang X., Anna Dastiridou A., Francis B. et al Comparison of Glaucoma Progression Detection by Optical Coherence Tomography and Visual Field. *Am. J. Ophthalmol.* 2017; 184: 63-74. doi:10.1016/j.ajo.2017.09.020.
3. Naghizadeh F., Garas A., Vargha P., Hollo G. Detection of early glaucomatous progression with different parameters of the RTVue optical coherence tomograph. *J. Glaucoma*. 2014; 23(4): 195-198.
4. Zhang X., Dastiridou A., Francis B.A. et al. Baseline Fourier-Domain OCT Structural Risk Factors for Visual Field Progression in the Advanced Imaging for Glaucoma Study. *Am. J. Ophthalmol.* 2016; 172: 94-103. doi:10.1016/j.ajo.2016.09.015.
5. Mwanza J.C., Chang R.T., Budenz D.L. et al. Reproducibility of peripapillary retinal nerve fiber layer thickness and optic nerve head parameters measured with cirrus HD-OCT in glaucomatous eyes. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 2010; 51: 5724-5730. doi:10.1167/iovs.10-5222.
6. Ghahari E., Bowd C., Zangwill L.M. et al. Association of macular and circumpapillary microvasculature with visual field sensitivity in advanced glaucoma. *Am. J. Ophthalmol.* 2019; 204: 51-61. doi:10.1016/j.ajo.2019.03.004.
7. Kuryshva N.I., Maslova E.V., Zolnikova I.V. et al. A comparative study of structural, functional and circulatory parameters in glaucoma diagnostics. *PLoS ONE*. 13(8): e0201599. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0201599>
8. Chauhan B. C., Malik R., Shuba L. M., Rafuse P.E., Nicoleta M. T., Artes P. H. Rates of glaucomatous visual field change in a large clinical population. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*. 2014;55(5):2885-2892. <https://doi.org/10.1167/iovs.14-14643>
9. Marshall HN, Andrew NH, Hassall M, et al. Macular ganglion cell-inner plexiform layer loss precedes peripapillary retinal nerve fiber layer loss in glaucoma with lower intraocular pressure. *Ophthalmology* 2019; 126: 1119-1130. doi:10.1016/j.opht.2019.03.016.
10. Kim K.E., Park K.H., Yoo B.W. et al. Topographic localization of macular retinal ganglion cell loss associated with localized peripapillary retinal nerve fiber layer defect. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 2014; 55: 3501-3508. doi:10.1167/iovs.14-13925.
11. Mwanza J.C., Budenz D.L., Godfrey D.G. et al. Diagnostic performance of optical coherence tomography ganglion cell -inner plexiform layer thickness measurements in early glaucoma. *Ophthalmology* 2014; 121: 849-854. doi:10.1016/j.opht.2013.10.044.
12. Kim HS, Yang H, Lee TH, et al. Diagnostic value of ganglion cell-inner plexiform layer thickness in glaucoma with superior or inferior visual hemifield defects. *J. Glaucoma*. 2016; 25:472-476. doi:10.1097/IJG.0000000000000285.
13. Banegas SA, Anton A, Morilla A, et al. Evaluation of the retinal nerve fiber layer thickness, the mean deviation, and the visual field index in progressive glaucoma. *J. Glaucoma* 2016; 25: e229-e235. doi:10.1097/IJG.0000000000000280.
14. Kim G-N., Lee E.J., Kim H. et al. Dynamic range of the peripapillary retinal vessel density for detecting glaucomatous visual field damage. *Ophthalmology*. 2019; 2: 103-110. doi:10.1016/j.jogla.2018.11.007.
15. Takusagawa H.L., Liu L., Ma K.N. et al. Projection-resolved optical coherence tomography angiography of macular retinal circulation in glaucoma. *Ophthalmology* 2017; 124: 1589-1599. doi:10.1016/j.opht.2017.06.002.