

Снижение перипапиллярного кровотока как фактор развития и прогрессирования первичной открытоугольной глаукомы

Н.И. Курышева, Е.В. Маслова, А.В. Трубилина

Центр офтальмологии ФМБА России, Клиническая больница № 86, Москва

Цель работы — оценить состояние гемоперфузии перипапиллярной зоны сетчатки у больных первичной открытоугольной глаукомой (ПОУГ) с использованием оптической когерентной томографии с функцией декорреляционной амплитудной ангиографии (ОКТ-А). **Материал и методы.** Исследование проведено на 65 глазах больных ПОУГ разных стадий. Группу контроля составили 22 глаза здоровых обследуемых аналогичного возраста без офтальмопатологии. Методом спектральной оптической когерентной томографии (SD-OCT) с функцией *AngioVue* ОКТ-А определяли усреднённое значение величины декорреляции амплитуды (Peripapillary Flow Index), плотность микрососудистой сети (Peripapillary Vessel Density), параметры комплекса ганглиозных клеток (GCC), в том числе объем фокальных (FLV) и глобальных (GLV) потерь, толщину слоя нервных волокон сетчатки (RNFL). **Результаты** показали, что снижение кровотока в перипапиллярной сетчатке, выявляемое методом ОКТ-А, опережает не только функциональные, но и структурные потери, определяемые методами ОКТ и периметрии. **Заключение.** Новый неинвазивный метод исследования ретинального кровотока — ОКТ-ангиография дает возможность определить снижение гемоперфузии перипапиллярной сетчатки уже в начальной стадии ПОУГ. Полученные данные позволяют рассматривать ОКТ-А как важный метод раннего выявления глаукомы.

Ключевые слова: ОКТ-ангиография, первичная открытоугольная глаукома, глазной кровоток, структурные и функциональные потери.

Российский офтальмологический журнал, 2016; 3: 34–41

В последние годы для оценки глаукомных повреждений большое внимание уделяется слою нервных волокон (RNFL) в перипапиллярной сетчатке. Общепризнанным является тот факт, что выявление истончения RNFL, особенно его усредненного показателя (avg RNFL), позволяет определить глаукомное поражение в среднем у трети больных глаукомой за 5 лет до появления первых дефектов поля зрения [1]. Причиной истончения RNFL считают апоптоз аксонов ганглиозных клеток сетчатки (ГКС) вследствие метаболических процессов, например окислительного стресса, а также активирования нейроглии и прочих, до конца не выясненных событий. Важным претендентом на роль пусковых факторов в развитии глаукомной оптиконеуропатии является ишемия/реперфузия, являющаяся следствием васкуляторных расстройств [2]. Однако в силу отсутствия надежных методов исследования кровотока в диске

зрительного нерва (ДЗН) и прилежащей перипапиллярной зоне на сегодня сложно определить роль диагностики кровообращения в зрительном нерве и перипапиллярном слое нервных волокон в мониторинге глаукомы.

Новый метод исследования микрососудистого русла глаза — оптическая когерентная томография с функцией ангиографии (ОКТ-А) — позволяет получить информацию о кровотоке сетчатки в результате селекции кровеносных сосудов от окружающих тканей на всю глубину сканирования без применения контрастных веществ [3]. В литературе имеются единичные исследования кровотока в ДЗН [4] и перипапиллярной области методом ОКТ-А [5].

ЦЕЛЬ работы — оценить состояние гемоперфузии перипапиллярной зоны сетчатки у больных первичной открытоугольной глаукомой (ПОУГ) с использованием ОКТ-А.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследование проведено на 65 глазах больных ПОУГ, из них 38 глаз — с начальной глаукомой, 27 — с развитой и далеко зашедшей стадиями. Группу контроля составили 22 глаза здоровых обследуемых аналогичного возраста без офтальмопатологии.

ПОУГ диагностировали на основании характерных изменений в ДЗН, выявляемых при офтальмоскопии (патологическое отклонение от нормы пропорций невральное ободка, глаукомная экскавация ДЗН, перипапиллярная атрофия, клиновидные дефекты в слое нервных волокон сетчатки, примыкающие к краю ДЗН, геморрагии по краю ДЗН).

Стандартная автоматизированная периметрия (САП) выполнялась на периметре Humphrey (США), применялась пороговая программа 30-2 с алгоритмом SITA-Standard (чувствительность определялась в 176 точках, расположенных в 30° от точки фиксации, использовался белый стимул $0,43^\circ$ на белом экране с экспозицией 100 мс). Для разделения глаукомы по стадиям использовалась классификация, предложенная R. Mills. Для начальной глаукомы: среднее отклонение светочувствительности сетчатки (MD) меньше чем -6 Дб, на карте стандартных отклонений (PSD) > 3 смежных точек при $p < 0,05$ и > 1 точки при $p < 0,01$; для развитой глаукомы, соответственно: MD больше -6,01 Дб, PSD более 19 точек с $p < 5\%$ и более 12 точек с $p < 1\%$ [6, 7].

Тем больным, которые применяли раньше антиглаукомные капли, было рекомендовано отменить их на период до 3 недель (период вымывания лекарства), остальные больные имели впервые выявленную глаукому.

В контрольную группу вошли лица, не имеющие родственников первой линии, страдающих глаукомой, с роговично-компенсированным внутриглазным давлением (ВГД ИОРсс) < 22 мм рт. ст., неизменным ДЗН, нормальным состоянием слоя нервных волокон сетчатки и отсутствием дефектов полей зрения.

Критериями включения считали наличие эмметропической рефракции и открытого угла передней камеры (УПК), что подтверждалось оптической когерентной томографией переднего отрезка глаза (Visante OCT, Zeiss), при этом допустимым был УПК не меньше 30° .

Критериями исключения являлось системное применение бета-блокаторов и блокаторов кальциевых каналов, наличие у больных сопутствующей офтальмопатологии (кроме начальной катаракты); наличие хронических аутоиммунных заболеваний, сахарного диабета, острых нарушений кровообращения в анамнезе и любых сопутствующих заболеваний, требующих применения стероидных препаратов. В анализ были включены только пациенты, ранее не подвергавшиеся хирургическим операциям на глазах.

Исследование проводилось в перипапиллярной зоне методом спектральной оптической когерентной томографии (SD-OCT) на приборе RtVue xR Avanti (Оптовью, Инк., Фремонт, Калифорния, США) с функцией AngioVue ОКТ-ангиографии, использующей алгоритм декорреляционной амплитудной ангиографии с разделением спектра (split-spectrum amplitude-decorrelation angiography — SSADA). Исследовали два показателя: peripapillary vessel density (площадь, занятая сосудами, выраженная в % от общей исследуемой площади) и peripapillary flow index (среднее значение амплитуды декорреляции). Область исследования: окружность в 700 мкм с отступом от наружной границы ДЗН на глубину 100 мкм, как это описано в литературе [8] и показано на рисунке 1.

Определялись также параметры комплекса ганглиозных клеток (GCC), в том числе объем фокальных (FLV) и глобальных (GLV) потерь, и толщина слоя нервных волокон сетчатки (RNFL).

Статистическая обработка данных. В работе использовался точный двусторонний критерий ранговых сумм Уилкоксона — Манна — Уитни. Показатели

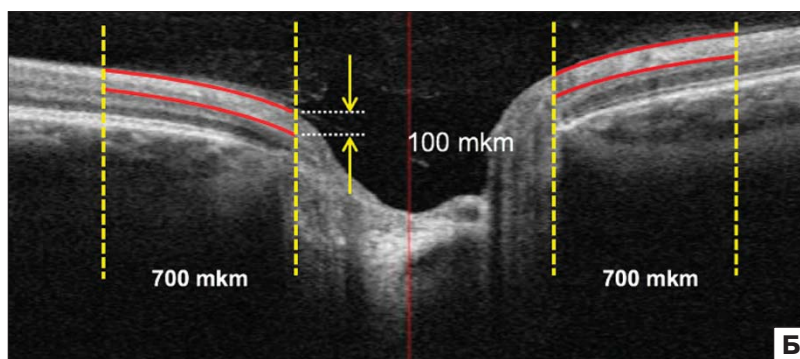
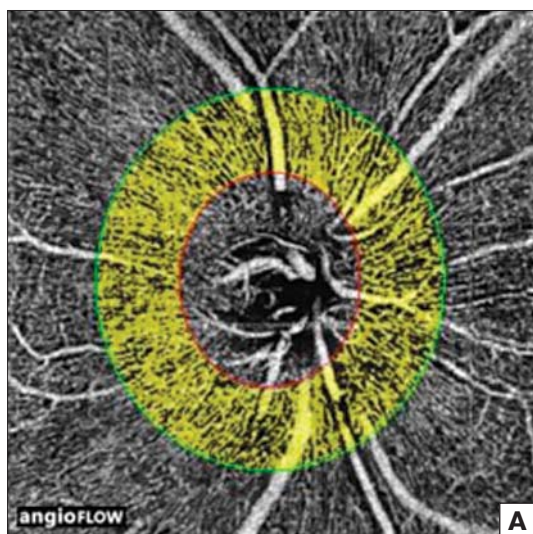


Рис. 1. Зона перипапиллярной сетчатки, исследуемая методом ОКТ-ангиографии: область сканирования захватывает слои на глубину 100 мкм диаметром 700 мкм с отступом от края ДЗН.

со значением P-value < 0,05 считались статистически значимыми. Для изучения взаимосвязи признаков использован коэффициент корреляции Пирсона. Статистический анализ проводили с помощью статистического пакета SPSS версии 21 и библиотеки MASS языка R.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Структурные и функциональные показатели достоверно отличались в обследуемых группах (табл. 1). Оба параметра перипапиллярного кровотока при глаукоме были снижены по

сравнению с данными здоровых обследуемых (табл. 1, рис. 1).

Данные таблицы 1 показывают, что достоверное отличие между параметрами ОКТ-А получено при сравнении всех исследуемых групп. Чем более тяжелым было глаукомное поражение, тем ниже был индекс перипапиллярного кровотока и плотность микрососудистого русла (рис. 2).

Если достоверное отличие изучаемых параметров ОКТ-А по сравнению с контролем было выявлено уже при начальной глаукоме, то снижение толщины слоя нервных волокон в различных секторах

Таблица 1. Клинико-функциональные показатели и параметры кровотока перипапиллярной сетчатки по данным ОКТ-А

Показатель	Контроль (норма)	p-value	ПОУГ I	p-value	ПОУГ II–III
N	22		38		27
Возраст, годы	61,9 (6,2)	0,622	62,5 (7,6)	0,367	64,8 (4,7)
Сист. АД, мм рт. ст.	126,6 (4,6)	0,010	135,4 (17,4)	0,472	130,9 (13,7)
Диаст. АД, мм рт. ст.	81,4 (6,9)	0,183	83,6 (9,9)	0,726	83,15 (8,2)
ВГД, мм рт. ст.	15,5 (3,1)	0,001	19,4 (4,6)	0,549	19,4 (6,2)
Перфузионное давление, мм рт. ст.	50,4 (2,4)	0,198	47,8 (9,8)	0,594	46,6 (7,7)
RNFL, мкм	101,9 (6,1)	< 0,001	91,8 (10,3)	< 0,001	69,3 (14,3)
Avg. GCC, мкм	98,3 (7,6)	0,001	89,2 (10,4)	< 0,001	70,5 (10,4)
FLV, %	0,21 (0,23)	0,004	2,18 (2,05)	< 0,001	9,50 (3,68)
GLV, %	1,62 (1,06)	0,001	7,60 (6,10)	< 0,001	25,91 (9,44)
ТХф, мкм	312,3 (88,5)	0,342	279,9 (105,3)	0,906	276,6 (82,6)
ТХп, мкм	181,4 (51,3)	0,348	179,3 (93,3)	0,472	161,9 (64,9)
Peripapillary flow index	0,061 (0,009)	0,002	0,051 (0,013)	0,021	0,041 (0,017)
Peripapillary vessel density, %	66,55 (8,72)	< 0,001	55,74 (10,60)	< 0,001	40,19 (14,04)

Примечание. RNFL — слой нервных волокон сетчатки; Avg. GCC — average ganglion cells complex, средняя толщина слоя ганглиозных клеток; FLV — Focal Loss Volume, объем фокальных потерь GCC; GLV — Global Loss Volume, объем глобальных потерь GCC; ТХф — толщина хориоидеи в фовеальной зоне; ТХп — толщина хориоидеи в перипапиллярной зоне; Peripapillary flow index — индекс кровотока в перипапиллярной области; Peripapillary vessel density — плотность сосудов в перипапиллярной области.

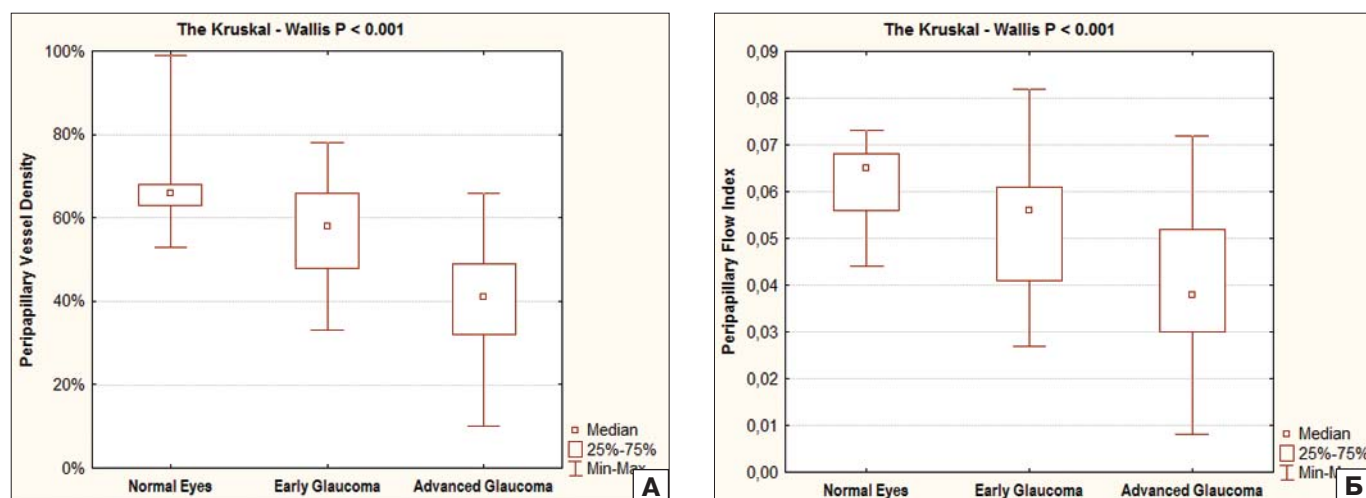


Рис. 2. Показатели кровотока в перипапиллярной зоне по данным ОКТ-А в норме (слева), при начальной глаукоме (в середине) и при продвинутых стадиях заболевания (справа). А — плотность сосудов (Peripapillary vessel density); Б — индекс кровотока (Peripapillary flow index) в перипапиллярной области.

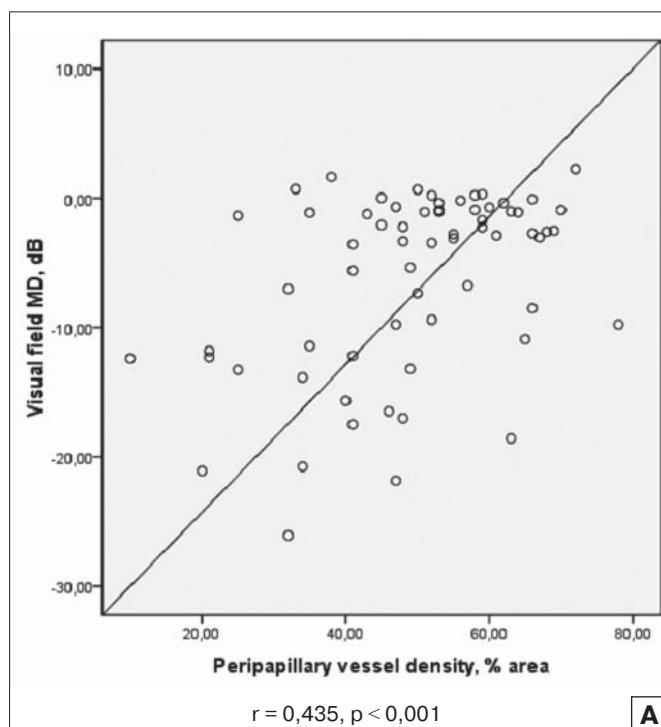
перипапиллярной сетчатки было отмечено только при сравнении начальной глаукомы с продвинутыми стадиями заболевания (табл. 2).

Таблица 2. Толщина слоя нервных волокон в различных секторах перипапиллярной сетчатки при ПОУГ

Показатель		Контроль (норма)	p-value	ПОУГ I	p-value	ПОУГ II—III
RNFL, мКм	SN	107,3 (13,2)	0,090	101,2 (13,3)	< 0,001	79,1 (15,9)
	NU	81,1 (10,5)	0,838	80,8 (12,8)	< 0,001	65,4 (14,8)
	NL	70,7 (8,2)	0,844	70,1 (10,4)	< 0,001	56,6 (15,4)
	IN	106,6 (24,9)	0,689	104,1 (25,8)	< 0,001	75,5 (12,8)
	IT	137,7 (15,7)	0,020	123,8 (20,4)	< 0,001	79,8 (16,8)
	TL	77,3 (19,6)	0,950	72,6 (27,3)	< 0,001	50,4 (13,3)
	TU	78,8 (16,1)	0,882	77,8 (21,6)	< 0,001	62,1 (14,4)
	ST	129,1 (14,6)	0,086	121,8 (18,5)	< 0,001	90,0 (17,7)

Примечание. RNFL — слой нервных волокон сетчатки: SN — supero-nasal, верхний назальный; NU — nasal upper, назальный верхний; NL — nasal lower, назальный нижний; IN — infero-nasal, нижний назальный; IT — infero-temporal, нижний темпоральный; TL — temporal lower, темпоральный нижний; TU — temporal upper, темпоральный верхний; ST — supero-temporal, верхний темпоральный.

Корреляционный анализ выявил взаимосвязь между параметрами ОКТ-А перипапиллярной зоны и морфо-функциональными показателями. Графики корреляции между плотностью микрососудистой сети и периметрическими индексами представлены на рисунке 3.



Еще более значительной была корреляция плотности капилляров со структурными показателями, а именно с параметрами ганглиозного комплекса сетчатки (рис. 4).

На рисунке 5 приведены клинические примеры, демонстрирующие соответствие снижения плотности капилляров в перипапиллярной сосудистой сети дефектам комплекса ганглиозных клеток сетчатки, слоя нервных волокон и полей зрения.

ОБСУЖДЕНИЕ

В литературе приводится немало доказательств того, что ухудшение гемоперфузии неблагоприятно сказывается на развитии глаукомной оптиконейропатии [9–11]. Некоторые авторы также относят снижение гемоперфузии к наиважнейшему фактору риска прогрессирования глаукомной оптиконейропатии [12]. Известно, что сетчатка имеет три уровня кровоснабжения (плексуса): радиальный перипапиллярный капиллярный плексус, поверхностный и глубокий (наружный) плексусы [13]. Все три указанных сосудистых сплетения кровоснабжают внутреннюю половину сетчатки, в то время как ее наружная половина получает кровоснабжение из хориокапилляров [3]. В питании слоя нервных волокон основную роль играют капилляры радиального перипапиллярного плексуса, а ганглиозных клеток сетчатки — сосуды из поверхностного плексуса. Применяв метод ОКТ-А, М. Savastano и соавт. описали локализацию поверхностного плексуса, расположенного на уровне ГКС, и глубокого плексуса, локализованного

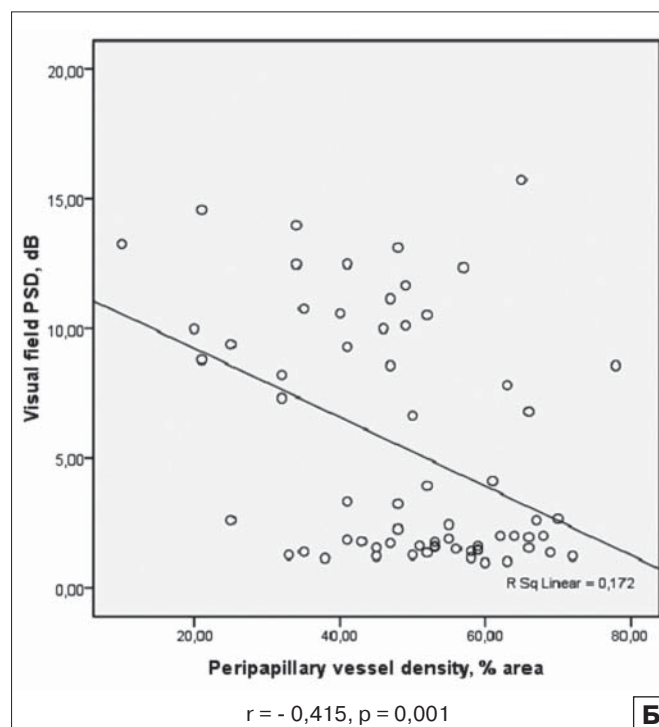


Рис. 3. Графическое изображение корреляционной связи между плотностью капилляров перипапиллярной сетчатки и периметрическими индексами при глаукоме: с MD (А) и с PSD (Б).

в наружном плексиформном слое. Авторы показали, что сосуды из наружного плексуса направляются в глубокий, что указывает на взаимосвязь двух названных сосудистых сплетений [14].

Данные о применении ОКТ-А при глаукоме в литературе единичны. Так, L. Liu и соавт. [5] выявили достоверное снижение как плотности сосудов в перипапиллярной области, так и индекса кровотока в ней у больных ПОУГ по сравнению со здоровыми обследуемыми аналогичного возраста. Площадь под ROC (кривой ошибок) для первого показателя составила 0,94, для второго — 0,89. Чувствительность и специфичность для них составили 83 и 91 %, а также 58 и 100 % соответственно, что подчеркивает высокую диагностическую ценность метода для раннего выявления глаукомы.

Роль ОКТ-А в мониторинге глаукомы показали в своем недавнем исследовании Y. Wang и соавт. [4]. Авторы обнаружили достоверное снижение как индекса кровотока, так и плотности сосудов на ДЗН в более продвинутых стадиях ПОУГ, а также у глаукомных больных в сравнении со здоровыми обследуемыми.

Однако открытым остается вопрос, являются ли васкуляторные изменения первичными в развитии глаукомы или они наступают вследствие гибели нервной ткани. J. Hwang и соавт. [15], применив метод Допплер-ОКТ, обнаружили достоверное снижение скорости общего ретинального и венозного кровотока у больных глаукомой по сравнению со здоровыми обследуемыми. Регрессионный анализ, предпри-

нятый этими авторами, показал, что сниженные показатели ретинального глазного кровотока и морфометрических (структурных) параметров являются независимыми предикторами появления дефектов полей зрения, а следовательно, имеют ценность в ранней диагностике глаукомы. Примечательно, что показатели ретинального кровотока в 2 раза более точно позволяли предвидеть функциональные расстройства, нежели изменения в морфометрических показателях (в работе оценивались RNFL и параметры GCC). При этом показатели Допплер-ОКТ не имели корреляции со структурными параметрами. Еще одним любопытным наблюдением в указанной работе явилось то, что авторы не обнаружили корреляции ВГД с морфометрическими или функциональными показателями, более того, ВГД у больных глаукомой было достоверно ниже, чем в контроле, что авторы объяснили применением местных гипотензивных препаратов [15].

Важно подчеркнуть, что во всех трех приведенных выше работах пациенты продолжали применять местные антиглаукомные препараты на момент проведения обследования. Вместе с тем известно, что местные гипотензивные препараты могут сами по себе оказывать существенное влияние на глазной кровоток [11, 16, 17].

В настоящем исследовании мы впервые применили метод ОКТ-А для исследования гемоперфузии в радиальном перипапиллярном плексусе при глаукоме в условиях отмены местной гипотензивной терапии и обнаружили снижение плотности сосудов,

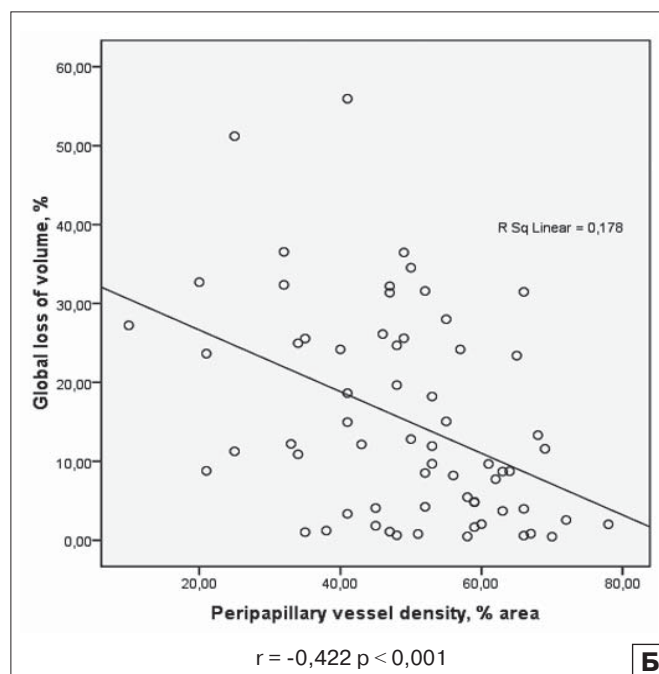
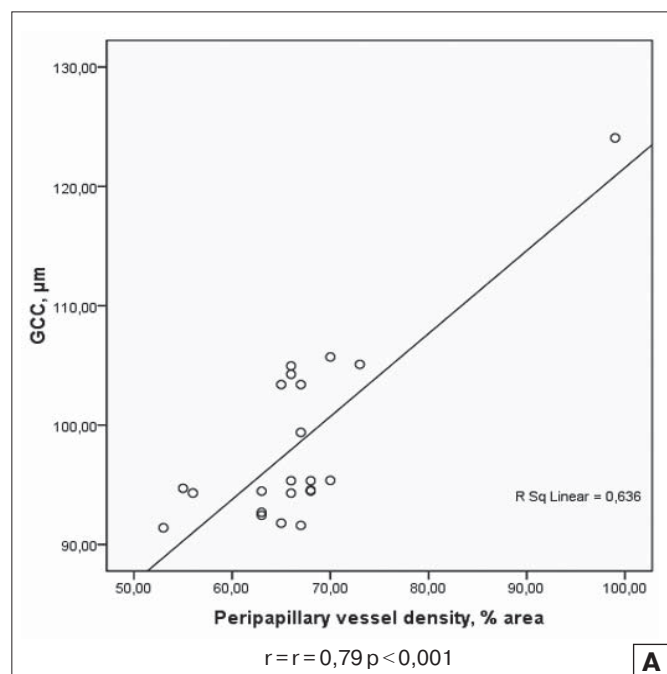
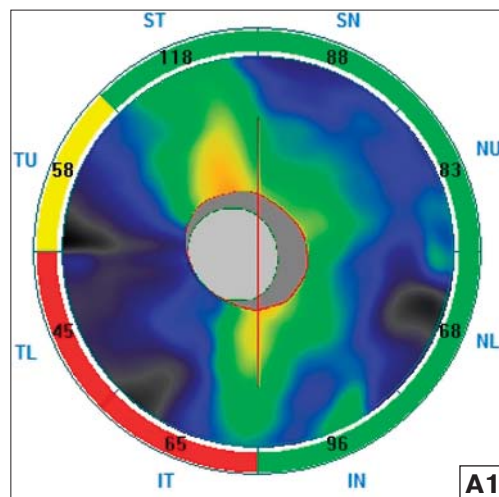


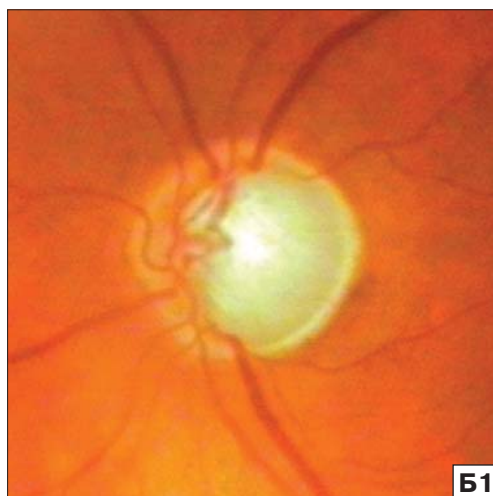
Рис. 4. Графическое изображение корреляционной связи между плотностью капилляров перипапиллярной сетчатки и параметрами GCC: с показателем средней толщины комплекса (avg. GCC) в норме (А) и с параметром объема глобальных потерь (GLV) при глаукоме (Б).



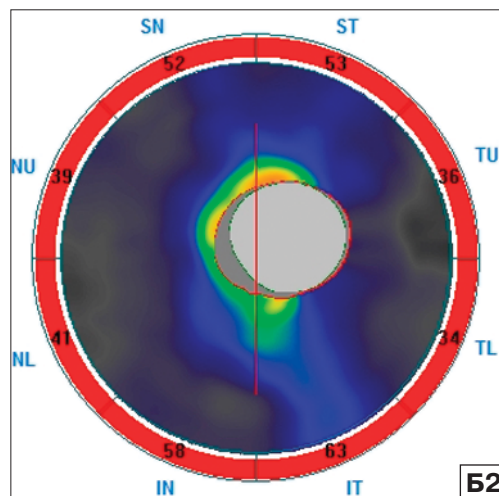
A1



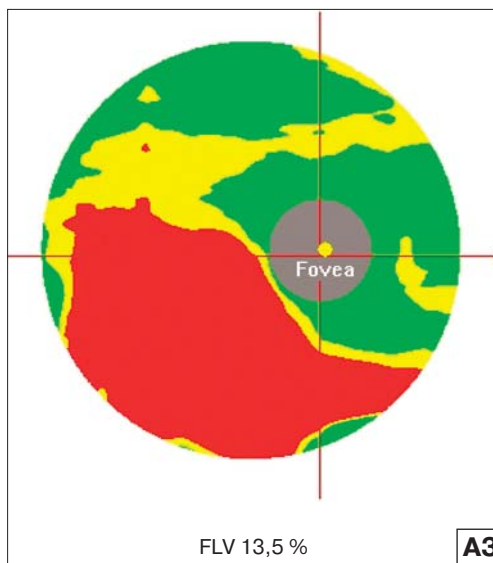
A1



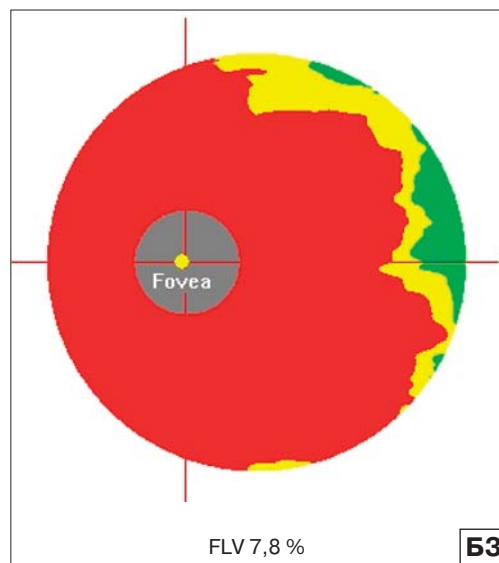
B1



B2

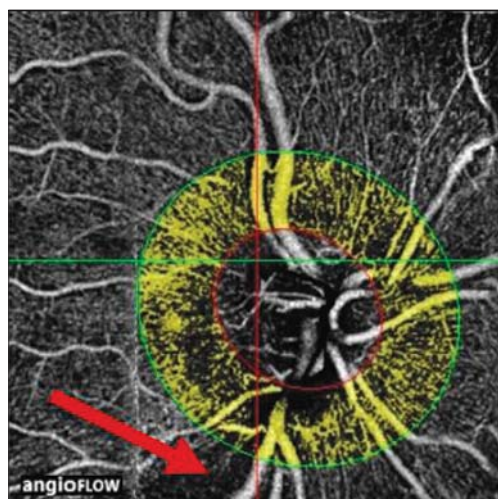


A3

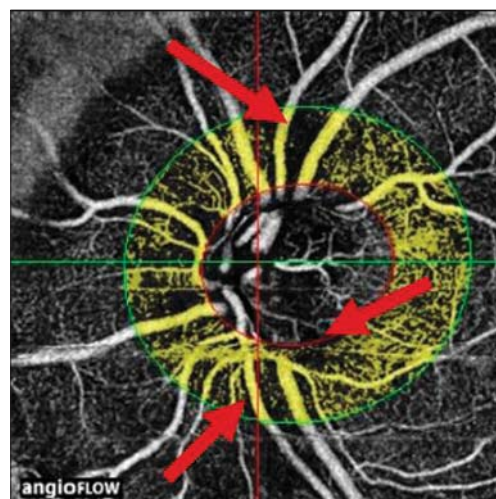


B3

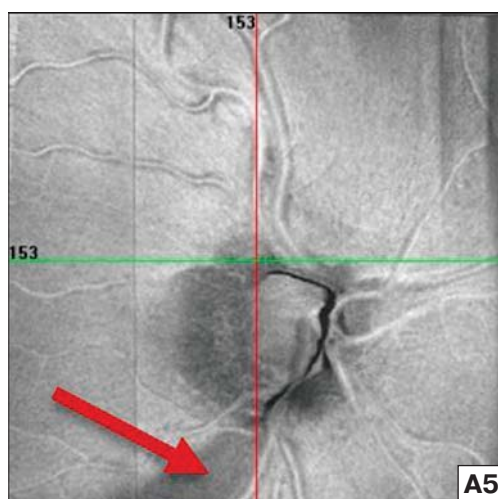
Рис. 5. Клинические примеры больных с развитой ПОУГ, демонстрирующие соответствие снижения плотности капилляров в перипапиллярной сосудистой сети дефектам слоя нервных волокон сетчатки (RNFL), комплекса ганглиозных клеток (GCC) и полей зрения: на рис. А — пример развитой ПОУГ с секторальным снижением плотности перипапиллярных капилляров в нижневисочном секторе, на рис. Б — диффузное снижение плотности сосудов в перипапиллярной зоне.



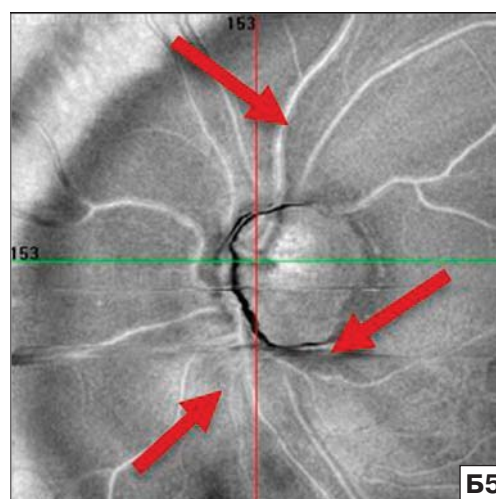
Blood flow index/Vessel density 0,04/49 % **A4**



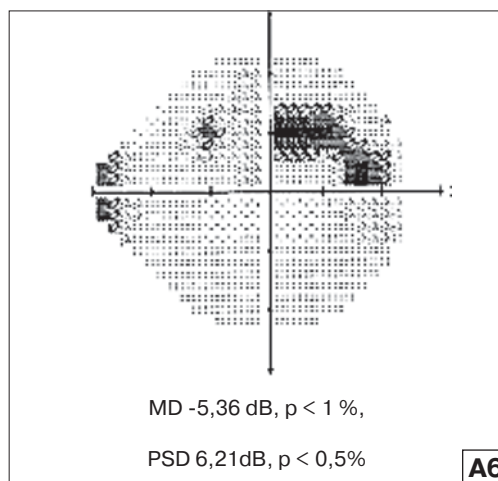
Blood flow index/Vessel density 0,05/50 % **B4**



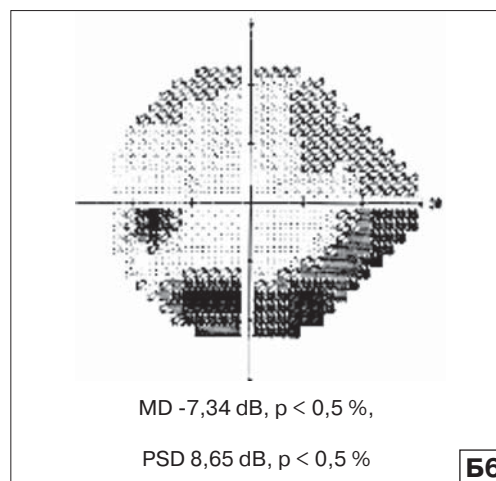
A5



B5



A6



B6

Рис. 5 (продолжение). А1, Б1 — изображения с фундус-камеры; А2, Б2 — цветные карты достоверности истончения слоя нервных волокон сетчатки (RNFL); А3, Б3 — цветные карты, отображающие значимость изменений в комплексе ганглиозных клеток сетчатки (GCC); А4, Б4 — сканы ОКТ-А, полученные при анализе перипапиллярной области на 700 мкм вокруг края ДЗН на глубину сканирования 100 мкм. А5, Б5 — соответствующие en face ОКТ-изображения; А6, Б6 — данные САП. Стрелками отмечено выпадение в слое нервных волокон на en-face изображениях (А5, Б5) и соответствующие им дефекты плотности сосудов на ОКТ-А (А4, Б4).

а также индекса кровотока уже при начальной стадии заболевания. При этом достоверное снижение толщины слоя нервных волокон в изучаемых секторах перипапиллярной сетчатки отмечалось только в продвинутые стадии заболевания по сравнению с начальной стадией (см. табл. 2). Полученные данные позволяют предположить, что снижение кровотока в перипапиллярной сетчатке, выявляемое методом ОКТ-А, опережает не только функциональные, но и структурные потери, определяемые методами ОКТ и САП. Эти данные открывают новые перспективы применения ОКТ с функцией ангиографии в диагностике глаукомы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Новый неинвазивный метод исследования ретинального кровотока — ОКТ-ангиография дает возможность определить снижение гемоперфузии перипапиллярной сетчатки уже в начальной стадии глаукомы. Полученные данные позволяют рассматривать ОКТ-А как важный метод раннего выявления глаукомы.

Литература/References

1. Leung C.K., Cheung C.Y., Weinreb R.N., et al. Retinal nerve fiber layer imaging with spectral-domain optical coherence tomography: a variability and diagnostic performance study. *Ophthalmology*. 2009; 116: 1257–63.
2. Konieczka K., Ritch R., Traverso C., et al. Flammer syndrome. *The EPMA Journal*. 2014; 5: 11.
3. Spaide R., Klancic J., Cooney M. Retinal vascular layers imaged by fluorescein angiography. *JAMA Ophthalmol*. 2015; 133: 45–50.
4. Wang Y., Fawzi A.A., Varma R., et al. Pilot study of optical coherence tomography measurement of retinal blood flow in retinal and optic nerve diseases. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2015; 52: 840–5.
5. Liu L., Jia Y., Takusagawa H., Morrison J., Huang D. Optical Coherence Tomography Angiography of the Peripapillary Retina in Glaucoma. *JAMA Ophthalmol*. 2015; 133(9): 1045–52.
6. Mills R.P., Budenz D.L., Lee P.P., et al. Categorizing the stage of glaucoma from pre-diagnosis to end-stage disease. *Am. J. Ophthalmology*. 2006; 141: 24–30.
7. Курышева Н.И. Периметрия в диагностике глаукомной оптической нейропатии. Москва: Гринлайт; 2015.
8. Pechauer A., Liu L., Gao S., Jian C., Huang D. Optical Coherence Tomography Angiography of Peripapillary Retinal Blood Flow Response to Hyperoxia. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2015; 56: 3287–91.
9. Caprioli J., Coleman A.L. Blood Flow in Glaucoma Discussion. Blood pressure, perfusion pressure, and glaucoma. *Am. J. Ophthalmol*. 2010; 149(5): 704–12.
10. Schmidl D., Werkmeister R., Garhofer G., Schmetterer L. Ocular perfusion pressure and its relevance for glaucoma. *Klin Monbl Augenheilkd*. 2015; 232(2): 141–6.
11. Курышева Н.И. Гемоперфузия глаза и глаукома. Москва: Гринлайт; 2015.
12. Kurysheva N.I. Hemoperfusion and glaucoma. Moscow: Grinlayt; 2015 (in Russian).
13. Weinreb R.N., Harris A. Ocular Blood Flow in Glaucoma: Consensus Series 6. The Netherlands. Kugler Publications; 2009.
14. Snodderly D.M., Weinhaus R.S., Choi J.C. Neural-vascular relationships in central retina of macaque monkeys (*Macaca fascicularis*). *J. Neurosci*. 1992; 12(4): 1169–93.
15. Savastano M., Lumbroso B., Rispoli M. In vivo characterization of retinal vascularization morphology using optical coherence tomography angiography. *Retina*. 2015; 35(11): 2196–203.
16. Hwang J., Konduru R., Zhang X., et al. Relationship among visual field, blood flow, and neural structure measurements in glaucoma. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2012; 53: 3020–6.
17. Harris A., Arend O., Chung H., et al. A comparative study of betaxolol and dorzolamide effect on ocular circulation in normal-tension glaucoma patients. *Ophthalmology*. 2000; 107: 430–4.
18. Hayreh S.S. Blood flow in the optic head and factors that may influence it. *Prog Retin Eye Res*. 2001; 20(5): 595–624.

A reduced peripapillary blood flow as a factor of primary open angle glaucoma development and progression

N.I. Kuryшева, E.V. Maslova, A.V. Trubilina

Ophthalmological Center of the Federal Medical and Biological Agency, Clinical Hospital No. 86, Moscow, Russia
e-natalia@list.ru

Purpose. To assess the blood supply to the peripapillary area in patients with primary open-angle glaucoma (POAG) using optical coherence tomography with the function of amplitude-decorrelation angiography (OCT-A). **Material and Methods.** 65 eyes of POAG patients (the main group) and 22 eyes of age-matched healthy subjects (the control group) were examined. Spectral OCT (SD-OCT) technique with AngioVue OCT function was used to measure the average value of amplitude decorrelation (Peripapillary Flow Index), peripapillary vessel density, the parameters of the ganglion cell complex (GCC), including the focal loss volume (FLV) and the global loss volume (GLV), and the retinal nerve fiber layer (RNFL). **Results.** We revealed that blood flow reduction in the peripapillary retina, detected by OCT-A, precedes not only the functional but also the structural loss, determined by OCT and SAP. **Conclusions.** The new noninvasive technique for the examination of retinal blood flow, OCT-A, determines the reduction of hemoperfusion in peripapillary retina even at an early POAG stage and can serve as an important diagnostic method for early glaucoma detection.

Keywords: optical coherence tomography, OCT angiography, primary open-angle glaucoma, ocular blood flow, structural and functional losses.

Russian Ophthalmological Journal, 2016; 3: 34–41
doi: 10.21516/2072-0076-2016-9-3-34-41

Адрес для корреспонденции: 123098 Москва, ул. Гамалеи, д. 15, Центр офтальмологии ФМБА России, Клиническая больница № 86.
e-natalia@list.ru