ОКТ-ангиография и ее роль в исследовании ретинальной микроциркуляции при глаукоме (часть вторая)

Н.И. Курышева — д-р мед. наук, профессор, руководитель консультативно-диагностического отдела

Центр офтальмологии, ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна, ФМБА России, 123098, Москва, ул. Гамалеи, д. 15

Новый метод исследования микроциркуляторного русла глаза — оптическая когерентная томография-ангиография (ОКТ-А) — позволил получить новые сведения об анатомии и физиологии микроциркуляции сетчатки и диска зрительного нерва. В обзоре приводятся данные литературы о снижении перипапиллярного и макулярного кровотока при различных стадиях глаукомы. Показана корреляция этих изменений со структурными и функциональными нарушениями. Подчеркнуто, что метод ОКТ-А перспективен как в ранней диагностике глаукомы, так и при ее мониторинге.

Ключевые слова: ОКТ-ангиография, ретинальная микроциркуляция, макула, перипапиллярная сетчатка, ауторегуляция глазного кровотока.

Для цитирования: Курышева Н.И. ОКТ-ангиография и ее роль в исследовании ретинальной микроциркуляции при глаукоме (часть вторая). Российский офтальмологический журнал. 2018; 11 (3): 95-100. doi: 10.21516/2072-0076-2018-11-3-95-100

Результаты применения ОКТ-ангиографии при глаукоме. Метод оптической когерентной томографии-ангиографии (ОКТ-А) уверенно вошел в клиническую практику. Благодаря тому, что процедура сканирования является быстрой, удобной и неинвазивной, появляются все новые и новые данные об изменениях микроциркуляторного русла сетчатки и диска зрительного нерва (ДЗН) при различных формах глазной патологии, включая глаукому.

В 2014 г. Y. Jia и соавт., используя ОКТ-А, основанную на методе SSADA, сравнили индекс кровотока в ДЗН у больных с глаукомой и у здоровых лиц и выявили его достоверное снижение на 25 % при первичной открытоугольной глаукоме (ПОУГ). Они также показали хорошую воспроизводимость результатов данного метода и пришли к выводу, что он может быть использован для ранней диагностики и мониторинга глаукомы [1].

L. Liu и соавт. [2], применив метод ОКТ-А, выявили достоверное снижение как плотности сосудов в перипапиллярной сетчатке (ППС), так и индекса кровотока в ней у больных глаукомой по сравнению со здоровыми обследуемыми аналогичного возраста. Плотность сосудов ППС оказалась достоверно сниженной при глаукоме, а сам по себе этот показатель имел высокую диагностическую ценность для раннего выявления глаукомы (площадь под ROC составила 0,94). Близкие данные были получены для индекса кровотока в перипапиллярной области (Peripapillary Flow Index): площадь под ROC = 0,89. Чувствительность и специфичность для него составили 58 и 100 % соответственно, а для плотности сосудов в этой области — 83 и 91 % соответственно. Важно, что оба показателя имели высокую корреляцию с периметрическим индексом PSD (r = -0,8). Таким образом, полученные в этом исследовании данные продемонстрировали более значительную корреляцию между показателями ОКТ-А и периметрическими индексами, чем описанные в литературе данные корреляции между структурными и функциональными

© Н.И. Курышева

изменениями при глаукоме. Это может иметь важное значение для ранней диагностики заболевания.

Возможную роль ОКТ-А в мониторинге глаукомы показали в своем недавнем исследовании X. Wang и соавт. [3]. Разделив больных на группы по стадиям (в соответствии с периметрическим индексом MD), авторы обнаружили достоверное снижение как индекса кровотока, так и плотности сосудов на ДЗН в более продвинутых стадиях заболевания, а также при сравнении глаукомных больных со здоровыми обследуемыми. Важно, что оба параметра ОКТ-А имели высокую корреляцию с периметрическими индексами (MD, PSD), а также со структурными показателями (площадью невронального ободка, экскавацией ДЗН, слоя нервных волокон сетчатки (СНВС)). Но наиболее значимая связь была обнаружена с толщиной комплекса ганглиозных клеток. Авторы даже высказали предположение: снижение индекса кровотока и плотности сосудов на ДЗН могут служить прогностическим критерием истончения ганглиозных клеток сетчатки (ГКС). Тем не менее данное исследование все еще не позволяет ответить на главный вопрос: являются ли нарушения в гемодинамике ДЗН причиной или следствием глаукомного поражения, но вполне возможно, что применение такого метода, как ОКТ-А в мониторинге больных глаукомой приближает нас к ответу на этот вопрос. Авторы предполагают, что снижение индекса кровотока и плотности сосудов вторично. Но как бы то ни было, метод ОКТ-А, являясь неинвазивным и легко доступным, со временем вполне может быть введен в рутинную практику как для скрининговых обследований на глаукому, так и при мониторировании заболевания.

Примечательно, что в этом исследовании не было обнаружено корреляции новых параметров ОКТ-А (индекса кровотока и плотности перипапиллярных сосудов) ни с возрастом, ни с внутриглазным давлением (ВГД). Это относится как к здоровым, так и к больным глаукомой. Сами авторы подчеркнули, что их исследование имело ограничение ввиду того, что больные глаукомой продолжали получать местные гипотензивные препараты на момент проведения ОКТ-А, что могло повлиять на результаты.

P. Lévêque и соавт. [4] исследовали плотность микрососудистой сети ДЗН (протокол Whole En Face) и обнаружили ее снижение при глаукоме по сравнению с контрольной группой. Это различие было особенно заметным в височной области. Общая плотность сосудов ДЗН была снижена на 24,7 % (0,412 ± 0,117 против 0,547 ± 0,077, p < 0,0001) в группе с ПОУГ по сравнению с контрольной группой. Плотность сосудов ДЗН в височном секторе при глаукоме была на 22,88 % ниже, чем в контроле (0,364 ± 0,150 против 0,472 ± 0,105, p = 0,001). При этом была выявлена корреляция плотности сосудов в височном секторе с площадью нейроретинального пояска (p = 0,624; p < 0,0001), толщиной СНВС (p = 0,448; p = 0,001) и толщиной ГКС (p = 0,395; p = 0,004). Кроме того, изучаемый показатель ОКТ-А также коррелировал с периметрическим индексом MD 24-2 (p = 0,385; p = 0,007), но не с PSD 24-2 [4].

Наше исследование выявило снижение параметров ОКТ-А как в ППС, так и в ДЗН. Индекс перипапиллярного кровотока снижался при начальной глаукоме на 16,4 % (p < 0,002), а в продвинутые стадии — на 32,8 % (p < 0,02) по сравнению с контролем. Плотность сосудистого русла в ППС и внутри ДЗН уменьшалась при начальной глаукоме на 16,2 % (p < 0,001) и 9,8 % (p = 0,001), а в продвинутые стадии — на 39,6 % (p < 0,001) и 24,9 % (p < 0,001) соответственно. При начальной глаукоме были получены высокие корреляции между плотностью сосудов микроциркуляторного русла ППС и периметрическими индексами MD (r = 0,44, p < 0,001) и PSD (r = -0,42, p = 0,001). Кроме того, нами было установлено, что плотность капиллярной сети в ДЗН и ППС имела приоритет над прочими структурными и функциональными параметрами в раннем выявлении глаукомы (z-value = 3,19; p = 0,002; AUC = 0,75), а плотность капиллярной сети в нижнетемпоральном секторе ППС — в мониторинге заболевания (z-value = 5,97; p-value < 0,0001; AUC = 0,94) [5]. Позднее G. Hollo [6], проведя сравнительный анализ участков выпадения капилляров в ППС и локальных дефектов полей зрения, выявил их полное совпадение, определив наиболее высокую диагностическую и прогностическую значимость нижнетемпорального сектора перипапиллярной сетчатки.

A. Yarmohammadi и соавт. [7] в 2016 г. опубликовали работу, где подробно рассмотрели, как изменяется плотность сосудов микроциркуляторного русла при глаукоме, включая препериметрическую стадию. По данным авторов, показатель плотности суммарно в ДЗН и ППС (wiVD) снижался с 56,6 % в здоровых глазах до 46,2 % при глаукоме. Снижался также показатель плотности сосудов в ППС. В данной работе был сделан важный вывод об отсутствии зависимости плотности сосудистой сети в ДЗН от его размеров. Кроме того, авторы обнаружили, что плотность сосудов микроциркуляторного русла ДЗН и ППС имеет ту же диагностическую ценность в выявлении глаукомы, что и общепринятое измерение толщины СНВС. При этом площадь под ROC-кривой составила 0,94 для показателя wiVD, в то время как для СНВС этот показатель составил 0,92, а для размеров вертикальной экскавации ДЗН (ЭДЗН) — 0,83. Для ранней диагностики глаукомы, по мнению авторов, также наибольшую диагностическую ценность имел показатель wiVD, площадь под ROC для которого составила 0,7, в то время как для СНВС и ЭДЗН она равнялась 0,65. Ограничением этого исследования также явилось применение больными местных гипотензивных препаратов на момент проведения ангиографии. Кроме того, большинство больных глаукомой и с подозрением на это заболевание страдали гипертонической болезнью

и принимали системные гипотензивные препараты, что также, по мнению авторов, могло отразиться на результатах ОКТ-А.

Тем не менее работа A. Yarmohammadi и соавт. [7] имеет важное значение. По сути, это второе исследование после работы X. Wang и соавт. [3], где было показано, что параметры, характеризующие микроциркуляторное русло ППС, коррелируют с функциональными показателями (периметрическими индексами), независимо от корреляции с морфофункциональными (структурными) данными. Таким образом, появилось еще одно подтверждение тому, что структурные изменения могут коррелировать с функциональными через посредство циркуляторных показателей. Это важный аспект с двух точек зрения. Во-первых, подобная корреляция важна, поскольку структурные изменения, как известно, слабо коррелируют с функциональными в начальную стадию глаукомы. Во-вторых, это позволяет предположить первичность сосудистых изменений в патогенезе заболевания.

Различие в плотности капиллярной сети ППС в начальной, развитой и далекозашедшей стадии ПОУГ было показано в работе L. Geyman и соавт. [8]. Этот показатель имел высокую корреляцию как с толщиной СНВС, так и с периметрическими индексами, не уступая им в диагностической значимости.

Роль ОКТ-А с целью диагностики препериметрической стадии глаукомы была показана недавно H. Akil и соавт. [9]. Согласно их данным, плотность капиллярной сети в ДЗН и ППС позволяет с высокой достоверностью дифференцировать больных с этой стадией от здоровых лиц и от пациентов с начальной стадией ПОУГ, причем плотность капиллярной сети в ДЗН наиболее значительно коррелировала с толщиной СНВС, чем с какими-либо другими параметрами.

H. Rao и соавт. [10] провели сравнительное исследование методом ОКТ-А у больных ПОУГ и пациентов, страдающих закрытоугольной глаукомой (ЗУГ). Установлено, что значимость плотности сосудов в нижневисочных отделах ППС в диагностике заболевания сопоставима с толщиной СНВС, причем чувствительность данного параметра ОКТ-А возрастала по мере повышения тяжести глаукомы. Эти выводы были получены как в отношении ПОУГ, так и ЗУГ, что явилось неожиданными для авторов, полагавших, что при ЗУГ гемоперфузия ДЗН играет меньшую роль, чем при ПОУГ. Это можно объяснить тем обстоятельством, что, как и в прочих исследованиях, в данной работе больные продолжали применять местные гипотензивные и системные препараты. Важно также отметить, что обследованные больные глаукомой имели достаточно продвинутую стадию, судя по данным периметрических индексов, что не позволяло корректно судить о критериях ранней диагностики глаукомы.

Важную роль снижения плотности капиллярной сети именно в нижневисочном секторе ППС в диагностике глаукомы подчеркивали многие авторы [11–13]. По мнению M. Suh и соавт. [11], это может быть связано с тем, что именно в этих отделах чаще всего встречаются локальные дефекты в решетчатой мембране склеры (РМС). По мнению авторов, подобные дефекты создают условия для атрофии нервной ткани и снижения микроциркуляции. Подтверждением тому является возникновение геморрагий в нижневисочном секторе по краю ДЗН, что весьма типично для глаукомы.

В литературе высказывается мнение, что именно локальные дефекты в РМС наряду с повышением ВГД являются критическими для возникновения окклюзии капилляров как в самой мембране, так и в проходящих сквозь нее нервных волокнах [14].

H. Rao и соавт. [12] действительно обнаружили, что чем выше было ВГД на момент обследования больных глаукомой, тем меньше была плотность капиллярной сети (Vessel Density, VD) в ДЗН. Однако этот вывод не распространялся на аналогичный параметр в ППС и макуле, из чего авторы заключили, что снижение VD в этих отделах сетчатки не связано с ВГД [12].

В результате проведенных исследований мы впервые выявили приоритетность исследования плотности микроциркуляторного русла (показатель Vessel Density, VD) в макуле (фовеа и парафовеа) в диагностике глаукомы. Важно подчеркнуть, что исследование проводилось на фоне отмены местных гипотензивных препаратов. Данный показатель имел более высокую диагностическую ценность в раннем выявлении заболевания, чем VD в ДЗН и ППС (см. выше). Более того, он имел приоритет над такими важными структурными параметрами, как толщина СНВС и ганглиозного комплекса сетчатки. При этом VD макулы имел высокую корреляцию с указанными морфометрическими параметрами, а также с показателями паттерн-ЭРГ, что свидетельствует о связи функциональных расстройств при глаукоме с гемоперфузией ГКС [13]. Примечательно, что в дифференцировании начальной глаукомы от развитой важную роль играли также структурные параметры (толщина ГКС и объем фокальных потерь ГКС наряду с плотностью капиллярного русла в нижневисочном квадранте) [5, 13].

Высокую значимость ОКТ-А нижневисочного сектора обнаружили также H. Rao и соавт. [12]. Следует упомянуть, что в данном исследовании наряду с ППС и ДЗН оценивались параметры ОКТ-А в макулярной области, которые, по мнению авторов, уступали по своей диагностической значимости аналогичным показателям в ДЗН и ППС. По данным авторов, площадь под кривой ROC для плотности сосудов ДЗН варьировала от 0,59 (в верхненазальном секторе) до 0,73 (средняя плотность внутри ДЗН), для ППС — от 0,70 (назальный, верхний назальный и височный сектора) до 0,89 (нижний височный сектор), для макулярной области эти данные колебались от 0,56 (назальный сектор) до 0,64 (височный сектор). В целом AUC для плотности сосудов суммарно в ДЗН

и ППС была 0,9 (0,81–0,95), а для плотности сосудов суммарно в фовеа и парафовеа AUC была 0,69 (0,56–0,79). Таким образом, эти данные противоречат результатам, полученным в нашем исследовании. Это противоречие мы объясняем тем, что в анализируемой работе больные глаукомой имели главным образом развитую стадию заболевания и продолжали закапывать местные гипотензивные препараты, что могло повлиять на результаты [12].

Ценность исследования плотности капиллярной сети в макуле, тем не менее, была показана другими авторами. Наблюдая за пациентами более года, T. Shoji с соавт. [15] заметили, что плотность капиллярной сети снижалась особенно значительно у больных глаукомой по сравнению со здоровыми лицами или с теми, у кого имелось подозрение на глаукому. Примечательно, что выпадение капиллярной сети во внутренних слоях макулы было замечено даже у тех больных, у кого толщина макулярной сетчатки оставалась неизменной [15]. Это первое исследование, в котором показано, что ОКТ-А может быть использована для динамического наблюдения за больными. Авторы подчеркивают важность получения достоверного сигнала сканирования на всех этапах обследования больного, что повышает надежность этого динамического наблюдения.

N. Scripsema и соавт. [16] впервые провели сравнительный анализ ценности ОКТ-А при ПОУГ и глаукоме нормального давления (ГНД). Интересно, что при ПОУГ плотность капиллярной сети в ППС оказалась достоверно более низкой, чем при ГНД, что авторы объяснили большим количеством местных гипотензивных препаратов (особенно бета-блокаторов, которые влияют на глазную гемоперфузию), применяемых больными глаукомой повышенного давления по сравнению с ГНД. Примечательно, что ВГД у них на момент исследования все равно было выше, чем в группе ГНД и контроле. Влияния повышенного ВГД на результаты ОКТ-А авторы не отрицали, однако его они не исследовали. В этой работе была получена высокая корреляция параметров ОКТ-А с морфометрическими характеристиками, такими как толщина СНВС. Таким образом, в данной работе оказалось особенно заметным, что применение местных гипотензивных препаратов во время исследования может влиять на результаты ОКТ-А и на выводы, которые делаются авторами.

В отличие от предыдущей работы, K. Bojikian и соавт. [17], проведя оптическую микроангиографию (ОМАГ) по методу, разработанному авторами, не нашли различий в кровоснабжении ДЗН между ПОУГ и ГНД. В глаукомных глазах гемодинамика была значительно снижена в преламинарной части ДЗН ($p < 0,0001$) по сравнению с нормой. Периметрические индексы MD, PSD были сопоставимы в группах ПОУГ и ГНД. Обнаружена достоверная корреляция между уровнем кровоснабжения ДЗН и периметрическими индексами и площадью нейроретинального ободка в обеих группах больных глаукомой ($p \leq 0,029$). Однако связь кровоснабжения ДЗН со структурными параметрами (СНВС, площадь нейроретинального ободка) установлена только при ПОУГ, но не при ГНД [17].

Многие авторы задавались вопросом о связи циркуляторных показателей со структурными [18–21]. Этот вопрос закономерен, поскольку сетчатка является наиболее энергозатратной структурой организма. Уже давно замечено, что и в норме меньшему калибру ее сосудов соответствовала меньшая толщина СНВС [22], макулы и меньшие размеры ДЗН [23].

J. Yu и соавт. [24], обследуя молодых здоровых добровольцев (121 глаз), проследили корреляцию между толщиной сетчатки в различных ее отделах и плотностью сосудистой сети (VD) в них. Оказалось, что чем тоньше парафовеальная зона, тем ниже значения VD, причем корреляция прослеживалась только с толщиной внутренней сетчатки (от внутренней пограничной мембраны до наружного края внутреннего плексиформного слоя), но не с наружной сетчаткой. Площадь фовеальной аваскулярной зоны имела обратную связь с толщиной всей фовеальной сетчатки и ее внутренних слоев ($p < 0,001$). К аналогичному заключению пришли другие авторы [25, 26]. Толщина СНВС имела прямую связь с VD в радиальном перипапиллярном плексусе, что отмечалось в разных работах [27, 28].

E. Lee и соавт. [29] определили не только высокую корреляцию между плотностью сосудистой сети и толщиной СНВС, но и их совпадение по локализации. На основании этого был сделан вывод о том, что запустевание (окклюзия) капилляров при глаукоме является следствием атрофии нервной ткани. Впрочем, сами авторы признали, что этот вывод может оказаться преждевременным: для того чтобы понять, что первично при глаукоме — сосудистые расстройства или прочие факторы, приводящие к атрофии ГКС и их аксонов, — потребуется еще много исследований.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, из приведенных данных литературы следует, что к настоящему времени накоплено много данных о раннем вовлечении микроциркуляторного русла сетчатки, особенно ее макулярной области, в патологический процесс при глаукоме. По мере совершенствования диагностических технологий появляются новые факты, убедительно свидетельствующие о раннем снижении ретинальной гемоперфузии, которое опережает как структурные, так и функциональные расстройства при глаукоме, исследуемые классическими способами: ОКТ и периметрией. Имеющиеся в литературе противоречия на этот счет могут быть объяснены различным дизайном исследований, в частности тем, что при отборе пациентов недостаточно учитывались

сопутствующие сердечно-сосудистые заболевания и применение ими системных и местных гипотензивных препаратов. Следует также иметь в виду, что метод ОКТ-А не дает информации о кровотоке как таковом, не позволяя измерить ни его скорость, ни сопротивление кровотоку. В то же время это удобный метод оценки структурных изменений, использование которого наряду с классическими морфометрическими и функциональными методами позволит лучше понять патогенез глаукомы.

Конфликт интересов: отсутствует.

Прозрачность финансовой деятельности: автор не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

Литература/References

1. *Jia Y., Wei E., Wang X., et al.* Optical coherence tomography angiography of optic disc perfusion in glaucoma. Ophthalmology. 2014; 121 (7): 1322–32. doi.org/ 10.1016/j.ophtha.2014.01.021
2. *Liu L., Jia Y., Takusagawa H.L., et al.* Optical coherence tomography angiography of the peripapillary retina in glaucoma. JAMA Ophthalmol. 2015; 133 (9): 1045–52. doi.org/10.1001/jamaophthalmol.2015.2225
3. *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): 1557–64. doi.org/10.1007/s00417-015-3095-y
4. *Lévêque P.M., Zéboulon P., Brasnu E., Baudouin C., Labbé A.* Optic disc vascularization in glaucoma: value of spectral-domain optical coherence tomography angiography. J. Ophthalmol. 2016; 2016: 6956717. doi.org/10.1155/2016/6956717
5. *Курышева Н.И., Маслова Е.В., Трубилина А.В., Лагутин М.Б.* Роль оптической когерентной томографии с функцией ангиографии в ранней диагностике и мониторинге глаукомы. Национальный журнал глаукома. 2016; 14 (2): 20–32.
Kurysheva N.I., Maslova E.V., Trubilina A.V., Lagutin M.B. Role of OCT with angiography function in the early diagnostics and monitoring of glaucoma. Natsional'ny zhurnal glaucoma. 2016; 14 (2): 20–32 (in Russian).
6. *Hollo G.* Relationship between optical coherence tomography sector peripapillary angioflow-density and Octopus visual field cluster mean defect values. PLoS ONE. 2017. 12 (2): e0171541. doi:10.1371/journal.pone.0171541
7. *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): 451–9. doi.org/10.1167/iovs.15-18944
8. *Geyman L.S., Garg R.A., Suwan Y., et al.* Peripapillary perfused capillary density in primary open-angle glaucoma across disease stage: an optical coherence tomography angiography study. Br. J. Ophthalmol. 2017; 101 (9): 1261–8. doi: 10.1136/bjophthalmol-2016-309642
9. *Akil H., Huang A.S., Francis B.A., Sadda S.R., Chopra V.* Retinal vessel density from optical coherence tomography angiography to differentiate early glaucoma, pre-perimetric glaucoma and normal eyes. PLoS ONE. 2017; 12 (2): e0170476. doi:10.1371/journal.pone.0170476
10. *Rao H.L., Pradhan Z.S., Weinreb R.N., et al.* Diagnostic ability of peripapillary vessel density measurements of optical coherence tomography angiography in primary open-angle and angle-closure glaucoma. Br. J. Ophthalmol. 2016; Nov. 29. pii: bjophthalmol-2016-309377. doi.org/10.1136/bjophthalmol-2016-309377
11. *Suh M.H., Zangwill L.M., Manalastas P.I., et al.* Optical coherence tomography angiography vessel density in glaucomatous eyes with focal lamina cribrosa defects. Ophthalmology. 2016; 123 (11): 2309–17. doi.org/10.1016/j.ophtha.2016.07.023
12. *Rao H.L., Pradhan Z.S., Weinreb RN., et al.* Regional comparisons of optical coherence tomography angiography vessel density in primary open-angle glaucoma. Am. J. Ophthalmol. 2016; 171: 75–83. doi.org/10.1016/j.ajo.2016.08.030
13. *Kurysheva N.I.* Macula in glaucoma: vascularity evaluated by OCT angiography. Res. J. Pharmaceutical, Biological and Chemical Sci. 2016; 7 (5): 651–62
14. *Burgoyne C.F., Downs J.C., Bellezza A.J., Suh J.K., Hart R.T.* The optic nerve head as a biomechanical structure: a new paradigm for understanding the role of IOP-related stress and strain in the pathophysiology of glaucomatous optic nerve head damage. Prog. Retin. Eye Res. 2005; 24 (1): 39–73. doi.org/10.1016/j.preteyeres.2004.06.001
15. *Shoji T., Zangwill L.M., Akagi T., et al.* Progressive Macula Vessel Density Loss in Primary Open-Angle Glaucoma: A Longitudinal Study. Am J Ophthalmol. 2017; 182: 107–117. doi: 10.1016/j.ajo.2017.07.011
16. *Scripsema N.K., Garcia P.M., Bavier R.D., et al.* Optical coherence tomography angiography analysis of perfused peripapillary capillaries in primary open-angle glaucoma and normal-tension glaucoma. Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. 2016; 57 (9): 611–20. doi.org/10.1167/iovs.15-18945
17. *Bojikian K.D., Chen C.-L., Wen J.C., et al.* Optic disc perfusion in primary open angle and normal tension glaucoma eyes using optical coherence tomography-based microangiography. PLoS One. 2016; 11 (5): e0154691. doi.org/ 10.1371/journal.pone.0154691
18. *Costa V.P., Harris A., Anderson D., et al.* Ocular perfusion pressure in glaucoma. Acta Ophthalmol. 2014; 92: e252–e266. doi.org/10.1111/aos.12298
19. *Sehi M., Goharian I., Konduru R., et al.* Retinal blood flow in glaucomatous eyes with single-hemifield damage. Ophthalmology. 2014; 121 (3): 750–8. doi.org/10.1016/j.ophtha.2013.10.022
20. *Falsini B., Anselmi G.M., Marangoni D., et al.* Subfoveal choroidal blood flow and central retinal function in retinitis pigmentosa. Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. 2011; 52 (2): 1064–9. doi.org/10.1167/iovs.10-5964
21. *Zeitz O., Galambos P., Wagenfeld L., et al.* Glaucoma progression is associated with decreased blood flow velocities in the short posterior ciliary artery. Br. J. Ophthalmol. 2006; 90 (10): 1245–8. doi.org/10.1136/bjo.2006.093633
22. *Zheng Y., Cheung N., Aung T., et al.* Relationship of retinal vascular caliber with retinal nerve fiber layer thickness: the Singapore Malay Eye Study. Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. 2009; 50 (9): 4091–6. doi.org/10.1167/iovs.09-3444
23. *Cheung N., Huynh S., Wang J.J., et al.* Relationships of retinal vessel diameters with optic disc, macular and retinal nerve fiber layer parameters in 6-year-old children. Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. 2008; 49 (6): 2403–8. doi.org/10.1167/iovs.07-1313
24. *Yu J., Gu R., Zong Y., et al.* Relationship between retinal perfusion and retinal thickness in healthy subjects: an optical coherence tomography angiography study. Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. 2016; 57 (9): 204–10. doi.org/10.1167/iovs.15-18630
25. *Chui T.Y.P., Zhong Z., Song H., Burns S.A.* Foveal avascular zone and its relationship to foveal pit shape. Optometry Vision Sci. 2012; 89 (5): 602–10.
26. *Tick S., Rossant F., Ghorbel I., et al.* Foveal shape and structure in a normal population. Invest Ophthalmol. Vis. Sci. 2011; 52 (8): 5105–10. doi.org/10.1167/iovs.10-7005
27. *Tham Y.C., Cheng C.Y., Zheng Y., et al.* Relationship between retinal vascular geometry with retinal nerve fiber layer and ganglion cell-inner plexiform layer in nonglaucomatous eyes. Invest Ophthalmol Vis Sci. 2013; 54 (12): 7309–16. doi.org/10.1167/iovs.13-12796
28. *Yu P.K., Cringle S.J., Yu D.* Correlation between the radial peripapillary capillaries and the retinal nerve fibre layer in the normal human retina. Exp. Eye Res. 2014; 129: 83–92. doi.org/10.1016/j.exer.2014.10.020
29. *Lee E.J., Lee K.M., Lee S.H., Kim T.-W.* OCT-angiography of the peripapillary retina in primary open-angle glaucoma. Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. 2016; 57 (14): 6265–70. doi.org/10.1167/iovs.16-20287

Поступила: 10.11.2017

OCT angiography and its role in the study of retinal microcirculation in glaucoma (part two)

N.I. Kurysheva — Dr. Med. Sci., Professor, head of consultative and diagnostic department

A.I. Burnazyan Ophthalmological Center, 15, Gamalei St., Moscow, 123098, Russia
e-natalia@list.ru

A new diagnostic method of ocular microcirculatory bloodstream – optical coherence tomography angiography (OCTA) has helped obtain new information on the anatomy and physiology of microcirculatory bloodstream of the retina and the optic disc. The review provides literary data on the reduction in peripapillary and macular blood flow in various glaucoma stages. These changes are shown to correlate with structural and functional disorders. It is emphasized that OCTA is a prospective method for early detection of glaucoma and for glaucoma monitoring.

Keywords: OCT angiography, retinal microcirculation, macula, peripapillary retina, ocular blood flow autoregulation.

For citation: Kurysheva N.I. OCT angiography and its role in the study of retinal microcirculation in glaucoma (part two). Russian ophthalmological journal. 2018; 11 (3): 95–100 (In Russian). doi: 10.21516/2072-0076-2018-11-3-95-100

Conflict of interests: there is no conflict of interests.

Financial disclosure: No author has a financial or property interest in any material or method mentioned.

Для контактов: Курышева Наталия Ивановна
E-mail: e-natalia@list.ru