

<https://doi.org/10.34883/PI.2025.15.4.027>



Юсеф Ю., Казарян Э.Э. ✉

Научно-исследовательский институт глазных болезней имени М.М. Краснова,
Москва, Россия

Состояние хориоидеи при первичной открытоугольной глаукоме по данным оптической когерентной томографии-ангиографии. Обзор

Конфликт интересов: не заявлен.

Вклад авторов: Юсеф Ю. – научное редактирование; Казарян Э.Э. – поиск источников информации, написание текста.

Подана: 08.09.2025

Принята: 10.11.2025

Контакты: elina-kazaryan@mail.ru

Резюме

Статья представляет собой обзор исследований, посвященных вопросу связи состояния хориоидеи с первичной открытоугольной глаукомой (ПОУГ) по данным оптической когерентной томографии-ангиографии. Данные оптической когерентной томографии-ангиографии (ОКТ-А) предоставляют убедительные доказательства того, что ПОУГ является заболеванием, затрагивающим не только диск зрительного нерва и сетчатку, но и хориоидею. Снижение перфузии и толщины хориоидеи является постоянным спутником ПОУГ, тесно коррелирует со стадией заболевания и вносит значительный вклад в патогенез ишемии и прогрессирующей нейродегенерации. Данные подтверждают доказательность наблюдений, касающихся истончения хориоидеи, в то время как более ранние и последние исследования подчеркивают чрезвычайную важность оценки именно перфузии хориокапилляров, которая может быть более чувствительным маркером. Временная взаимосвязь изменений сосудистой перфузии и истончения сетчатки ганглиозных клеток и их аксонов до сих пор остается в значительной степени неясной, дальнейшие исследования в этом направлении смогут прояснить хронологическую последовательность событий при каждом подтипе глаукомы. Оценка хориоидеи при помощи ОКТ-А открывает новые перспективы для ранней диагностики, мониторинга прогрессирования и оценки эффективности лечения ПОУГ. Для внедрения этих параметров в рутинную клиническую практику необходимы дальнейшая стандартизация методов измерения и проведение долгосрочных проспективных исследований.

Ключевые слова: первичная открытоугольная глаукома, ОКТ-А, хориоидея, сосудистая плотность, поверхностное сосудистое сплетение, глубокое поверхностное сплетение

Yusef Yu., Kazaryan E. ✉

M.M. Krasnov Research Institute of Eye Diseases, Moscow, Russia

Choroid in Primary Open-Angle Glaucoma According to Optical Coherence Tomography-Angiography. Review

Conflict of interest: nothing to declare.

Authors' contribution: Yusef Yu. – scientific editing; Kazaryan E. – searching for information sources, writing text.

Submitted: 08.09.2025

Accepted: 10.11.2025

Contacts: elina-kazaryan@mail.ru

Abstract

The article is a review of studies devoted to the issue of the choroid in primary open-angle glaucoma according to optical coherence tomography angiography. OCT angiography data provide convincing evidence that primary open-angle glaucoma is a disease affecting not only the optic nerve head and retina, but also the choroid. Decreased perfusion and thickness of the choroid is a constant companion of POAG, closely correlates with the stage of the disease and probably makes a significant contribution to the pathogenesis of ischemia and progressive neurodegeneration. Data confirm the evidence of observations regarding choroidal thinning, while earlier and recent studies emphasize the extreme importance of assessing the perfusion of the choriocapillaries, which may be a more sensitive marker. The temporal relationship between changes in vascular perfusion and structural thinning of the retinal ganglion cells and their axons is still largely unclear, and further studies in this direction may help to clarify the chronological sequence of events in each glaucoma subtype. OCT-A choroidal assessment opens new perspectives for early diagnosis, monitoring of progression, and evaluation of treatment efficacy in POAG. Further standardization of measurement methods and long-term prospective studies are needed to implement these parameters into routine clinical practice.

Keywords: primary open-angle glaucoma, OCT-A, choroid, vascular density, superficial vascular plexus, deep superficial plexus

■ ВВЕДЕНИЕ

Глаукома – это многофакторная оптическая нейропатия, которая остается основной причиной необратимой потери зрения [1] и традиционно рассматривается как нейродегенеративное заболевание, характеризующееся прогрессирующей потерей ганглиозных клеток сетчатки и их аксонов. Повышенное внутриглазное давление (ВГД) является наиболее значимым фактором риска развития глаукомы и представляет собой основную терапевтическую цель для лекарственных препаратов, лазерной терапии или хирургического вмешательства. Тем не менее глаукома может прогрессировать, несмотря на значения ВГД в пределах статистически нормального диапазона, как это наблюдается при первичной открытоугольной глаукоме (ПОУГ), несмотря на лечение, и при глаукоме нормального



давления (НТГ) – подтипе глаукомы, при котором без лечения ВГД не превышает 21 мм рт. ст. В настоящее время известно, что патогенез глаукомы обуславливают факторы, не зависящие от ВГД. Было высказано предположение о роли сосудистого компонента, подтверждаемое данными, свидетельствующими о нарушении сосудистой регуляции и снижении ретробульбарного кровотока, особенно при фенотипе глаукомы нормального давления. Подобные исследования связывают глаукому с уменьшением капиллярного кровотока в ногтевом ложе, синдромом Рейно и мигренью, а также с другими факторами [2]. Ранее исследования продемонстрировали корреляцию глаукомного поражения со снижением перфузии диска зрительного нерва при использовании таких методов, как лазерная доплеровская флоуметрия, цветное доплеровское картирование и флуоресцентная ангиография [3–5]. В последние годы накоплены данные, свидетельствующие о важной роли сосудистых факторов в патогенезе ПОУГ. Наряду с нарушением кровоснабжения в структурах переднего отрезка глаза и диска зрительного нерва, все большее внимание исследователей привлекает хориоидея – высокоvascularизированная оболочка, отвечающая за питание наружных слоев сетчатки, пигментного эпителия и частично диска зрительного нерва.

Появление оптической когерентной томографии-ангиографии (ОКТ-А) предложило новый неинвазивный метод визуализации, позволяющий оценивать и количественно определять сосудистую сеть сетчатки и хориоидеи. Благодаря ОКТ-сканированию в одном и том же анатомическом участке возможно оценивать кровоток и визуализировать поверхностное и глубокое сосудистые сплетения сетчатки (SVP и DVP), а также хориокапилляры [6]. ОКТ-ангиография также позволяет охарактеризовать сосудистую сеть диска зрительного нерва и количественно оценить перипапиллярные перфузионные капилляры сетчатки (pRPC), составляющие самый внутренний слой капилляров и расположенные в слое нервных волокон сетчатки (NFL). ОКТ-ангиография превосходит разрешающую способность ранее доступных методов, которые были ограничены визуализацией только крупных сосудов сетчатки. Новые разработанные алгоритмы сделали возможным количественную оценку сосудистой плотности (VD) макулы и диска зрительного нерва. ОКТ-ангиография предоставила возможность визуализировать сосудистые сплетения сетчатки с высокой степенью детализации [7]. Jia Y. и соавт. были первыми, кто использовал ОКТ-ангиографию для оценки кровотока в диске зрительного нерва и выявил нарушение сосудистой плотности макулы и диска зрительного нерва у пациентов с глаукомой [8]. Другие исследования также представили доказательства снижения сосудистой плотности у пациентов с первичной открытоугольной и нормотензивной глаукомой [9–11].

Таким образом, появление ОКТ-А – неинвазивного, быстрого и высокоразрешающего метода визуализации – дало возможность анализировать хориоидальную микроциркуляцию. В отличие от флуоресцентной ангиографии, ОКТ-А не требует введения контрастного вещества, а по сравнению с традиционной ОКТ, при которой измеряется только толщина, позволяет качественно и количественно оценить сосудистую плотность, то есть, по существу, перфузию хориоидеи.

Результаты исследований хориоидеи при первичной открытоугольной глаукоме по данным ОКТ-А

Многочисленные исследования, проведенные с помощью ОКТ-А, выявили изменения хориоидальной перфузии и толщины хориоидеи у пациентов с открытоугольной глаукомой по сравнению со здоровыми лицами.

Снижение хориоидальной перфузии (сосудистой плотности). Данные исследований указывают на статистически значимое снижение показателей перфузии в хориокапиллярном слое у пациентов с первичной открытоугольной глаукомой. В области под макулой площадь перфузии хориокапилляров (Choriocapillaris Flow Area) и индекс васкуляризации хориоидеи (Choroidal Vascularity Index) достоверно снижены у пациентов с первичной открытоугольной глаукомой. Причем это снижение коррелирует со стадией заболевания. В частности, было показано, что сосудистая плотность хориокапилляров была значительно снижена в макулярной области у пациентов с ПОУГ по сравнению с контрольной группой, и это снижение было более выраженным в глазах с меньшей толщиной перипапиллярного слоя нервных волокон сетчатки (pRNFL) [12]. Dastiridou A. и соавт. изучали с помощью ОКТ-ангиографии сетчатку и хориоидею в области макулы у пациентов с первичной открытоугольной глаукомой и нормотензивной глаукомой по сравнению с контрольной группой и продемонстрировали, что имеет место снижение сосудистой плотности (VD) как в поверхностном (SVP), так и в глубоком сосудистых сплетениях (DVP) при обоих видах глаукомы [13]. Это подчеркивает наличие сосудистых изменений, происходящих при первичной открытоугольной и нормотензивной глаукоме, по сравнению со здоровым глазом. Плотность поверхностного сосудистого сплетения – это параметр, характеризующий плотность перфузируемых капилляров, питающих самую внутреннюю часть сетчатки. В других исследованиях, представленных в литературе, также количественно определяли плотность поверхностного сосудистого сплетения. Mursch Edlmayer и соавт. исследовали поверхностную плотность перфузии в центральной 3 мм зоне макулы с помощью ОКТ-А и не обнаружили различий между нормотензивной глаукомой и глаукомой высокого давления [14, 15]. Ху и соавт. обнаружили, что общая сосудистая плотность была ниже как при глаукоме высокого давления, так и при нормотензивной глаукоме [11]. Сосудистую плотность в этом исследовании измеряли для всей сетчатки – от внутренней пограничной мембраны до ретинального пигментного эпителия. В исследовании Lommatzsch С. и соавт. сравнивалась сосудистая плотность поверхностного и глубокого сосудистых сплетений у пациентов с первичной открытоугольной глаукомой, нормотензивной и псевдоэксфолиативной глаукомой, различий не было обнаружено [15]. Наконец, основываясь на своих результатах, Shen R. и соавт. предположили, что макулярная сосудистая плотность, рассчитанная по изображениям ОКТ-А с помощью специализированного программного обеспечения, может быть важным биомаркером глаукомы [16]. Авторы сообщили, что увеличение макулярной сосудистой плотности коррелировало с ранним сужением центрального поля зрения. Другие параметры, такие как характер ветвления и площадь фовеолярной аваскулярной зоны, по-видимому, менее информативны [17]. Большинство исследований при глаукоме были сосредоточены на измерениях поверхностного, а не глубокого сосудистого сплетения, которое характеризует более глубокую капиллярную сеть, расположенную под внутренним ядерным слоем и кровоснабжаемую через вертикальные анастомозы из поверхностного сосудистого

сплетения [18]. Примечательно, что в более ранних исследованиях не удалось дифференцировать сосудистую плотность поверхностного и глубокого сосудистых сплетений. Однако недавно стало ясно, что сосудистая плотность глубокого сосудистого сплетения также может нести важную информацию относительно различных видов глаукомы. Развитие алгоритмов ОКТ-А способствовало точной количественной оценке состояния ретинального микрососудистого русла, причем с более надежными результатами, особенно для глубоких слоев [19]. Важно, что была описана связь снижения сосудистой плотности глубокого сосудистого сплетения с более высоким риском снижения показателей периметрии, что подтверждает роль глубокого сосудистого сплетения как раннего биомаркера сужения поля зрения [20].

Более того, низкая сосудистая плотность глубокого сосудистого сплетения стала независимым фактором риска развития центральной скотомы, помимо структурных показателей на ОКТ у пациентов с нормотензивной глаукомой [21]. Параметр плотности глубокого сосудистого сплетения, выявляемый с помощью ОКТ-А, коррелировал как со слоем нервных волокон и ганглиозным слоем на ОКТ, так и с данными FDT-периметрии. Таким образом, наблюдалась тесная связь между перфузией в поверхностном сосудистом слое и параметрами толщины, определяемой на ОКТ как в макуле, так и в диске зрительного нерва, и функциональными периметрическими изменениями. У пациентов с более поздней стадией глаукомы также было отмечено уменьшение капилляров в глубоком поверхностном сплетении. Kim J.-S. и соавт. [22] исследовали глаза с подозрением на глаукому и на ранней стадии нормотензивной глаукомы и обнаружили, что секторальные изменения макулярной сосудистой плотности показали наличие значительных топографических корреляций с соответствующей толщиной макулы во внутреннем плексиформном слое ганглиозных клеток, а также соответствующей толщиной нервных волокон в папиллярной зоне. Сосудистая плотность поверхностного сосудистого сплетения коррелировала с толщиной внутреннего слоя сетчатки в исследовании Jeon и соавт., но сосудистая плотность глубокого сосудистого сплетения не показала никакой связи с данными ОКТ у пациентов с нормотензивной глаукомой и парафовеолярной скотомой [21]. В этом исследовании сосудистая плотность глубокого сосудистого сплетения в значительной степени коррелировала с периметрией.

В исследовании Dastiridou A. [13] была обнаружена корреляция между состоянием глубокого сосудистого сплетения и комплексом ганглиозных клеток сетчатки (GCC), слоем нервных волокон (NFL) и MD в группе первичной открытоугольной глаукомы. Следовательно, существует связь между снижением сосудистой плотности, истончением комплекса ганглиозных клеток сетчатки и уменьшением MD, но авторы отмечают, что поперечный дизайн исследования не может дать более подробного представления о хронологической последовательности событий. Onishi A.C. и соавт. сообщили, что уменьшение как макулярной, так и перипапиллярной сосудистой плотности предшествовало значительному повреждению комплекса ганглиозных клеток сетчатки и слоя нервных волокон сетчатки на ранней стадии глаукомы [23]. Фактически уменьшение толщины хориоидеи и уменьшение сосудистой плотности были обнаружены в периметрически нормальных полуполях зрения глаз с нормотонической глаукомой [24]. В настоящее время считается, что ОКТ-ангиография может дополнять ОКТ и VF.

Были изучены возможные различия в слое хориокапилляров у пациентов с нормотензивной глаукомой, первичной открытоугольной глаукомой и у здоровых лиц, притом что исследования хориоидеи при глаукоме ограничены. Хориоидальный кровоток измерялся косвенно, и такие параметры, как толщина хориоидеи и индекс васкуляризации хориоидеи, использовались в качестве косвенных показателей кровотока. Толщина хориоидеи представляет собой толщину всей хориоидеи, а не только самого внутреннего слоя хориокапилляров. В исследовании измерение сосудистой плотности проводилось в небольшом слое, содержащем слой хориокапилляров [13]. Wang Y.M. и соавт. использовали ОКТ для характеристики сосудистой оболочки в области макулы у большой группы пациентов с нормотензивной глаукомой и в контрольной группе [25]. Авторы проанализировали толщину и индекс васкуляризации хориоидеи и обнаружили, что этот индекс в слое Галлера, который является частью сосудистой оболочки и вмещает крупные сосуды, снижен по сравнению со здоровыми глазами и коррелирует со степенью тяжести глаукомы. Таким образом, авторы пришли к выводу, что слой Галлера в большей степени, чем хориокапилляры или слой Саттлера, поражается при нормотензивной глаукоме. В другом исследовании авторы сообщили о более низком индексе васкуляризации хориоидеи у пациентов с первичной открытоугольной глаукомой по сравнению с контрольной группой [26]. Лишь в нескольких исследованиях сообщалось о сосудистой плотности хориокапилляров при глаукоме с помощью ОКТ-визуализации. Terelius и соавт. использовали SS-ОКТ для визуализации у пациентов с нормотензивной глаукомой и здоровых лиц. Было обнаружено, что при нормотензивной глаукоме имела место более низкая плотность перфузии хориокапилляров, а также более низкая сосудистая плотность поверхностного сосудистого сплетения и плотность длины перипапиллярных сосудов по сравнению с нормальными глазами [27]. Cennamo и соавт. также сравнивали данные при периметрической глаукоме, запущенной глаукоме и у лиц контрольной группы [28]. Авторы использовали улучшенную глубинную визуализацию – OCT-EDI и OCT – и обнаружили, что сосудистая плотность хориокапилляров была снижена у пациентов с глаукомой по сравнению с лицами контрольной группы. В исследовании Dastiridou A. [13] изучали слой хориокапилляров с помощью спектральной OCT. Авторы не обнаружили никакой разницы между группами первичной открытоугольной и нормотензивной глаукомы. Кроме того, не было выявлено связи между сосудистой плотностью хориокапилляров и структурными параметрами OCT, MD или поверхностным и глубоким сосудистыми сплетениями. Cheng и соавт. сообщили о своих результатах крупного исследования при отсутствии глаукомы и обнаружили отрицательную корреляцию между процентом дефицита кровотока в хориокапиллярах (FD%), данными SS-ОСТА и внутренним плексиформным слоем ганглиозных клеток сетчатки. Это означает, что менее плотная хориоидальная микроциркуляция связана с меньшей толщиной внутреннего слоя сетчатки [29]. Данные были подтверждены как в поперечном, так и в продольном исследовании и показали, что более быстрое истончение периферической части хориокапилляров (FD%) достоверно связано с более высоким риском нейродегенерации внутренней сетчатки. Следовательно, необходимы дополнительные исследования, чтобы лучше охарактеризовать информацию, которую несет сосудистая плотность хориокапилляров, и связь сосудистой плотности хориокапилляров с различными типами глаукомы. Показатели толщины нервных волокон и слоя ганглиозных клеток сетчатки при определении с помощью OCT были одинаково меньше



у пациентов с глаукомой по сравнению с контрольной группой. Это ожидаемо, поскольку снижение толщины нервных волокон и слоя ганглиозных клеток сетчатки связано с глаукомной оптической нейропатией и апоптозом нервной ткани [30]. Это особенно важно, поскольку стадирование глаукомы основано на данных периметрии, а структурные параметры могут изменяться с прогрессированием заболевания [31]. В соответствии с этим важно, что в исследовании Dastiridou A. [13] группы с первичной открытоугольной глаукомой и нормотензивной глаукомой имели схожие показатели ОКТ, помимо аналогичных значений MD, что делает две группы схожими при их сравнении в отношении микроциркуляции. Однако в данном исследовании были относительно небольшая выборка и вариабельный состав противоглаукомных препаратов. Все пациенты с глаукомой получали местную терапию на момент измерений и имели ВГД в пределах нормы.

В работе Rao H.L. и соавт. [12] была проведена оценка сосудистой плотности хориокапилляров в макуле у пациентов с ПОУГ и у пациентов с подозрением на глаукому. Участники были обследованы с помощью ОКТ-A на приборе AngioVue (Avanti RTVue XR; Optovue). Сосудистая плотность хориокапилляров была автоматически рассчитана прибором в кольцевой зоне диаметром 1–3 мм. Плотность потока хориокапилляров (FD) была достоверно ниже в группе с первичной открытоугольной глаукомой и в группе с подозрением на глаукому по сравнению с контрольной группой. Плотность потока также была значительно ниже в группе первичной открытоугольной глаукомы по сравнению с группой с подозрением на глаукому. В объединенной группе пациентов (первичная открытоугольная глаукома + подозрение на глаукому) была выявлена слабая, но статистически значимая положительная корреляция между плотностью потока хориокапилляров и толщиной слоя нервных волокон сетчатки (RNFL).

Плотность потока хориокапилляров в макуле, измеренная с помощью ОКТ-A, значительно снижена как у пациентов с ПОУГ, так и у пациентов с подозрением на глаукому по сравнению со здоровыми субъектами. Наблюдаемая слабая корреляция с параметрами структурного и функционального повреждения предполагает, что снижение плотности потока хориокапилляров может быть частью сложного патофизиологического процесса при глаукоме. Это исследование демонстрирует, что ухудшение кровотока в самых мелких сосудах сосудистой оболочки глаза (хориокапиллярах) в центральной области сетчатки наблюдается не только при явной глаукоме, но уже и на самой ранней, досимптомной стадии заболевания (подозрение на глаукому). Это подтверждает теорию о том, что сосудистые нарушения являются важным компонентом в развитии глаукомы и могут происходить параллельно с повреждением зрительного нерва.

В работе Hollo G. и соавт. представлено, что при глаукоме в перипапиллярной хориоиде, кровоснабжающей преламинарную и ламинарную части ДЗН, имеет место снижение перфузии. Это особенно важно, так как ишемия этой области может напрямую способствовать повреждению аксонов ганглиозных клеток. Была подробно изучена и описана эта зона с помощью ОКТ-A, и подтверждено, что перипапиллярная перфузия хориоидеи значительно снижена у пациентов с первичной открытоугольной глаукомой, и это снижение не зависело от толщины хориоидеи, что указывает на существенность и необходимость оценки не только морфологической характеристики хориоидеи, но и ее перфузии [32].

Изменения толщины хориоидеи. Данные о толщине хориоидеи менее однозначны, чем данные о состоянии перфузии хориоидеи, но большинство исследований склоняются к ее уменьшению при первичной открытоугольной глаукоме.

Так, субфовеолярная толщина хориоидеи у пациентов с глаукомой имеет тенденцию к уменьшению по сравнению с контрольной группой. Это истончение также коррелирует с тяжестью глаукомного повреждения.

Перипапиллярная толщина хориоидеи также снижена. В метаанализе Hysa и соавт. обобщены данные множества работ. Выводы авторов подтверждают, что как перипапиллярная, так и макулярная толщина хориоидеи достоверно уменьшены у пациентов с первичной открытоугольной глаукомой по сравнению со здоровыми субъектами. Это указывает на то, что глаукомный процесс затрагивает всю заднюю часть глаза, а не только перипапиллярную область [33]. Важно отметить, что в некоторых исследованиях утверждается, что истончение хориоидеи может предшествовать выраженным структурным изменениям диска зрительного нерва, а это потенциально позволяет рассматривать такой показатель как ранний биомаркер глаукомы.

Снижение перфузии и толщины хориоидеи при первичной открытоугольной глаукоме может быть объяснено несколькими механизмами [33]:

- наличием общей системной васкулопатии, поскольку первичная открытоугольная глаукома часто ассоциирована с системными сосудистыми нарушениями (артериальная гипертензия, гипотензия, мигрень). Эти же факторы могут вызывать вазоконстрикцию и ремоделирование хориоидальных сосудов;
- повышением ВГД. Хотя хориоидея является высокоперфузируемой оболочкой, хронически повышенное внутриглазное давление может обуславливать механическое сдавление хориоидальных сосудов, особенно в перипапиллярной области, приводя к их коллапсу и снижению кровотока; при этом снижается градиент давления между внутриглазными артериями и венами, повышается уровень давления крови на стенки сосудов, что в свою очередь сопровождается снижением скоростных показателей хориоидального кровотока [34–36]. В то же время при повышении уровня внутриглазного давления выявлено снижение интенсивности внутриглазной гемодинамики. Отмечено, что дефицит объема крови, поступающей в глаз, при прогрессирующем увеличении уровня внутриглазного давления нарастает. На фоне нормализации офтальмотонуса зарегистрировано улучшение кровоснабжения диска зрительного нерва, перипапиллярной сетчатки и ее центральных отделов. Снижение уровня внутриглазного давления ниже толерантного сопровождалось выраженной гипотонией, переполнением микроциркуляторного русла и падением объемных показателей кровотока [37];
- локальной ауторегуляторной дисфункцией. Происходит нарушение способности хориоидальных сосудов адекватно поддерживать кровоток. Данные ОКТ-А, демонстрирующие снижение перфузии хориоидеи независимо от ее толщины [32], поддерживают гипотезу о первичной сосудистой дисфункции, а не только о простом механическом сжатии. Имеет место нарушение способности хориоидальных сосудов адекватно поддерживать кровоток в ответ на изменения перфузионного давления (внутриглазное давление и системное артериальное давление). При глаукоме ауторегуляция может быть нарушена, что делает хориоидею более уязвимой к колебаниям давления.

■ ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данные ОКТ-ангиографии предоставляют убедительные доказательства того, что первичная открытоугольная глаукома является заболеванием, затрагивающим не только диск зрительного нерва и сетчатку, но и хориоиду. Снижение перфузии и толщины хориоидеи является постоянным спутником первичной открытоугольной глаукомы, тесно коррелирует со стадией заболевания и, вероятно, вносит значительный вклад в патогенез ишемии и прогрессирующей нейродегенерации. Данные Сеппато G. подтверждают доказательность наблюдений, касающихся истончения хориоидеи [33], в то время как более ранние [2] и последние [12] исследования подчеркивают чрезвычайную важность оценки именно перфузии хориокапилляров, что может быть более чувствительным маркером. Временная взаимосвязь изменений сосудистой перфузии и структурного истончения ганглиозных клеток сетчатки и их аксонов до сих пор остается в значительной степени неясной, дальнейшие исследования в этом направлении могут способствовать прояснению вопроса о хронологической последовательности событий при каждом подтипе глаукомы.

Анализ изменений глазного кровотока в мониторинге глаукомного процесса наряду с «базисными» тестами следует рассматривать как неотъемлемую часть алгоритма комплексного офтальмологического обследования. Метод ОКТ-А является специфичным и перспективным в оценке гемодинамических сдвигов при колебании уровня внутриглазного давления. Дальнейшее развитие и совершенствование технологий, разработка алгоритмов оценки закономерностей гемодинамических и морфофункциональных взаимоотношений диска зрительного нерва и перипапиллярной сетчатки при толерантном и интолерантном значениях внутриглазного давления могут быть использованы для прогнозирования функциональных исходов антиглаукомных операций и выбора средств медикаментозной терапии.

Оценка хориоидеи с помощью ОКТ-А открывает новые перспективы для ранней диагностики, мониторинга прогрессирования и оценки эффективности лечения первичной открытоугольной глаукомы. Для внедрения этих параметров в рутинную клиническую практику необходимы дальнейшая стандартизация методов измерения и проведение долгосрочных проспективных исследований.

■ ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Vision Loss Expert Group of the Global Burden of Disease Study; Bourne R.R.A.; Jonas J.B.; Friedman D.; Nangia V. et al. Global estimates on the number of people blind or visually impaired by glaucoma: A meta-analysis from 2000 to 2020. *Eye*. 2024. Available at: <https://doi.org/10.1038/s41433-024-03135-9>
2. Gasser P, Flammer J. Blood-cell velocity in the nailfold capillaries of patients with normal-tension and high-tension glaucoma. *Am J Ophthalmol*. 1991;111(5):585–8. doi: 10.1016/s0002-9394(14)73703-1
3. Plange N., Kaup M., Huber K., et al. Fluorescein filling defects of the optic nerve head in normal tension glaucoma, primary open-angle glaucoma, ocular hypertension and healthy controls. *Ophthalmic Physiol Opt*. 2006;26(1):26–32. doi: 10.1111/j.1475-1313.2005.00349.x
4. Hamard P., Hamard H., Dufaux J., et al. Optic nerve head blood flow using a laser Doppler velocimeter and haemorheology in primary open angle glaucoma and normal pressure glaucoma. *Br J Ophthalmol*. 1994;78(6):449–53. doi: 10.1136/bjo.78.6.449
5. Stalmans I., Harris A., Fieuws S., et al. Color Doppler imaging and ocular pulse amplitude in glaucomatous and healthy eyes. *Eur J Ophthalmol*. 2009;19(4):580–7. doi: 10.1177/112067210901900410
6. Zhang A., Zhang Q., Chen C.-L., et al. Methods and algorithms for optical coherence tomography-based angiography: A review and comparison. *J. Biomed. Opt*. 2015;20:100901. Available at: <https://doi.org/10.1117/1.jbo.20.10.100901>
7. Campbell J.P., Zhang M., Hwang T.S., et al. Detailed Vascular Anatomy of the Human Retina by Projection-Resolved Optical Coherence Tomography Angiography. *Sci Rep*. 2017;7:42201. doi: 10.1038/srep42201
8. Jia Y., Morrison J.C., Tokayer J., Tan O., et al. Quantitative OCT angiography of optic nerve head blood flow. *Biomed. Opt. Express*. 2012;3:3127–3137. Available at: <https://doi.org/10.1364/boe.3.003127>

9. 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: 10.1371/journal.pone.0154691
10. Arish M., Momeni-Moghaddam H., Alborzi M., Maleki A., et al. Peripapillary vessel density in healthy people, primary open-angle glaucoma, and normal-tension glaucoma. *Eur J Ophthalmol*. 2024;34(1):161–167. doi: 10.1177/11206721231181929
11. Xu H., Zhai R., Zong Y., et al. Comparison of retinal microvascular changes in eyes with high-tension glaucoma or normal-tension glaucoma: a quantitative optic coherence tomography angiographic study. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2018;256(6):1179–1186. doi: 10.1007/s00417-018-3930-z
12. Rao H.L., Pradhan Z.S., Suh M.H., et al. Optical Coherence Tomography Angiography in Glaucoma. *J Glaucoma*. 2020;29(4):312–321. doi: 10.1097/JG.0000000000001463
13. Dastiridou A., Samouilidou M., Anastasopoulos E., et al. OCT Angiography of the Retina and the Choroid in the Macula in Patients with Normal Tension Glaucoma and Primary Open Angle Glaucoma. *Diagnostics (Basel)*. 2024;14(14):1485. doi: 10.3390/diagnostics14141485
14. Mursch-Edlmayr A.S., Waser K., Podkowinski D., et al. Differences in swept-source OCT angiography of the macular capillary network in high tension and normal tension glaucoma. *Curr Eye Res*. 2020;45(9):1168–1172. doi: 10.1080/02713683.2020.1722178
15. Lommatzsch C., Rothaus K., Koch J.M., et al. Vessel Density in Glaucoma of Different Entities as Measured with Optical Coherence Tomography Angiography. *Clin Ophthalmol*. 2019;13:2527–2534. doi: 10.2147/OPTH.S230192
16. Shen R., Wang Y.M., Cheung C.Y., et al. Relationship between macular intercapillary area measured by optical coherence tomography angiography and central visual field sensitivity in normal tension glaucoma. *Br J Ophthalmol*. 2023;107(6):816–822. doi: 10.1136/bjophthalmol-2021-319923
17. Cheng K.K.W., Tan B.L., Brown L., et al. Macular vessel density, branching complexity and foveal avascular zone size in normal tension glaucoma. *Sci Rep*. 2021;11(1):1056. doi: 10.1038/s41598-020-80080-z
18. Provis J.M. Development of the primate retinal vasculature. *Prog Retin Eye Res*. 2001;20(6):799–821. doi: 10.1016/s1350-9462(01)00012-x
19. 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(11):1589–1599. doi: 10.1016/j.ophttha.2017.06.002
20. Lin S., Shang X., Wang X., et al. Decreased macular deep capillary plexus is associated with functional progression of normal tension glaucoma patients with unilateral visual field loss. *Br J Ophthalmol*. 2024;108(2):188–194. doi: 10.1136/bjo-2022-322362
21. Jeon S.J., Park H.L., Park C.K. Effect of Macular Vascular Density on Central Visual Function and Macular Structure in Glaucoma Patients. *Sci Rep*. 2018;8(1):16009. doi: 10.1038/s41598-018-34417-4
22. Kim J.-S., Kim Y.K., Baek S.U. et al. Topographic correlation between macular superficial microvessel density and ganglion cell-inner plexiform layer thickness in glaucoma-suspect and early normal-tension glaucoma. *Br. J. Ophthalmol*. 2019;104:104–109. Available at: <https://doi.org/10.1136/bjophthalmol-2018-313102>
23. Onishi A.C., Treister A.D., Nesper P.L., et al. Parafoveal vessel changes in primary open-angle glaucoma and normal-tension glaucoma using optical coherence tomography angiography. *Clin Ophthalmol*. 2019;13:1935–1945. doi: 10.2147/OPTH.S206288
24. Uchida N., Ishida K., Anraku A., et al. Macular vessel density in untreated normal tension glaucoma with a hemifield defect. *Jpn J Ophthalmol*. 2019;63(6):457–466. doi: 10.1007/s10384-019-00691-6
25. Wang Y.M., Hui V.W.K., Shi J., et al. Characterization of macular choroid in normal-tension glaucoma: a swept-source optical coherence tomography study. *Acta Ophthalmol*. 2021;99(8):e1421–e1429. doi: 10.1111/aos.14829
26. Wang D., Xiao H., Lin S., et al. Comparison of the Choroid in Primary Open Angle and Angle Closure Glaucoma Using Optical Coherence Tomography. *J Glaucoma*. 2023;32(11):e137–e144. doi: 10.1097/JG.0000000000002303
27. Tepelus T.C., Song S., Borrelli E., et al. Quantitative Analysis of Retinal and Choroidal Vascular Parameters in Patients With Low Tension Glaucoma. *J Glaucoma*. 2019;28(6):557–562. doi: 10.1097/JG.0000000000001242
28. Cennamo G., Malvone E., Marotta M., et al. Study of choroidal vasculature in open angle glaucoma patients. *Photodiagnosis Photodyn Ther*. 2022;40:103182. doi: 10.1016/j.pdpdt.2022.103182
29. Cheng W., Wang W., Song Y., et al. Choriocapillaris and progressive ganglion cell-inner plexiform layer loss in non-glaucomatous eyes. *Br J Ophthalmol*. 2023;107(11):1638–1644. doi: 10.1136/bjo-2022-321277
30. Bussell I., Wollstein G., Schuman J.S. OCT for glaucoma diagnosis, screening and detection of glaucoma progression. *Br J Ophthalmol*. 2014;98(Suppl 2):iii15–9. doi: 10.1136/bjophthalmol-2013-304326
31. Zhang X., Dastiridou A., Francis B.A., et al. Advanced Imaging for Glaucoma Study Group. 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
32. Hollo G. Influence of Large Intraocular Pressure Reduction on Peripapillary OCT Vessel Density in Ocular Hypertensive and Glaucoma Eyes. *J Glaucoma*. 2017;26:e7–e10. doi: 10.1097/JG.0000000000000527
33. Cennamo G., Malvone E., Marotta M., et al. Study of choroidal vasculature in open angle glaucoma patients. *Photodiagnosis Photodyn Ther*. 2022;40:103182. doi: 10.1016/j.pdpdt.2022.103182
34. Bakshinskij P., Kuroedov A., SHamshinova A. Influence of ocular microhemodynamics on stereo morphometric parameters of the optic nerve in patients with primary open angle glaucoma with different levels of intraocular pressure. *Glaucoma*. 2007;2:3–13. (in Russian)
35. Birich T. On the possibility of studying ischemia of the optic nerve in primary open-angle glaucoma. *Vestn. Ophthalmology*. 1990;1:19–24. (in Russian)
36. Flammer J. The vascular concept of glaucoma. *Surv Ophthalmol*. 1994;38 Suppl:53–6. doi: 10.1016/0039-6257(94)90041-8
37. Zhukova S., Yuryeva T., Mikova O., et al. OCT angiography in the assessment of chorioretinal blood flow during intraocular pressure fluctuations in patients with primary open-angle glaucoma. *RMJ. Clinical Ophthalmology*. 2016;2:98–103. (in Russian)