

УДК 617.7-07

DOI: 10.24884/1682-6655-2023-22-2-11-15

Т. Н. КИСЕЛЕВА, К. В. ЛУГОВКИНА, В. В. МАКУХИНА

ОКТ-ангиография переднего отдела глаза в оценке микроциркуляции при офтальмопатологии

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр глазных болезней имени Гельмгольца» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Москва, Россия
105062, Россия, Москва, ул. Садовая-Черногрозская, д. 14/19
E-mail: makuhvik@mail.ru

Статья поступила в редакцию 07.02.23 г.; принята к печати 07.04.23 г.

Резюме

В обзоре представлены сведения о применении метода оптической когерентной томографии в ангиорежиме (ОКТА) в диагностике заболеваний переднего отдела глаза. Помимо качественной оценки патологических изменений метод дает количественные характеристики сосудистой плотности. ОКТА информативна в оценке микрососудистого русла ПОГ при ожогах, воспалительных заболеваниях, ишемическом поражении и для визуализации собственной сосудистой сети новообразований.

Ключевые слова: оптическая когерентная томография с ангиографией, передний отдел глаза, сосудистая плотность

Для цитирования: Киселева Т. Н., Луговкина К. В., Макухина В. В. ОКТ-ангиография переднего отдела глаза в оценке микроциркуляции при офтальмопатологии. Регионарное кровообращение и микроциркуляция. 2023;22(2):11–15. Doi: 10.24884/1682-6655-2023-22-2-11-15.

UDC 617.7-07

DOI: 10.24884/1682-6655-2023-22-2-11-15

T. N. KISELEVA, K. V. LUGOVKINA, V. V. MAKUKHINA

Optical coherence tomography angiography of the anterior segment of the eye in the assessment of microcirculation in ocular pathology

Helmholtz National Medical Research Center of Eye Diseases, Moscow, Russia
14/19, Sadovaya Chernogryazskaya str., Moscow, Russia, 105062
E-mail: makuhvik@mail.ru

Received 07.02.23; accepted 07.04.23

Summary

The review presents data on optical coherence tomography angiography (OCTA) in the diagnostics of diseases of the anterior segment of the eye. In addition to qualitative assessment of pathological changes, the method gives quantitative characteristics of vascular density. OCTA is informative for anterior segment vasculature evaluation in burns, inflammatory diseases, ischemic injury, and for intratumoral vessels visualization.

Keywords: optical coherence tomography angiography, anterior segment of the eye, vessel density

For citation: Kiseleva T. N., Lugovkina K. V., Makukhina V. V. Optical coherence tomography angiography of the anterior segment of the eye in assessment of microcirculation in ocular pathology. Regional hemodynamics and microcirculation. 2023;22(2):11–15. Doi: 10.24884/1682-6655-2023-22-2-11-15.

Активное развитие технологий в сфере медицинской техники, а также переход от инвазивных к неинвазивным автоматизированным методам исследования кровотока способствовали разработке новых высокоинформативных видеомикроскопических методик исследования микрососудов. Конъюнктива глазного яблока рассматривается как наилучший объект для изучения микроциркуляции в связи с возможностью непосредственной визуализации сосудов [1].

ОКТ-ангиография (ОКТА) – неинвазивная техника визуализации микрососудистого русла, основанная на анализе разницы амплитуд лазерного луча, отраженного от выбранной точки при повторных сканированиях [2].

ОКТА является альтернативой флюоресцентной ангиографии (ФАГ), сопоставима с ней по информативности, но при этом не требует введения контрастного вещества. К преимуществам метода относятся

скорость проведения исследования, неинвазивность, возможность многократного применения, получение трехмерного изображения сосудистой сети, а также возможность измерения количественных показателей гемоперфузии.

До недавнего времени ОКТА применялась при заболеваниях заднего отдела глаза, однако в последние годы в литературе стали появляться сообщения об использовании метода в диагностике патологии ПОГ.

С помощью метода ОКТА W. W. Binotti et al. [3] при визуализации роговицы здоровых добровольцев обнаружили лишь физиологическую инвазию маргинальных аркад лимба в роговицу. Имеется целый ряд сообщений по изучению возможностей ОКТА в диагностике патологической васкуляризации роговицы. Установлено, что ОКТА способна демонстрировать сосуды, не распознаваемые при световой биомикроскопии на ранних стадиях васкуляризации, а также

периферично расположенные и не видимые вследствие непрозрачности роговицы сосуды [4–5].

A. Kate et al. [6] использовали метод ОКТА при ожогах глаза для объективной оценки ишемии переднего отдела глаза, что позволило существенно дополнить клинические данные.

K. Y. Tey et al. [7] выявили уменьшение показателя сосудистой плотности (vessel density, VD) лимба через 24 часа после химического ожога, при этом степень снижения VD коррелировала с распространенностью поражения. Спустя месяц после повреждения была выявлена васкуляризация роговицы.

Другие исследователи с использованием ОКТА обнаружили область лимбально-конъюнктивальной ишемии у пациентов сразу после ожога глаза, причем распространенность зоны ишемии превышала таковую при клиническом обследовании. При исследовании переднего отдела глаза (ПОГ) авторы отметили возможность обнаружения микрокровотока, несмотря на отек и геморрагии конъюнктивы, что, вероятно, связано с крупным диаметром и более поверхностным расположением сосудов и более высокой скоростью кровотока в конъюнктиве [8].

Binotti et al. продемонстрировали, что ОКТА способна предоставить количественную характеристику васкуляризации лимба и роговицы, причем полученные данные коррелируют с текущей клинической классификацией лимбально-клеточной недостаточности (ЛКН). ОКТА может являться дополнительным неинвазивным методом количественной оценки ЛКН для уточнения диагноза, определения стадии и мониторинга данного патологического процесса [3]. Другие авторы пришли к выводу, что локализация сосудов в поверхностном слое на периферии роговицы является признаком ЛКН, в то время как васкуляризация более глубоких слоев роговицы характерна для поствоспалительных изменений [9].

Известно, что активная васкуляризация роговицы – значимый фактор риска отторжения трансплантата [10–11]. Поэтому степень и активность васкуляризации роговицы, выявленные при ОКТА, могут быть использованы для определения степени риска отторжения трансплантата до пересадки роговицы и своевременной инициации блокирования активных сосудов [10]. В отличие от ФАГ и ангиографии с индоцианин-зеленым красителем (ИЦЗА) ОКТА ПОГ позволяет выявить ход новообразованных сосудов роговицы и определить глубину их залегания при выполнении селективной тонкоигльной диатермии [11].

ОКТА может быть использована как метод объективной оценки эффективности лечения неоваскуляризации роговицы, а также определения тяжести и прогноза заболевания [10].

T. Akagi et al. [12] оценили информативность ОКТА по сравнению с ФАГ при изучении сосудистой сети конъюнктивы и венозных сплетений эписклеры и склеры в норме. Полученные томограммы продемонстрировали схожесть результатов исследований, однако при ФАГ на склеральных ангиограммах определялся ликедж красителя, не отмечающийся на ОКТА-сканах. Томограммы в режиме «en face» были разделены авторами на поверхностный и глубокий слои. В поверхностном слое сосуды распространя-

лись радиально по окружности от периферии к лимбу, между ними определялись более мелкие сосудистые ветви. Наиболее высокие показатели плотности и диаметра сосудов отмечались в назальном квадранте. Плотность сосудов глубокого слоя конъюнктивы у здоровых людей уменьшается с возрастом [13].

K. Nampai et al. [14] исследовали сосуды конъюнктивы здоровых добровольцев и определили следующие значения показателя VD: верхний квадрант – 27,5 %, нижний – 29,9 %, назальный – 44,5 %, темпоральный – 44,8 %.

J. Jesus et al. [15] установили, что регулярное ношение контактных линз может вызвать сосудистые изменения конъюнктивы, видимые лишь на ОКТА-ангиограммах. Другие авторы при подборе склеральных линз определили нарушение кровообращения в перилимбальной области, что предполагало необходимость коррекции положения линзы. Следовательно, для оптимизации подбора склеральных линз можно рекомендовать использование ОКТА, хотя требуются дальнейшие исследования в этом направлении [16].

Результаты применения ОКТА у пациентов с глаукомой показали, что плотность сосудов глубокого слоя конъюнктивы возрастала с повышением внутриглазного давления (ВГД), а при использовании аналогов простагландина в качестве гипотензивной терапии увеличивалось количество сосудов в поверхностном слое конъюнктивы [13]. В послеоперационном периоде у больных глаукомой продемонстрирована возможность ОКТА для неинвазивной оценки васкуляризации фильтрационной подушки, что является признаком ухудшения ее функционального состояния [17].

S. Nau et al. [18] показали возможность визуализации сосудистой сети различных анатомических плоскостей склеры и определили достоверную взаимосвязь между увеличением глубины сканирования и повышением значений VD. Кроме того, у пациентов с эписклеритом и склеритом показатель VD был значительно выше по сравнению с нормой.

Авторы получили достоверные данные о поражении более глубокой сосудистой сети при склерите, поэтому ОКТА может быть использована как дополнительный метод исследования для дифференциальной диагностики поверхностного и глубокого воспалительного процесса [18].

N. J. Brouwer et al. [19] показали, что сосудистая сеть конъюнктивы в случае приобретенной конъюнктивальной меланоцитарной интраэпителиальной неоплазии была близка к здоровой конъюнктиве парного глаза, хотя в одном случае наблюдалась мелкая сосудистая сеть. Авторы установили, что отсутствие ярко выраженных сосудов может объясняться ограничением неоплазии эпителием в отличие от солидных новообразований большего размера. Визуализация более тонкой сосудистой сети конъюнктивы, вероятно, является результатом экранирования сигнала пигментом.

F. Zhao et al. [20] при исследовании птеригиума и пингвекулы обнаружили, что показатель плотности сосудов в здоровых глазах не отличался от аналогичного показателя у пациентов с пингвекулой, тогда как при птеригиуме сосудистая плотность в области патологического процесса была значительно выше [21].

В работе K. Nampei [14] et al. были определены следующие качественные и количественные ОКТА-признаки птеригиума: радиально ориентированные сосуды в поверхностном слое; аваскулярный участок, соответствующий зоне роста в глубоком слое. Другие авторы отметили морфологические характеристики новообразованных сосудов: малый калибр, извитость, ветвистость. В редких случаях визуализировался их просвет [21].

N. J. Brouwer et al. [19] провели исследование с использованием ОКТА для определения дифференциально-диагностических признаков, характеризующих меланому и невус конъюнктивы. Более информативные сканы были получены в слабопигментированных новообразованиях по сравнению с более пигментированными. Визуализация области полулунной складки и слезного мясца была затруднена вследствие иррегулярной формы этих структур.

Авторы показали, что во всех случаях новообразований конъюнктивы были выявлены собственные извитые сосуды в отличие от здоровой окружающей ткани. При этом явных различий между сосудистыми паттернами невусов и меланом не установлено, и в большинстве невусов обнаруживались аваскулярные кисты. Сравнивая количественные параметры сосудистой плотности, авторы рассчитали среднюю VD для меланомы 35,5 % и для невуса – 32,5 %. Наименьшие средние значения VD были зарегистрированы в гиперпигментированных новообразованиях (29,1 %) по сравнению со слабо пигментированными (38,4 %).

J. L. Chien et al. [22] сравнивали диагностические возможности ФАГ и ОКТА при гемангиоме конъюнктивы и установили преимущество ОКТА для определения собственных и приводящих сосудов новообразования, которые не идентифицировались при выполнении ФАГ. Кроме того, ОКТА позволила дифференцировать сосудистую сеть на различной глубине и, в отличие от ФАГ – выявить сосуды, маскированные ликеджом. По мнению авторов, ОКТА может быть включена в диагностический поиск при патологии конъюнктивы в качестве дополнительного метода, особенно у пациентов с отягощенным аллергологическим анамнезом.

Несомненный интерес представляет применение ОКТА для изучения ангиоархитектоники радужки.

A. H. Skalet et al. [23] в своем исследовании оценили возможности метода для изучения сосудов радужки в норме и определили наибольшую информативность метода при получении изображений светлых и умеренно пигментированных радужек. В темно- и светло-коричневых радужках визуализация была затруднена в связи с ослаблением ОКТ-сигнала в области стромы радужки [24].

У здоровых добровольцев ОКТА позволила выявить преимущественно радиально ориентированные сосуды стромы радужки, исходящие из большого артериального круга, умеренно компримированные при среднем диаметре зрачка. Эти данные коррелируют с ранее полученными результатами ФАГ, которая показала, что вены радужки более крупные и извитые, чем артерии, и расположены в задней части стромы [19, 23–25].

При неоваскуляризации радужки сосудистая сеть имеет хаотичное расположение; новообразованные сосуды могут быть расположены тангенциально по отношению к нормальным [25].

В работе P. K. Roberts et al. [24] продемонстрированы возможности ОКТА для выявления клинически невидимых новообразованных сосудов радужки. По мнению авторов, метод позволяет дифференцировать различные стадии неоваскуляризации, а также отслеживать ее регресс на фоне лечения. Полученные данные коррелируют с клинической классификацией данного патологического процесса [21, 25].

Имеются сведения о применении ОКТА радужки у пациентов после оперативной коррекции страбизма, находящихся в группе риска по развитию ишемии ПОГ. Установлено, что сосудистая плотность после операции уменьшилась во всех квадрантах радужки, а также в участках, прилежащих к зоне оперированных мышц. В связи с этим ОКТА радужки можно рекомендовать к использованию после хирургического вмешательства по поводу косоглазия для установления риска развития ишемии ПОГ [6].

R. D'Aloisio et al. [26] выявили значительное снижение перфузии радужки у пациентов с регматогенной отслойкой сетчатки через 1 и 6 месяцев после эписклерального пломбирования. Эти данные соответствуют гистологическим исследованиям, которые указывают, что такие хирургические вмешательства, как круговое эписклеральное пломбирование, дислокация экстраокулярных мышц, диатермия и криотерапия могут оказывать негативное влияние на глазной кровоток. Вероятно, дефицит кровотока может быть связан с механической нагрузкой на сосуды, кровоснабжающие радужку. Кроме того, напряжение прямых мышц глаза и давление, оказываемое по всей окружности глазного яблока, может вызвать значительную гипоперфузию.

ОКТА ПОГ считается информативным, неинвазивным скрининговым методом у лиц в группе риска по развитию глазного ишемического синдрома (ГИС), что позволит избежать более серьезных осложнений и диагностировать ишемическое повреждение ПОГ до появления клинической симптоматики. Особенно важно выявление начальной стадии рубеоза у пациентов с предрасполагающими факторами, такими как окклюзионные поражения сонных артерий [26].

В клиническом исследовании F. Pichi et al. [21] было выявлено расширение сосудов радужки и усиление кровотока при переднем увеите с последующей нормализацией микроциркуляции радужки на фоне лечения.

В отличие от ФАГ к преимуществам ОКТА при исследовании воспалительных изменений радужки можно отнести визуализацию калибра сосудов и различных анатомических сосудистых паттернов. M. Ayres et al. [25] отмечают, что на ОКТ-ангиограммах сложно различить расширенные вследствие воспаления сосуды радужки и ее неоваскуляризацию.

Ряд работ посвящен применению метода для диагностики новообразований радужки и дифференциальной диагностики опухолей и псевдоопухолевых процессов.

A. H. Skalet et al. [23] установили затруднение идентификации собственной сосудистой сети

в случаях густо пигментированных меланом радужки и опухолей большого размера, что согласуется с данными других авторов [19]. При невусах радужки наблюдалось повышение сосудистой плотности, в одном случае визуализировались тонкие сосудистые петли, прилежащие к области эктропиона. В случаях меланомы сосудистая плотность была значительно выше, чем в невусах, где плотность была схожа с нормальной светлой радужкой.

В исследовании N. J. Brouwer et al. [19] не обнаружено явных различий между сосудистыми паттернами меланом и невусов радужки. В то же время наблюдалась тенденция к снижению качества получаемого изображения при невусах, что могло свидетельствовать либо об экранировании опухолью ОКТ-сигнала, либо о низких показателях сосудистой плотности новообразования. В данном исследовании выявлено повышение показателя VD в опухолях по сравнению с нормальной тканью радужки, но не обнаружено различий между слабо пигментированной меланомой и невусом радужки.

В работе D. Allegrini et al. [27] была проведена сравнительная оценка информативности ФАГ и ОКТА при исследовании невуса радужки. Наилучшие изображения собственной сосудистой сети были получены с помощью ОКТА в виде хаотично расположенных сосудов за исключением участка, маскированного поверхностным скоплением пигмента.

Вопрос о значимости оценки ангиоархитектоники опухоли для определения прогноза заболевания остается дискуссионным. Ряд авторов полагает, что геометрически правильно организованная сосудистая сеть может свидетельствовать о доброкачественности новообразования, другие считают, что хаотичный характер расположения сосудов указывает на злокачественный характер процесса. По мнению авторов, ОКТА может быть использована для выявления собственной сосудистой сети опухоли и ее границ, а также для мониторинга сосудистой структуры без введения красителя.

Принимая во внимание отсутствие ликеджа и возможность идентификации собственных и приводящих сосудов новообразования с измерением их диаметра, ОКТА ПОГ в ряде случаев является более информативным методом по сравнению с ФАГ.

Поскольку ОКТА-сканеры были разработаны для визуализации заднего отдела глаза, адаптация режима для исследования ПОГ привела к появлению некоторых ограничений.

Во-первых, необходимо корректировать протоколы сканирования и использовать специальную оптику для исследования ПОГ.

Во-вторых, для ОКТ-сигнала существует как порог распознавания минимальной скорости движения крови по сосудам, так и предел их насыщаемости. Ранее W. D. Lee et al. [5] предположили, что вследствие этого сосуды с низкой скоростью кровотока могут не идентифицироваться. A. Spaide et al. [28] указывают на одинаковую яркость микрососудов вследствие насыщаемости сигнала на изображениях ОКТА.

В-третьих, возможно появление артефактов, приводящих к недостоверной оценке плотности сосудов. При ОКТ и ОКТ-ангиографии ПОГ регистрируются артефакты, аналогичные таковым при исследовании

заднего отдела: артефакт моргания, движения, проекции, эффекты «тени» и «зеркала» [29–30].

В-четвертых, при проведении ОКТА ПОГ существуют ограничения для визуализации глубоко расположенных сосудов в глазах с непрозрачной роговицей [5], выраженной пигментацией радужки или в зоне крупных опухолей. В отличие от ФАГ и ИЦЗА при ОКТА поле обзора ограничено; по результатам трудно различить афферентные и эфферентные сосуды, а также получить количественную информацию о скорости перфузии и степени зрелости сосудов [4–5, 11].

В настоящее время продолжается усовершенствование метода. Ряд авторов предложили способ устранения артефактов на ОКТА-томограммах с помощью применения метода машинного обучения, который предполагает использование искусственной нейронной сети [31].

Заключение

ОКТА – современный неинвазивный метод трехмерной визуализации микрососудистой сети, позволяющий определить как качественные, так и количественные показатели гемоперфузии несмотря на имеющиеся ограничения. Установлена высокая информативность ОКТА в изучении состояния сосудистой сети конъюнктивы и радужки в норме, в диагностике неоваскуляризации роговицы различной этиологии. Помимо качественной оценки патологических изменений ПОГ возможна количественная оценка сосудистой плотности путем измерения показателя VD. Не вызывает сомнений диагностическая значимость этого параметра при ишемии и неоваскуляризации структур переднего отдела глаза. Кроме того, метод ОКТА является информативным при визуализации собственной сосудистой сети новообразований, однако данные литературы по этому вопросу противоречивы и требуется проведение дальнейших исследований в данном направлении.

Конфликт интересов / Conflict of interest

Авторы заявили об отсутствии конфликта интересов. / The authors declare no conflict of interest.

Литература / References

1. Бунин А.Я., Кацнельсон Л.А., Яковлев А.А. *Микроциркуляция глаза*. – М.: Медицина, 1984. – 176 с. [Bunin AY, Katsnel'son LA, Yakovlev AA. *Mikrotsirkulyatsiya glaza*. Moscow, Meditsina, 1984:176. (in Russ.)].
2. Lumbroso B, Huang D, Jia Y, Fujimoto J, Rispoli M. *Clinical Guide To Angio-OCT: Non Invasive, Dyeless OCT Angiography*. New Delhi, Jaypee Brothers Medical Publishers, 2014:110.
3. Binotti WW, Nosé RM, Koseoglu ND, Dieckmann GM, Kenyon K, Hamrah P. *The utility of anterior segment optical coherence tomography angiography for the assessment of limbal stem cell deficiency* // *Ocul Surf*. 2021;19:94–103. Doi: 10.1016/j.jtos.2020.04.007.
4. Ang M, Sim DA, Keane PA et al. *Optical Coherence Tomography Angiography for Anterior Segment Vasculature Imaging* // *Ophthalmology*. 2015;122(9):1740–1747. Doi: 10.1016/j.opthta.2015.05.017.
5. Lee WD, Devarajan K, Chua J, Schmetterer L, Mehta JS, Ang M. *Optical coherence tomography angiography for the anterior segment* // *Eye Vis (Lond)*. 2019;6:4. Doi: 10.1186/s40662-019-0129-2.

6. Kate A, Basu S. Role of Anterior Segment-Optical Coherence Tomography Angiography in Acute Ocular Burns // *Diagnostics*. 2022;12(3):607. Doi: 10.3390/diagnostics12030607
7. Tey KY, Gan J, Foo V et al. Role of anterior segment optical coherence tomography angiography in the assessment of acute chemical ocular injury: a pilot animal model study // *Sci Rep*. 2021;11(1):16625. Doi: 10.1038/s41598-021-96086-0.
8. Fung SSM, Stewart RMK, Dhallu SK et al. Anterior Segment Optical Coherence Tomographic Angiography Assessment of Acute Chemical Injury // *Am J Ophthalmol*. 2019;205:165–174. Doi: 10.1016/j.ajo.2019.04.021.
9. Luo M, Li Y, Zhuo Y. Advances and Current Clinical Applications of Anterior Segment Optical Coherence Tomography Angiography // *Front Med (Lausanne)*. 2021;8:721442. Doi: 10.3389/fmed.2021.721442.
10. Ong HS, Tey KY, Ke M et al. A pilot study investigating anterior segment optical coherence tomography angiography as a non-invasive tool in evaluating corneal vascularization // *Sci Rep*. 2021;11(1):1212. Doi: 10.1038/s41598-020-80099-2.
11. Foo VHX, Ke M, Tan CQL, Schmetterer L, Mehta JS, Ang M. Anterior Segment Optical Coherence Tomography Angiography Assessment of Corneal Vascularisation After Combined Fine-Needle Diathermy with Subconjunctival Ranibizumab: A Pilot Study // *Adv Ther*. 2021;38(8):4333–4343. Doi: 10.1007/s12325-021-01849-w.
12. Akagi T, Uji A, Huang AS et al. Conjunctival and Intrasccleral Vasculatures Assessed Using Anterior Segment Optical Coherence Tomography Angiography in Normal Eyes // *Am J Ophthalmol*. 2018;196:1–9. Doi: 10.1016/j.ajo.2018.08.009.
13. Akagi T, Uji A, Okamoto Y et al. Anterior Segment Optical Coherence Tomography Angiography Imaging of Conjunctiva and Intrascclera in Treated Primary Open-Angle Glaucoma // *Am J Ophthalmol*. 2019;208:313–322. Doi: 10.1016/j.ajo.2019.05.008.
14. Nampei K, Oie Y, Kiritoshi S et al. Comparison of ocular surface squamous neoplasia and pterygium using anterior segment optical coherence tomography angiography // *Am J Ophthalmol Case Rep*. 2020;20:100902. Doi: 10.1016/j.ajoc.2020.100902.
15. Jesus J, Dias L, Almeida I, Costa T, Chibante-Pedro J. Analysis of conjunctival vascular density in scleral contact lens wearers using optical coherence tomography angiography // *Cont Lens Anterior Eye*. 2022;45(1):101403. Doi: 10.1016/j.clae.2020.12.066
16. Siddiqui Y, Yin J. Anterior Segment Applications of Optical Coherence Tomography Angiography // *Semin Ophthalmol*. 2019;34(4):264–269. Doi: 10.1080/08820538.2019.1620805.
17. Luo M, Zhu Y, Xiao H et al. Characteristic Assessment of Angiographies at Different Depths with AS-OCTA: Implication for Functions of Post-Trabeculectomy Filtering Bleb // *J Clin Med*. 2022;11(6):1661. Doi: 10.3390/jcm11061661.
18. Hau SC, Devarajan K, Ang M. Anterior Segment Optical Coherence Tomography Angiography and Optical Coherence Tomography in the Evaluation of Episcleritis and Scleritis // *Ocul Immunol Inflamm*. 2021;29(2):362–369. Doi: 10.1080/09273948.2019.1682617.
19. Brouwer NJ, Marinkovic M, Bleeker JC, Luyten GPM, Jager MJ. Anterior Segment OCTA of Melanocytic Lesions of the Conjunctiva and Iris // *Am J Ophthalmol*. 2021;222:137–147. Doi: 10.1016/j.ajo.2020.09.009.
20. Zhao Z, Yue Y, Zhang S et al. Optical coherence tomography angiography for marginal corneal vascular remodelling after pterygium surgery with limbal-conjunctival autograft // *Eye (Lond)*. 2020;34(11):2054–2062. Doi: 10.1038/s41433-020-0773-8.
21. Pichi F, Roberts P, Neri P. The broad spectrum of application of optical coherence tomography angiography to the anterior segment of the eye in inflammatory conditions: a review of the literature // *J Ophthalmic Inflamm Infect*. 2019;9(1):18. Doi: 10.1186/s12348-019-0184-9.
22. Chien JL, Sioufi K, Ferenczy S, Say EAT, Shields CL. Optical Coherence Tomography Angiography Features of Iris Racemose Hemangioma in 4 Cases // *JAMA Ophthalmol*. 2017;135(10):1106–1110. Doi: 10.1001/jamaophthalmol.2017.3390.
23. Skalet AH, Li Y, Lu CD et al. Optical Coherence Tomography Angiography Characteristics of Iris Melanocytic Tumors // *Ophthalmology*. 2017;124(2):197–204. Doi: 10.1016/j.optha.2016.10.003.
24. Roberts PK, Goldstein DA, Fawzi AA. Anterior Segment Optical Coherence Tomography Angiography for Identification of Iris Vasculature and Staging of Iris Neovascularization: A Pilot Study // *Curr Eye Res*. 2017;42(8):1136–1142. Doi: 10.1080/02713683.2017.1293113.
25. Ayres M, Smallwood R, Brooks AM, Chan E, Fagan X. Anterior segment optical coherence tomography angiography // *J Vis Commun Med*. 2019;42(4):153–157. Doi: 10.1080/17453054.2019.1631122.
26. D'Aloisio R, Viggiano P, Borrelli E et al. Changes in Iris Perfusion Following Scleral Buckle Surgery for Rhegmatogenous Retinal Detachment: An Anterior Segment Optical Coherence Tomography Angiography (AS-OCTA) Study // *J Clin Med*. 2020;9(4):1231. Doi: 10.3390/jcm9041231.
27. Allegrini D, Montesano G, Pece A. Optical Coherence Tomography Angiography of Iris Nevus: A Case Report // *Case Rep Ophthalmol*. 2016;7(3):172–178. Doi: 10.1159/000450572.
28. Spaide RF, Fujimoto JG, Waheed NK. Optical Coherence Tomography Angiography // *Retina*. 2015;35(11):2161–2162. Doi: 10.1097/LAE.0000000000000881.
29. Sampson DM, Dubis AM, Chen FK, Zawadzki RJ, Sampson DD. Towards standardizing retinal optical coherence tomography angiography: a review // *Light Sci Appl*. 2022;11(1):63. Doi: 10.1038/s41377-022-00740-9.
30. Iovino C, Peiretti E, Braghiroli M et al. Imaging of iris vasculature: current limitations and future perspective // *Eye (Lond)*. 2022;36(5):930–940. Doi: 10.1038/s41433-021-01809-2
31. Kadamoto S, Uji A, Muraoka Y, Akagi T, Tsujikawa A. Enhanced Visualization of Retinal Microvasculature in Optical Coherence Tomography Angiography Imaging via Deep Learning // *J Clin Med*. 2020;9(5):1322. Doi: 10.3390/jcm9051322.

Информация об авторах

Киселева Татьяна Николаевна – д-р мед. наук, профессор, начальник отдела ультразвуковых исследований, ФГБУ «НМИЦ ГБ им. Гельмгольца» Минздрава России, e-mail: tkisseleva@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-9185-6407.

Луговкина Ксения Владимовна – канд. мед. наук, старший научный сотрудник отдела ультразвуковых исследований, ФГБУ «НМИЦ ГБ им. Гельмгольца» Минздрава России, e-mail: ksushalyg@mail.ru, ORCID: 0000-0002-3531-3846.

Макухина Виктория Валерьевна – аспирант отдела ультразвуковых исследований, ФГБУ «НМИЦ ГБ им. Гельмгольца» Минздрава России, e-mail: makuhvik@mail.ru, ORCID: 0000-0002-6238-309X.

Authors information

Kiseleva Tatiana N. – Dr. of Med. Sci., Professor, Head of Ultrasound Diagnostic Department of Helmholtz National Medical Research Center of Eye Diseases, e-mail: tkisseleva@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-9185-6407.

Lugovkina Ksenia V. – PhD, sSenior Researcher of Ultrasound Diagnostic Department of Federal State Budgetary Institution Helmholtz National Medical Research Center of Eye Diseases, e-mail: tkisseleva@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-3531-3846.

Makukhina Viktoriia V. – PhD student of Ultrasound Diagnostic Department of Helmholtz National Medical Research Center of Eye Diseases, e-mail: makuhvik@mail.ru, ORCID: 0000-0002-6238-309X.