

<https://doi.org/10.21516/2072-0076-2023-16-1-145-150>



Возможности и перспективы применения оптической когерентной томографии и оптической когерентной томографии с функцией ангиографии в диагностике эндокринной офтальмопатии

Н.А. Гаврилова, Н.Ю. Кутровская, Х.Н. Салимова ✉

ФГБОУ ВО «Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И. Евдокимова» Минздрава России, ул. Делегатская, д. 20/1, Москва, 127473, Россия

Представлены результаты применения оптической когерентной томографии и оптической когерентной томографии — ангиографии при эндокринной офтальмопатии (ЭОП). Проанализированы данные исследований толщины внутренних слоев сетчатки, микроциркуляции в перипапиллярной и макулярной областях, параметров хориоидеи, решетчатой пластинки склеры и экстраокулярных мышц как возможных диагностических критериев ЭОП.

Ключевые слова: эндокринная офтальмопатия; оптическая нейропатия; оптическая когерентная томография; оптическая когерентная томография с расширенной глубинной визуализацией; оптическая когерентная томография — ангиография; слой нервных волокон сетчатки

Конфликт интересов: отсутствует.

Прозрачность финансовой деятельности: никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

Для цитирования: Гаврилова Н.А., Кутровская Н.Ю., Салимова Х.Н. Возможности и перспективы применения оптической когерентной томографии и оптической когерентной томографии с функцией ангиографии в диагностике эндокринной офтальмопатии. Российский офтальмологический журнал. 2023; 16 (1): 145-50. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2023-16-1-145-150>

Optical coherence tomography and optical coherence tomography — angiography used in endocrine ophthalmopathy

Natalia A. Gavrilova, Natalia Yu. Kutrovskaya, Khanum N. Salimova ✉

A.I. Evdokimov State Medical and Stomatological University, 20/1, Delegatskaya St., Moscow, 127473, Russia
salimova.xanumka@mail.ru

The literature review presents the results of optical coherence tomography and optical coherence tomography — angiography used for Graves' orbitopathy. The data on the thickness of the inner layers of the retina, microcirculation in the peripapillary and macular regions, parameters of the choroid, lamina cribrosa and extraocular muscles were analyzed as possible diagnostic criteria of the condition.

Keywords: endocrine ophthalmopathy; optic neuropathy; optical coherence tomography; enhanced depth imaging optical coherence tomography; optical coherence tomography — angiography, retinal nerve fiber layer

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

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

For citation: Gavrilova N.A., Kutrovskaya N.Yu., Salimova K.N. Optical coherence tomography and optical coherence tomography — angiography used in endocrine ophthalmopathy Russian ophthalmological journal. 2023; 16 (1): 145-50 (In Russian). <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2023-16-1-145-150>

Эндокринная офтальмопатия (ЭОП) — органоспецифическое аутоиммунное заболевание периорбитальных тканей и мягких тканей орбиты (экстраокулярные мышцы, орбитальная клетчатка) с вторичным вовлечением в патологический процесс глаза (поражение роговицы и дистироидная оптическая нейропатия, ДОН).

ДОН является серьезным осложнением ЭОП, которое приводит к значительному снижению зрительных функций, вплоть до полной потери зрения. По результатам исследования Европейской группы по изучению ЭОП (EUGOGO), ДОН у пациентов с ЭОП наблюдается в 76,6% случаев, офтальмоскопические изменения диска зрительного нерва (ДЗН) при этом выявляются только в 50% наблюдений [1]. В 18,0—26,7% случаев, по данным ряда авторов, ДОН может развиваться у пациентов с ЭОП без изменений ДЗН и при наличии высокой остроты зрения [2, 3].

Для диагностики данной патологии в последнее время широко используется оптическая когерентная томография (ОКТ). ОКТ является одной из самых динамично развивающихся диагностических технологий в офтальмологии на сегодняшний день, благодаря возможности бесконтактной, неинвазивной визуализации морфологических особенностей сетчатки и ДЗН.

Показатели толщины слоев сетчатки и микроциркуляции в перипапиллярной и макулярной областях при ЭОП. С.В. Харинцева и соавт. [4] при ЭОП выявили увеличение толщины слоя нервных волокон сетчатки (СНВС) в перипапиллярной области у пациентов с острой стадией ДОН ($p < 0,05$) за счет отека и прогрессирующее ее снижение у пациентов с атрофией зрительного нерва ($p < 0,01$). К. Park и соавт. [5] получили аналогичные результаты: у пациентов с острой и хронической стадиями ДОН при ЭОП установлено увеличение и уменьшение соответственно толщины СНВС в височном квадранте (76 ± 8 и 66 ± 12 мкм, в контроле 73 ± 12 мкм, $p = 0,014$).

С.В. Саакян и соавт. [6] при ЭОП и ДОН выявили увеличение толщины СНВС, площади и объема нейроретинального пояса и толщины сетчатки в макулярной области; авторами был предложен способ определения стадии ДОН (начиная с латентной) на основе выявленных дифференциально-диагностических признаков.

S. Meirovitch и соавт. [7] при ЭОП установили увеличение толщины СНВС в перипапиллярной области во всех квадрантах за исключением темпорального, уменьшение толщины внутренних ($270,40 \pm 17,27$ мкм, в контроле $281,79 \pm 15,20$ мкм, $p < 0,001$) и наружных ($236,31 \pm 14,78$ мкм, в контроле $241,42 \pm 15,93$ мкм, $p < 0,001$) слоев сетчатки в макулярной области и наличие положительной корреляционной зависимости между толщиной СНВС в верхнем квадранте и стадией оптической нейропатии ($R = 0,78$, $p < 0,001$). Авторы предполагают, что использование данных параметров ОКТ позволит выявлять ЭОП на субклинической стадии.

В исследовании M. Romano и соавт. [8] у пациентов при ЭОП ($CAS < 2$) с компрессией зрительного нерва в области вершины орбиты (по результатам УЗИ в А-режиме, 30°-тест — уменьшение ДЗН до $3,31 \pm 0,22$ мм при $4,07 \pm 0,15$ мм в контроле, $p < 0,01$) выявлено незначи-

тельное снижение средней толщины СНВС ($102,85 \pm 6,70$ мкм, в контроле $109,77 \pm 6,70$ мкм, $p = 0,1$), достоверное снижение толщины комплекса ганглиозных клеток сетчатки (ГКС) ($90,86 \pm 5,20$ мкм, в контроле $109,77 \pm 6,70$ мкм, $p = 0,1$) и уменьшение толщины решетчатой пластинки склеры (РПС) ($233,83 \pm 23,70$ мкм, в контроле 350 ± 21 мкм, $p < 0,1$). Выявлено наличие корреляционной зависимости между максимально корригированной остротой зрения (МКОЗ) и толщиной РПС ($R = 0,49$; $p = 0,09$) и толщиной комплекса ГКС ($R = 0,6$; $p = 0,03$). На основании полученных данных авторами сформулирован предположительный механизм развития патологии: орбитальная компрессия приводит к снижению давления спинномозговой жидкости в ретробульбарном пространстве, увеличению трансламнарного давления и в результате — к нейродегенеративным процессам в СНВС и в большей степени — в комплексе ГКС [8].

В исследовании Y. Wu и соавт. [9] при ЭОП в группах с ДОН и без ДОН выявлено снижение толщины СНВС и комплекса ГКС ($p < 0,01$). В группах пациентов с ДОН и без ДОН снижены также показатели средней плотности сосудов поверхностного капиллярного сплетения сетчатки (SRCL) в макулярной области во всех радиальных кольцевых зонах (в области общей кольцевой зоны 2,5 мм 6 радиальных кольцевых зон) и секторах ($p < 0,01$), за исключением C_2 -зоны (диаметр 1,23 мм) для обеих групп, C_1 (диаметр — 0,92 мм) и C_3 (диаметр — 1,55 мм) зон для группы пациентов с ДОН, достоверные отличия между группами отсутствовали ($p = 0,127-0,899$). Средняя плотность сосудов глубокого капиллярного сплетения сетчатки (DRCL) в группах пациентов с ДОН и без ДОН была значительно снижена почти во всех зонах и секторах ($p < 0,01$) за исключением зон C_1-C_4 ($p = 0,016-0,096$), темпорального ($p = 0,011$) и назального ($p = 0,017$) секторов в группе без ДОН. Кроме того, в группе пациентов с ДОН показатели плотности сосудов в кольцевой зоне ($p = 0,006$), в C_4 ($p = 0,004$) и C_6 ($p = 0,004$) зонах, в темпоральном ($p = 0,007$), нижнем ($p = 0,005$) и назальном ($p = 0,007$) секторах были ниже, чем в группе без ДОН. В группах пациентов с ДОН и без ДОН между показателями толщины комплекса ГКС и показателями средней плотности сосудов SRCL в общей кольцевой зоне ($r = 0,312$, $p = 0,007$), в темпоральном ($r = 0,263$, $p = 0,024$), нижнем ($r = 0,369$, $p = 0,001$) и назальном ($r = 0,300$, $p = 0,009$) секторах выявлено наличие положительной корреляционной зависимости. Установлено, что диагностический комплекс, который включает толщину комплекса ГКС и плотность сосудов SRCL (наиболее высокие значения — верхний сектор, C_6 -зона), обладает чувствительностью и специфичностью 82% ($p < 0,001$), а диагностический комплекс, включающий толщину комплекса ГКС и плотность сосудов DRCL, чувствительностью 89% и специфичностью 76% ($p < 0,001$). По мнению авторов, данный диагностический комплекс может быть эффективно использован в диагностике ДОН, мониторинге и определении тактики ведения пациентов с ЭОП [9].

T. Zhang соавт. [10] выявили при ЭОП с ДОН и без ДОН снижение толщины СНВС и комплекса ГКС ($p = 0,040$ и $p = 0,008$ соответственно), толщина комплекса ГКС была меньше в группе с ДОН, чем без ДОН ($p = 0,026$). У паци-

ентов с ДОН выявлено более выраженное, чем в контроле ($p < 0,05$) и у пациентов без ДОН ($p < 0,05$), снижение общей плотности сосудов в области ДЗН (onh-wiVD) и плотности сосудов радиального перипапиллярного капиллярно-сплетения (grc-wiVD). Наиболее выраженное снижение плотности сосудов grc-wiVD отмечалось в темпоральном секторе ($p < 0,05$). Установлена положительная корреляция между показателями onh-wiVD, grc-wiVD и MD ($p < 0,001$) и отрицательная корреляция между onh-wiVD, grc-wiVD и МКОЗ, PSD ($p < 0,05$). Кроме того, на основании ROC-анализа установлено, что onh-wiVD — дифференциально-диагностический маркер наличия и отсутствия ДОН при ЭОП (AUROC, 0,75) [10].

L. Yu и соавт. [11] также установили, что толщина СНВС в перипапиллярной области у пациентов с активной ЭОП меньше, чем у пациентов с неактивной ЭОП и в контроле ($p < 0,001$). Площадь фовеальной аваскулярной зоны (FAZ) в группе пациентов с активной ЭОП ($0,36 \pm 0,09$ мм²) была значительно больше, чем в группах пациентов с неактивной ЭОП и в контрольной группе ($p = 0,045$, $p = 0,001$ соответственно). Авторами установлено, что плотность сосудов (Vessel Density) в макулярной области в группе пациентов с неактивной ЭОП значительно выше, чем в двух других группах ($p < 0,05$). Плотность перфузии (Perfusion Density) в макулярной области у пациентов с ЭОП выше: в среднем ($p = 0,032$), а также в темпоральном и нижнем секторах ($p = 0,045$ и $p = 0,001$ соответственно). Авторы считают, что толщина СНВС в перипапиллярной области, площадь FAZ, плотность сосудов и плотность перфузии могут являться дополнительными диагностическими критериями ЭОП [11].

В работе M. Tehrani и соавт. [12] выявлено, что при активной ЭОП снижена по сравнению с неактивной ЭОП и контролем средняя плотность сосудов радиального перипапиллярного капиллярного сплетения ($p < 0,001$) и плотность макулярных ($50,6 \pm 4,3\%$) и парафовеальных ($52,7 \pm 4,8\%$) поверхностных сосудов ($p = 0,03$ и $p < 0,001$ соответственно). Авторы считают, что параметры ОКТ-ангиографии (ОКТА) имеют большое диагностическое значение при ЭОП [12].

M. Rajabi и соавт. [13] при проведении декомпрессии орбиты у пациентов с ДОН выявили корреляцию между исходной толщиной СНВС в перипапиллярной области и послеоперационными показателями МКОЗ, данными статической периметрии (средним отклонением MD и стандартным отклонением паттерна PSD). Установлено, что при толщине СНВС больше 65 мкм вероятность получить более высокий функциональный результат после декомпрессии орбиты более высокая.

Таким образом, в ряде работ по результатам ОКТ при ЭОП выявлено увеличение толщины СНВС в перипапиллярной области у пациентов с острой стадией ДОН и снижение у пациентов с развивающейся атрофией зрительного нерва [4–8]. В нескольких работах, наоборот, выявлено снижение толщины СНВС в перипапиллярной области пациентов как с ДОН, так и без ДОН [9, 10]; выявлено также более выраженное снижение толщины СНВС у пациентов с активной ЭОП, чем с неактивной [11] и установлено, что чем больше исходная толщина СНВС, тем более высока вероятность получения высокого функционального результата после декомпрессии орбиты. Противоречивые результаты получены и при анализе толщины сетчатки в макулярной области при ЭОП: выявлено как увеличение толщины сетчатки [6], так и уменьшение толщины внутренних и наружных ее слоев [7] и толщины комплекса ГКС [8–10]. С нашей точки зрения, такие противоречивые результаты могут быть обусловлены значительной клинической гетерогенностью

обследуемых групп пациентов с ЭОП и ДОН. Для применения ОКТ-параметров, в частности толщины слоев сетчатки, в диагностических целях в дальнейшем требуется проведение детальных исследований при условии максимальной однородности групп пациентов.

По результатам ОКТА у пациентов с ДОН выявлено более выраженное снижение общей плотности сосудов в области ДЗН и плотности сосудов радиального перипапиллярного капиллярного сплетения, чем у пациентов без ДОН, и установлено, что onh-wiVD является дифференциально-диагностическим маркером ДОН при ЭОП [10]. Выявлено снижение показателей средней плотности сосудов поверхностного и глубокого капиллярных сплетений сетчатки в макулярной области у пациентов с ДОН и без ДОН; установлено, что при ДОН более выражено снижение DRCL. Наличие положительной корреляционной зависимости между средней плотностью сосудов SRCL и толщиной комплекса ГКС у пациентов с ДОН и без ДОН свидетельствует о значимой роли нарушений микроциркуляции в формировании патологии в макулярной области при ЭОП. Толщина комплекса ГКС в сочетании с плотностью сосудов капиллярных сплетений, по мнению авторов, может быть использована в диагностике ДОН [9]. Выявлено, что при активной ЭОП площадь FAZ больше, а плотность сосудов радиального перипапиллярного капиллярного сплетения, плотность сосудов и плотность перфузии в макулярной области меньше, чем при неактивной ЭОП, что свидетельствует о более выраженном нарушении микроциркуляции в перипапиллярной и макулярной областях при активной ЭОП [11, 12]. Таким образом, ОКТА-параметры микроциркуляции в перипапиллярной и макулярной областях при ЭОП, безусловно, могут быть дополнительными диагностическими критериями, свидетельствующими об особенностях и степени выраженности патологии при ЭОП, но для того, чтобы использовать их в широкой клинической практике в диагностических целях, требуется проведение дальнейших, более детальных исследований.

Исследование хориоидеи в диагностике ЭОП. Применение режима расширенной глубинной визуализации ОКТ (enhanced-depth imaging optical coherence tomography, EDI-OCT) позволяет осуществлять детальную визуализацию хориоидеи и количественно анализировать толщину, объем и индекс сосудистой оболочки.

В 2018 г. K. Vupparaboina и соавт. [14] для получения еще более качественных изображений хориоидеи предложили использовать теньевую компенсацию.

В результате совершенствования технологий появился метод ОКТ с частотно-модулируемым источником оптического излучения (swept source optical coherence tomography, SS-ОКТ) (способность менять длину волны в диапазоне 100 нм). К преимуществам данной технологии относится использование длины волны 1050 нм с высокой проникающей способностью, которая предоставляет возможность детально визуализировать глубокие структуры (хориоидея, склера), и высокой скоростью сканирования — 100 000 А-сканов/с с возможностью выполнять более длинные сканы для создания подробных карт, в том числе толщины хориоидеи, и исключить влияние микросаккад [15]. В 2018 г. на территории РФ зарегистрирован прибор, который позволяет производить автоматическое определение границ хориоидеи, — DRI OCT Triton (Topcon).

Параметры для оценки хориоидеи и степень их надежности. Для определения толщины хориоидеи производится измерение расстояния по вертикали между ее внутренней и наружной границами: от гиперрефлективной линии пиг-

ментного эпителия (ПЭ) до непрерывной гипорефлективной линии на границе хориоидея/склера (внутренняя граница склеры — *Lamina fusca*) или, если эта линия на скане отсутствует, до границы между гипорефлективной хориоидеей и гиперрефлективной склерой. Выполняются вертикальный и горизонтальный сканы. Измерение производится в нескольких точках на каждом из сканов. Значение толщины хориоидеи усредняется по вертикальному и горизонтальному сканам.

В 2015 г. для анализа состояния хориоидеи был предложен новый количественный параметр — хориоидальный сосудистый индекс (*choroidal vascularity index* — CVI) — отношение площади просвета сосудов (*luminal choroidal area*, LCA) к общей площади поперечного сечения хориоидеи (*total choroidal area*, SCA). В соответствии с протоколом исследования хориоидеи ОКТ-изображение открывается в программе ImageJ, производится выделение области исследования, регулируя яркости изображения по среднему значению LCA от 3 сосудов хориоидеи, преобразование изображения в 8-битное бинарное (алгоритм Niblack) для разграничения областей и расчет TCA и LCA.

В 2016 г. R. Agrawal и соавт. [16] внесли изменения в протокол исследования, которые позволили получить более точную сегментацию сосудистой сети и стромы хориоидеи за счет применения автолокального порога для бинаризации более мелких сосудов хориоидеи или хориокапилляров, отсутствия регуляции яркости, так как она уменьшает контраст между просветной и стромальной областями, и бинаризации перед выбором области изображения.

В результате анализа вариативности установлено, что CVI имеет более низкий коэффициент вариации, менее изменчив, чем показатель субфовеальной толщины хориоидеи (*subfoveal choroidal thickness*, SFCT). Исследование внутри- и межэкспертной надежности хориоидальных параметров выявило высокую степень соответствия полученных данных. Линейный регрессионный анализ офтальмологических и системных факторов, связанных с SFCT и CVI, показал наличие корреляционной зависимости толщины субфовеолярной сосудистой оболочки с целым рядом параметров — более короткой осевой длиной, более высокими значениями ВГД и площадью просвета сосудов LA, более молодым возрастом и более низким систолическим АД; корреляционная зависимость CVI выявлена только с одним параметром: увеличение CVI связано с увеличением SFCT. Значит, CVI является более стабильным параметром, чем SFCT [16].

Применение ОКТ с расширенной глубинной визуализацией при ЭОП позволило установить, что толщина хориоидеи в суб- и парафовеолярной областях больше, чем в норме, в том числе у пациентов с субклиническими и ранними проявлениями ЭОП [17–23].

В исследовании M. Kurt и соавт. [24] с использованием SS-ОКТ также установлено, что толщина хориоидеи у пациентов с ЭОП в субфовеолярной области больше, чем в норме ($p = 0,013$), и выявлена положительная корреляционная зависимость между толщиной хориоидеи и оценкой CAS ($p = 0,046$).

В результате проведения корреляционного анализа в ряде исследований [17–23] выявлена корреляционная зависимость между толщиной хориоидеи и оценкой CAS, МКОЗ, осевой длиной, ВГД, проптозом, возрастом и др.

L. Yu и соавт. [11] установили, что при активной и неактивной ЭОП толщина хориоидеи в макулярной области больше, чем в контроле ($p < 0,05$). В результате ROC-анализа диагностических параметров выявлено, что толщина хорио-

идеи является «хорошим» диагностическим критерием в отношении как активной, так и неактивной ЭОП.

В 2021 г. проведено несколько исследований, в которых у пациентов с ЭОП выявлено увеличение CVI и показателя площади просвета сосудов, более значительное при CAS > 3. Установлено, что корреляционная зависимость между CVI и возрастом, полом, экзофтальмом, диплопией и др. отсутствует [25, 26], но выявлена положительная корреляционная связь между CVI и уровнем антител к рецепторам тиреотропного гормона TRAb [27].

Таким образом, на основании немногочисленных исследований установлено, что у пациентов с ЭОП, начиная с субклинической стадии, толщина хориоидеи в суб- и парафовеолярных областях, CVI и показатель площади просвета сосудов увеличиваются и что при активной ЭОП толщина хориоидеи и CVI выше, чем при неактивной. Но чтобы использовать показатели хориоидеи при ЭОП в качестве диагностических в широкой клинической практике, необходимо проведение достаточного количества более детальных исследований.

Исследование решетчатой пластинки склеры при ЭОП. В формировании ДОН при ЭОП определенная роль принадлежит деформации тканей РПС, которая развивается в результате нарушения трансмембранного градиента давления за счет увеличения тканеликворного давления и определяется биомеханическими свойствами РПС.

Спектральная ОКТ с расширенной глубинной визуализацией (EDI-ОКТ) и адаптивной компенсацией (AC) или ОКТ с переменной длиной волны (SS-ОКТ, DRI) и адаптивной компенсацией (AC) позволяет качественно визуализировать РПС и оценивать ее параметры [28]. К ОКТ-параметрам РПС относятся ее глубина, толщина, толщина преламинарной ткани, дефекты, индекс кривизны, глобальный индекс формы, угол наклона, расстояние между внутренней поверхностью и субарахноидальным пространством [29]. Но к наиболее широко используемым ОКТ-параметрам РПС относятся ее глубина и ширина.

Глубина РПС — длина перпендикуляра от центра базовой плоскости до точки максимальной глубины передней поверхности РПС. В качестве базовых плоскостей ОКТ-сегментации для измерения глубины РПС используются плоскости на уровне отверстия мембраны Бруха — линия, соединяющая конечные точки отверстия поверхности мембраны на расстоянии 1200–1700 мкм от центра отверстия, переднего отверстия склерального канала и передней склеральной поверхности.

При использовании базовых плоскостей отверстия мембраны Бруха и поверхности мембраны Бруха параметр глубины РПС зависит от толщины хориоидеи (при одинаковой степени деформации РПС параметр глубины может быть больше при высокой толщине хориоидеи) [29–32]. Исключить толщину хориоидеи при измерении позволяет индекс кривизны поверхности РПС, который характеризует степень ее деформации и определяется как отношение параметра максимальной глубины РПС от базовой линии к длине базовой линии (базовая линия соединяет точки пересечения перпендикуляров, опущенных от крайних точек отверстия мембраны Бруха, с передней поверхностью РПС) [30].

При хорошей визуализации задней поверхности РПС используется параметр толщины РПС — расстояние между передней и задней поверхностями РПС (границы высоко-коррективной зоны) [29, 30]. Исследования глубины и толщины РПС проводились при офтальмопатологии (открытоугольная глаукома, псевдоэкзофолиативный синдром, компрессионная оптическая нейропатия, окклюзии вен сет-

чатки, неартериальная передняя ишемическая оптическая нейропатия, диабетический макулярный отек, миопия и др.) и нефтальмологических заболеваниях (сахарный диабет, болезнь Паркинсона, синдром обструктивного апноэ сна, болезнь Альцгеймера, мигрени и др.) [33–39].

При ЭОП у пациентов с компрессионной ДОН выявлено уменьшение толщины и глубины РПС, причем глубина РПС при миогенном варианте была меньше, чем при липогенном [8]. После декомпрессии орбиты при ЭОП с ДОН установлено, что происходит кратковременное увеличение глубины РПС (смещение кзади), в основном при липогенном варианте, с последующим возвращением к исходным значениям [40].

Количество данных о состоянии РПС при ЭОП, полученных на сегодняшний день, недостаточно, целесообразно проведение дальнейших исследований в этом направлении, так как изменения ОКТ-параметров РПС при ЭОП могут предшествовать клинически значимым функциональным изменениям.

ОКТ переднего сегмента с расширенной глубиной визуализации как дополнительный метод оценки ЭОМ при ЭОП. С помощью ОКТ возможны визуализация и измерение мышечно-сухожильного комплекса медиальной и латеральной прямых ЭОМ. Для точности измерения важно правильно определять его границы: не включать в измерение склеру, эписклеру и конъюнктиву [41].

ОКТ переднего сегмента с расширенной глубиной визуализации (EDI AS-ОСТ) при ЭОП показало, что увеличение толщины сухожилий медиальной и латеральной прямых экстраокулярных мышц (ЭОМ) хорошо определяется и коррелирует с параметрами магниторезонансной томографии (МРТ) [21, 41, 42]. N. Hänel и соавт. [41] обнаружили, что средняя толщина сухожилия медиальной прямой мышцы в группе пациентов с ЭОП составляет 256,4 мкм, в контрольной группе — 214,7 мкм. L. De-Pablo-Gómez-de-Liaño и соавт. [42] выявили наличие корреляции между толщиной сухожилий латеральной и медиальной прямых ЭОМ (EDI AS-ОСТ) и CAS ЭОП. С точки зрения авторов, исследование толщины сухожилия медиальной прямой мышцы с использованием EDI AS-ОСТ может проводиться с целью мониторинга пациентов с ЭОП.

Таким образом, при отсутствии возможности проведения ультразвукового исследования ОКТ переднего сегмента с расширенной глубиной визуализацией (EDI AS-ОСТ) может использоваться при ЭОП в качестве скринингового метода с целью выявления изменений медиальной и латеральной прямых ЭОМ. ОКТ-параметры сетчатки, хориоидеи, РПС и ОКТА-параметры микроциркуляции в перипапиллярной и макулярной областях отражают особенности и степень выраженности патологии при ЭОП, но, чтобы использовать их в широкой клинической практике в диагностических целях, требуется проведение дальнейших более детальных исследований.

Литература/References

1. McKeag D., Lane C., Lazarus J.H., et al. Clinical features of dysthyroid optic neuropathy: a European group on Graves' orbitopathy (EUGOGO) survey. *Br. J. Ophthalmol.* 2007; 91 (4): 455–8. doi: 10.1136/bjo.2006.094607
2. Acaroglu G., Simsek T., Ozalp S., Mutluay A. Subclinical optic neuropathy in Graves' orbitopathy. *Japan. J. Ophthalmol.* 2003; 47 (5): 459–62. doi: 10.1016/s0021-5155(03)00101-1
3. Bartalena L., Pinchera A., Marcocci C. Management of Graves' ophthalmopathy: reality and perspectives. *Endocr. Rev.* 2000; 21 (2): 168–99. doi: 10.1210/edrv.21.2.0393
4. Харинцева С.В., Серебрякова О.В., Харинцев В.В., Серкин Д.М. Оптическая когерентная томография в диагностике нейропатии у больных с

эндокринной офтальмопатией. Бюллетень ВСНЦ СО РАМН. 2011; 6: 97–9. [Kharintseva S.V., Serebryakova O.V., Kharintsev V.V., Serkin D.M. Optic coherent tomography in optic neuropathy diagnostics in patients with endocrine ophthalmopathy. *Bull. Vost. Sib. Nauch. Sent.* 2011; 6: 97–9 (in Russian)].

5. Park K.A., Kim Y.D., In Woo K., Kee C., Han J.C. Optical coherence tomography measurements in compressive optic neuropathy associated with dysthyroid orbitopathy. *Graefes Arch. Clin. Exp. Ophthalmol.* 2016; 254 (8): 1617–24. doi: 10.1007/s00417-016-3335-9
6. Саакян С.В., Пантелеева О.Г., Мякошина Е.Б., Сирмайс О.С. Способ определения стадии оптической нейропатии при эндокринной офтальмопатии с помощью спектральной оптической когерентной томографии. Патент РФ № 2535403 С1; 2013. [Saakjan S.V., Panteleeva O.G., Mjakoshina E.B., Sirmajs O.S. Method for staging optic neuropathy accompanying endocrine ophthalmopathy by spectral optical coherence tomography Pat. RF 2535403 C1; 2013 (in Russian)].
7. Meirovitch S.B., Leibovitch I., Kesler A., et al. Retina and nerve fiber layer thickness in eyes with thyroid-associated ophthalmopathy. *Isr. Med. Assoc. J.* 2017; 19 (5): 277–81.
8. Romano M.R., Cennamo G., Breve M.A., et al. Optic nerve compression: the role of the lamina cribrosa and translaminar pressure. *Int. J. Ophthalmol.* 2017; 10 (12): 1883–8. doi: 10.18240/ijo.2017.12.15
9. Wu Y., Tu Y., Wu C., et al. Reduced macular inner retinal thickness and microvascular density in the early stage of patients with dysthyroid optic neuropathy. *Eye Vis. (Lond)*. 2020; 7: 16. doi: 10.1186/s40662-020-00180-9
10. Zhang T., Xiao W., Ye H., et al. Peripapillary and macular vessel density in dysthyroid optic neuropathy: an optical coherence tomography angiography study. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 2019; 60 (6): 1863–9. doi: 10.1167/iovs.18-25941
11. Yu L., Jiao Q., Cheng Y., et al. Evaluation of retinal and choroidal variations in thyroid-associated ophthalmopathy using optical coherence tomography angiography. *BMC Ophthalmology*. 2020; 20 (1): 421. doi: 10.1186/s12886-020-01692-7
12. Tehrani M.J., Mahdizad Z., Kasaei A., Fard M.A. Early macular and peripapillary vasculature dropout in active thyroid eye disease. *Graefes' archive for clinical and experimental ophthalmology*. 2019; 257 (11): 2533–40. doi: 10.1007/s00417-019-04442-8
13. Rajabi M.T., Ojani M., Esfahani H.R., et al. Correlation of peripapillary nerve fiber layer thickness with visual outcomes after decompression surgery in subclinical and clinical thyroid-related compressive optic neuropathy. *J. Curr. Ophthalmol.* 2018; 31 (1): 86–91. doi: 10.1016/j.joco.2018.11
14. Vupparaboina K.K., Dansingani K.K., Goud A., et al. Quantitative shadow compensated optical coherence tomography of choroidal vasculature. *Sci Rep.* 2018; 8 (1): 6461. doi: 10.1038/s41598-018-24577-8
15. Семенова Н.С., Ларичев А.В., Акопян В.С. Swept source — оптическая когерентная томография: обзор технологий. Вестник офтальмологии. 2020; 136 (1): 111–6. [Semenova N.S., Larichev A.V., Akopyan V.S. Swept source optical coherence tomography: a technology review. *Vestnik oftalmologii*. 2020; 136 (1): 111–6 (in Russian)]. doi: 10.17116/oftalma202013601111
16. Agrawal R., Gupta P., Tan K.A., et al. Choroidal vascularity index as a measure of vascular status of the choroid: measurements in healthy eyes from a population-based study. *Sci Rep.* 2016; 6: 21090. doi: 10.1038/srep21090
17. Bruscolini A., Cava M.L., Gharbiya M., et al. Management of patients with Graves' disease and orbital involvement: role of spectral domain optical coherence tomography. *J. Immunol. Res.* 2018; 2018: 1454616. doi: 10.1155/2018/1454616
18. Cagiltay E., Akay F., Demir O., et al. The increment of choroidal thickness in euthyroid Graves' ophthalmopathy: Is it an early sign of venous congestion? *J. Ophthalmol.* 2018; 2018: 5891531. doi: 10.1155/2018/5891531
19. Çalışkan S., Acar M., Gürdal C. Choroidal thickness in patients with Graves' ophthalmopathy. *Curr. Eye Res.* 2017; 42 (3): 484–90. doi: 10.1080/02713683.2016.1198488
20. Lai F.H.P., Iao T.W.U., Ng D.S.C., et al. Choroidal thickness in thyroid-associated orbitopathy. *Clin. Exp. Ophthalmol.* 2019; 47 (7): 918–24. doi: 10.1111/ceo.13525
21. Laplant J., Azar S., Caplan C., De La Rosa S., Hubbell M. Applications of optical coherence tomography in thyroid eye disease. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 2019; 60 (9): 1889. <https://iovs.arvojournals.org/article.aspx?articleid=2746659>
22. Özkan B., Koçer Ç. A., Altıntaş Ö., et al. Choroidal changes observed with enhanced depth imaging optical coherence tomography in patients with mild Graves orbitopathy. *Eye (Lond)*. 2016; 30 (7): 917–24. doi: 10.1038/eye.2016.93
23. Yu N., Zhang Y., Kang L., et al. Analysis in choroidal thickness in patients with Graves' ophthalmopathy using spectral-domain optical coherence tomography. *J. Ophthalmol.* 2018; 2018: 3529395. doi: 10.1155/2018/3529395
24. Kurt M.M., Akpolat C., Evliyaoglu F., Yilmaz M., Ordulu F. Evaluation of retinal neurodegeneration and choroidal thickness in patients with inactive Graves' ophthalmopathy. *Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde*. 2021; 238 (7): 797–802. doi: 10.1055/a-1275-0703

25. *Louidice P., Pellegrini M., Marinò M., et al.* Choroidal vascularity index in thyroid-associated ophthalmopathy: a cross-sectional study. *Eye Vis. (Lond)*. 2021; 8 (1): 18. doi: 10.1186/s40662-021-00242-6
26. *Yeter V., Koçak N., Subaşı M., Parlak U.* Choroidal vascularity index in thyroid-associated ophthalmopathy. *Can. J. Ophthalmol.* 2021; S 0008-4182(21)00249-0. doi: 10.1016/j.jcjo.2021.06.023
27. *Aksoy M., Simsek M., Apaydin M.* Evaluation of choroidal circulation and stromal features in Graves' disease. *Eur J. Ophthalmol.* 2022; 32 (3): 1680–6. doi: 10.1177/11206721211031406
28. *Girard M.J.A., Tun T.A., Husain R., et al.* Lamina cribrosa visibility using optical coherence tomography: comparison of devices and effects of image enhancement techniques. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 2015; 56 (2): 865–74. doi: 10.1167/iovs.14-14903
29. *Paulo A., Vaz P.G., Jesus D.A.D., et al.* Optical coherence tomography imaging of the lamina cribrosa: structural biomarkers in nonglaucomatous diseases. *J. Ophthalmol.* 2021; 2021: 8844614:31. doi: 10.1155/2021/8844614
30. *Lee S.H., Yu D.A., Kim T.W., et al.* Reduction of the lamina cribrosa curvature after trabeculectomy in glaucoma. *Investigative ophthalmology visual science.* 2016; 57 (11): 5006–14. doi: 10.1167/iovs.15-18982
31. *Lee S.H., Kim T.W., Lee E.J., Girard M.J.A., Mari J.M.* Focal lamina cribrosa defects are not associated with steep lamina cribrosa curvature but with choroidal microvascular dropout. *Scie Rep.* 2020; 10 (1): 6761. doi: 10.1038/s41598-020-63681-6
32. *Luo H., Yang H., Gardiner S.K., et al.* Factors influencing central lamina cribrosa depth: a multicenter study. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 2018; 59 (6): 2357–70. doi: 10.1167/iovs.17-23456
33. *Иомдина Е.Н., Киселева О.А., Хозиев Д.Д. и др.* Способ ранней диагностики первичной открытоугольной глаукомы. Патент РФ № 2698931; 2019. [Iomdina E.N., Kiseleva O.A., Khozиеv D.D., et al. Method for early diagnosis of primary open-angle glaucoma. Patent RF 2698931; 2019 (in Russian)].
34. *Rebolleda G., Pérez-Sarrigui A., Díez-Álvarez L., et al.* Lamina cribrosa position and bruch's membrane opening differences between anterior ischemic optic neuropathy and open-angle glaucoma. *Eur. J. Ophthalmol.* 2019; 29 (2): 202–9. doi: 10.1177/1120672118782101
35. *Akkaya S., Küçük B., Doğan H.K., Can E.* Evaluation of the lamina cribrosa in patients with diabetes mellitus using enhanced depth imaging spectral-domain optical coherence tomography. *Diab. Vasc. Dis Res.* 2018; 15 (5): 442–8. doi: 10.1177/1479164118782091
36. *Eraslan M., Eren C., Balci S.Y., et al.* The choroid and lamina cribrosa is affected in patients with Parkinson's disease: enhanced depth imaging optical coherence tomography study. *Acta Ophthalmologica.* 2016; 94 (1): 68–75. doi: 10.1111/aos.12809
37. *Küçük B., Strakaya E., Delibaş Ş.* Posterior segment assessment in patients with obstructive sleep apnea syndrome. *Sleep Breath.* 2019; 23 (3): 997–1005. doi: 10.1007/s11325-019-01837-z
38. *López-de Eguileta A., Lage C., López-García S., et al.* Ganglion cell layer thinning in prodromal Alzheimer's disease defined by amyloid pet. *Alzheimers Dement (N. Y.)*. 2019; 5: 570–8. doi: 10.1016/j.trci.2019.08.008
39. *Lee E.J., Kim T.-W., Lee D.S., et al.* Increased CSF tau level is correlated with decreased lamina cribrosa thickness. *Alzheimers Res. Ther.* 2016; 8: 6. doi: 10.1186/s13195-015-0169-3
40. *Seo Y., Shin W.B., Bae H.W., Yoon J.S.* Effects of orbital decompression on lamina cribrosa depth in patients with Graves' orbitopathy. *Korean J. Ophthalmol.* 2019; 33 (5): 436–45. doi: 10.3341/kjo.2019.0036
41. *Haner N.U., Dysli M., Abegg M., Zinkernagel M.S.* Enhanced-depth optical coherence tomography for imaging horizontal rectus muscles in Graves' orbitopathy. *Graefes Arch. Clin. Exp. Ophthalmol.* 2015; 253 (9): 1569–73. doi: 10.1007/s00417-015-3060-9
42. *De-Pablo-Gómez-de-Liaño L., Fernández-Vigo J.I., Ventura-Abreu N., et al.* OCT thickness measurements of the extraocular rectus muscle tendons in Graves' ophthalmopathy. *Pediatric Ophthalmol. Strabismus.* 2018; 55 (6): 356–62. doi: 10.3928/01913913-20180802-01

Вклад авторов в работу: Н.А. Гаврилова — концепция, дизайн и научное редактирование обзора; Н.Ю. Кутровская, Х.Н. Салимова — сбор и анализ литературы, написание обзора.

Authors' contribution: N.A. Gavrilova — concept, design and editing of the review; N.Yu. Kutrovskaya, Kh.N. Salimova — literature collection and analysis, writing of the review.

Поступила: 14.12.2021. Переработана: 15.05.2022. Принята к печати: 16.05.2022
Originally received: 14.12.2021. Final revision: 15.05.2022. Accepted: 16.05.2022

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ/INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

ФГБОУ ВО «Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И. Евдокимова» Минздрава России, ул. Делегатская, д. 20/1, Москва, 127473, Россия

Наталья Александровна Гаврилова — д-р мед. наук, профессор, заведующая кафедрой глазных болезней

Наталья Юрьевна Кутровская — канд. мед. наук, доцент кафедры глазных болезней

Ханум Назимовна Салимова — аспирант кафедры глазных болезней, ORCID 0000-0001-5410-2000

Для контактов: Ханум Назимовна Салимова, salimova.xanumka@mail.ru

A.I. Yevdokimov State Medical and Stomatological University, 20/1, Delegatskaya St., Moscow, 127473, Russia

Natalia A. Gavrilova — Dr. of Med. Sci., professor, head of chair of eye diseases

Natalia Yu. Kutrovskaya — Cand. of Med. Sci., assistant professor, chair of eye diseases

Khanum N. Salimova — PhD student, chair of eye diseases, ORCID 0000-0001-5410-2000

Contact information: Khanum N. Salimova, salimova.xanumka@mail.ru