

ОРИГИНАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Научная статья

УДК 617.7

doi: 10.19163/1994-9480-2022-19-3-52-61

СПОСОБ МОРФОМЕТРИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ПАТОЛОГИЧЕСКИХ СОСТОЯНИЙ СЕТЧАТКИ И ХОРИОИДЕИ ПО СКАНОГРАММАМ ОПТИЧЕСКОЙ КОГЕРЕНТНОЙ ТОМОГРАФИИ ГЛАЗА

Ю.Ф. Бондаренко¹, А.Н. Епихин¹, Ю.Н. Епихина¹, В.А. Филиппенко², В.В. Долгов²

¹Ростовский государственный медицинский университет, Ростов-на-Дону, Россия

²Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия

Автор, ответственный за переписку: Юлия Федоровна Бондаренко, stydentka161@mail.ru

Аннотация. Оптическая когерентная томография (ОСТ) является современным бесконтактным методом диагностического обследования, дающим возможность визуализации среза сетчатки, максимально приближенного к ее постмортальному гистологическому срезу, и позволяет различать отдельные слои сетчатки человеческого глаза в поперечном сечении. Программное обеспечение, предустановленное в подобных устройствах, содержит в себе множество различных инструментов, но этого все же недостаточно для более быстрого, полного и точного анализа полученных сканогамм, для постановки верного диагноза и выбора оптимального лечения. В мире появляются более новые и совершенные технологии обработки получаемых изображений, что ставит новые задачи по разработке дополнительного программного обеспечения, которое способно дополнить и расширить функционал диагностического оборудования. В данной работе предлагается способ морфометрической оценки патологических состояний сетчатки и хориоидеи по сканогаммам оптической когерентной томографии глаза. В его основе лежат алгоритм автоматической сегментации границ патологического очага макулярной области сетчатки глаза, алгоритм для расчета площади и объема патологического очага, которые совместно с другими алгоритмами анализа морфометрических параметров глаза человека используются для дифференциальной диагностики патологических изменений в макулярной области, для более точной диагностики стадии возрастной макулярной дегенерации (ВМД). Все это позволит назначить определенный вид и объем лечения для стабилизации и улучшения центральных зрительных функций пациентов.

Ключевые слова: оптическая когерентная томограмма, возрастная макулярная дегенерация, алгоритмы, оценка патологического состояния сетчатки, новые критерии качественной оценки поражения сетчатки, программное обеспечение

ORIGINAL RESEARCHES

Original article

A METHOD FOR MORPHOMETRIC ASSESSMENT OF PATHOLOGICAL CONDITIONS OF THE RETINA AND CHOROID BASED ON SCANS OF OPTICAL COHERENCE TOMOGRAPHY OF THE EYE

Yu.F. Bondarenko¹, A.N. Epikhin¹, Yu.N. Epikhina¹, V.A. Filippenko², V.V. Dolgov²

¹Rostov State Medical University, Rostov-on-Don, Russia

²Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia

Corresponding author: Yuliya F. Bondarenko, stydentka161@mail.ru

Abstract. Optical coherence tomography (OCT) is a modern non-contact method of diagnostic examination which makes it possible to visualize a section of the retina as close as possible to its post-mortem histological section, and enables to distinguish individual layers of the human retina in a cross-section. The software pre-installed in such devices contains many different

tools, but this is still not enough for a faster, more complete and accurate analysis of the obtained scans in order to make the correct diagnosis and choose the best treatment. There are more and more new and improved technologies for image processing in the world, which sets new tasks to develop additional software that can complement and expand the functionality of diagnostic equipment. This paper proposes a method of morphometric assessment of pathological conditions of the retina and chorioidea based on optical coherence tomography scans. This method is based on the algorithm for automated segmentation of the borders of the macular zone pathological focus, the algorithm for calculation of the area and volume of the pathological focus which together with other algorithms for analysis of the morphometric parameters of the human eye can be used for differential diagnostics of the pathological changes in the macular zone, for more precise diagnosis of the age-related macular degeneration (AMD) stage to prescribe a certain type and volume of treatment for stabilization and improvement of the central pontine visual functions.

Keywords: optical coherence tomography, age-related macular degeneration, algorithms, evaluation of retinal pathology, new criteria for qualitative assessment of retinal lesions, software

Возрастная макулярная дегенерация (ВМД) – одно из самых распространенных глазных заболеваний, являющееся основной причиной потери зрения у людей старше 40 лет. Статистически доказано, что частота встречаемости ВМД у лиц в возрасте 45–85 лет составляет 9 % с преобладанием ранней стадии (8 %), поздняя стадия ВМД встречается в 0,4 % случаев. Это заболевание более распространено среди лиц европейской расы, чем у лиц азиатской расы (12 и 7,5 % соответственно) и значительно реже наблюдается у лиц африканской расы. Прогнозируемое количество людей в мире с данным заболеванием составит около 196 млн в 2020 г. с увеличением до 288 млн к 2040 г. Частота ВМД растет с увеличением возраста больных [1, 2, 3]. В структуре первичной инвалидности по ВМД больные в трудоспособном возрасте составляют 21 %, а в пенсионном возрасте – 32 % [4].

Если обобщить патогенез ВМД, то начальные патологические изменения начинаются на уровне хориокапилляров, мембраны Бруха и пигментного эпителия сетчатки (ПЭС). При нарушении проницаемости хориокапилляров, как следствие, нарушается снабжение питательными веществами наружных слоев сетчатки, что приводит к нарушению выведения продуктов метаболизма, которые постепенно накапливаются, появляются друзы. По мере их накопления запускается патологический процесс, который ведет к выработке эндотелиального фактора роста сосудов (VEGF – Vascular Endothelial Growth Factor), что провоцирует рост новообразованных сосудов. Данный процесс сопровождается грубыми, необратимыми морфологическими нарушениями структуры всех слоев сетчатки, расстройством функции макулы и резким снижением центрального зрения. Исходом данного процесса является либо формирование участка географической атрофии, либо образование обширного фиброзного рубца под сетчаткой [5].

Основными методами диагностики ВМД являются офтальмоскопия, флуоресцентная ангиография,

оптическая когерентная томография (ОКТ) и оптическая когерентная томография с ангиографией (ОКТ-ангиография, ангио-ОКТ, ОКТ-А).

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Повышение качества диагностики патологических изменений сетчатки глаза на основе морфометрической дифференциации патологического очага.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Основным прибором для оценки морфологических изменений является оптический когерентный томограф. Клинический опыт и технические усовершенствования последнего поколения оптического когерентного томографа привели к еще большему распространению данного метода, в том числе и среди офтальмологов поликлинического звена. ОКТ помогает детально визуализировать и изучить все ретинальные слои, как по отдельности, так и в совокупности, выявить морфологические, структурные особенности и изменения оптической плотности сетчатки. Однако правильно интерпретировать полученные данные, качественно провести анализ изображений ОКТ и морфологических изменений у многих офтальмологов вызывает проблему.

Принцип работы ОКТ основан на регистрации степени рассеяния зондирующего излучения назад на оптических неоднородностях, измерении соответствующей задержки и построении на этих данных объемного изображения [6].

Создаваемые прижизненно томографом поперечные оптические срезы сетчатки максимально приближены к ее постмортальным гистологическим срезам и позволяют аналогично различать отдельные слои, производить их измерение по площади и толщине, но, кроме того, позволяют определять их положение относительно друг друга и определенных зон сетчатки, а также периодически отслеживать динамику изменений. Слои сетчатки дифференцируются соответственно

их светоотражающей способности и отображаются на мониторе и принтере в виде черно-белой (серая шкала) или мнимой цветной (стандартная цветовая шкала) картинки, при этом, чем выше плотность ткани, тем сильнее отражение и стремление изображения к белому или яркому одного цвета, или смещение к одной части спектра, обычно к красной, а чем ниже плотность ткани, тем слабее отражение и стремление изображения к черному или тусклому одного цвета, или смещение к противоположной части спектра, обычно к синей.

Итоговая картина сетчатки (ретиальная карта) формируется из отдельных сканов, проведенных через исследуемую область, количество которых варьирует в различных типах устройств – оптических когерентных томографах: Spectralis OCT (Heidelberg Engineering, Германия, business-lounge.heidelbergengineering.com), Cirrus HD-OCT (Carl Zeiss Meditec Inc., Германия, zeiss-solutions.ru), RTVue XR Avanti (Optovue Inc., США, optovue.com), Topcon 3D OCT 1000 (Topcon Corporation, Япония, topcon-medical.ru) и другие.

Существуют способы оценки патологических состояний сетчатки по данным ОКТ, заключающиеся в том, что вычисление объема тканей проводится на основании данных ретиальной карты и показателей толщины сетчатки [7]. Преимуществом их является автоматическая сегментация границ патологического очага макулярной области сетчатки глаза с расчетом его площади в фас и общего объема в профиль сканирования с анализом по секторам, выделение зон отслоек пигментного эпителия, сетчатки и стекловидного тела, измерение их высот и площадей. Недостатком является отсутствие геометрической дифференциации патологических составляющих очага, то есть выделение внутри объема очага оптически неплотных или прозрачных зон, клинически – зон отека, атрофии («минус ткань»), и оптически плотных зон, клинически – зон пролиферации ткани («плюс ткань»), с определением на каждой сканограмме их площадей и суммацией по всем сканограммам в объемы, что не позволяет полноценно оценить вид, степень и стадию поражения сетчатки глаза.

Наиболее близким по сути является способ комплексного анализа сканограмм, при котором производится визуальное выделение патологических участков [8]. Несмотря на относительное повышение качества диагностики, описанный качественный способ также не позволяет получить полную информацию о соотношении в патологическом очаге объемов его составляющих частей и определить преобладающую форму процесса.

Авторами ранее проводились исследования, в результате которых были получены новые критерии качественной оценки поражения сетчатки по данным ОКТ

[9]. Но в процессе исследования пришли к выводу, что программное обеспечение (ПО), разработанное для взаимодействия с оптическим когерентным томографом, содержит довольно объемный, но неудовлетворяющий нас полностью функционал, с помощью которого можно было бы анализировать сканограммы более информативно, согласно разработанным новым критериям оценки. В связи с этим возникли новые цели и задачи, заключающиеся в разработке инструментов, не только повышающих качество анализа морфометрических параметров сканограмм, а также поиск новых способов сокращающих время его проведения.

Для устранения вышеперечисленных недостатков предложен способ морфометрической оценки патологических состояний сетчатки и хориоидеи по сканограммам оптической когерентной томографии глаза (положительное решение на выдачу патента РФ на изобретение по заявке № 2021124660 от 19.08.2021 г.)

Способ осуществляют следующим образом. Производят оптическим когерентным томографом прижизненное сканирование сетчатки и хориоидеи, на полученных фасных и профильных сканограммах производят маркерную разметку границ очага и его составляющих элементов относительно неизменных участков. Далее на фасных сканограммах определяют величины – общей площади патологического очага; площадей его отечной, пролиферативной, атрофических частей; зон отслоек пигментного эпителия и сетчатки; выводят линейные и процентные соотношения полученных значений площадей между собой и к нормальной площади макулы.

Затем на каждой профильной сканограмме производят последовательно:

- автоматическую идентификацию и сегментацию границ патологического очага;
- разметку уровней нормального положения мембраны Бруха, пигментного слоя и внутреннего слоя нервных волокон сетчатки путем соединения линиями на сканограмме их неизменных участков, расположенных с обеих сторон от патологического очага;
- визуальную обводку/разметку разным для каждого элемента цветом: а) внешнего контура всего патологического очага; б) контура патологического положения внутреннего слоя нервных волокон; в) контура патологического положения пигментного слоя; г) контура патологического положения мембраны Бруха;
- доскональную обводку/разметку разным для каждого элемента цветом внутри патологического

очага: а) контуров визуально более темных пустотных участков «минус ткань» – зон отека; б) визуально более светлых плотных участков «плюс ткань» – зон пролиферации;

- измерение высоты по положению разметок:

а) общего стояния очага – от уровня нормального положения пигментного слоя или мембраны Бруха до наивысшего уровня патологического положения внутреннего слоя нервных волокон; б) стояния пигментного эпителия – от уровня нормального положения пигментного слоя или мембраны Бруха до наивысшего уровня их патологического положения, и от нижнего уровня патологического положения пигментного слоя до его наивысшего уровня патологического положения; в) стояния хориоидальной части патологического очага – от уровня нормального положения пигментного слоя или мембраны Бруха до вершины их патологического положения при условии прилегания к хориоидеи; г) стояния ретинальной части патологического очага – от уровня патологического положения пигментного слоя до уровня патологического положения внутреннего слоя нервных волокон сетчатки;

- измерение на каждой профильной сканограмме площадей: а) всего очага; б) хориоидальной его части; в) ретинальной его части; г) зон отека и их суммацию; д) зон пролиферации и их суммацию; е) зон атрофии и их суммацию;

- умножение суммарного значения площади на величину расстояния между сканами и суммацию полученных значений для выведения в патологическом очаге общего объема: а) всего очага; б) хориоидальной его части; в) ретинальной его

части; г) зон отека; д) зон пролиферации; е) зон атрофии;

- выведение линейных и процентных соотношений полученных объемов между собой и к нормальному объему макулы;

- транскрипцию полученных значений площадей и объемов фасных и профильных сканограмм в клиническое заключение: а) преобладающий вид поражения по соотношению объемов внутренних составляющих очага – отслоечный, отечный, пролиферативный, атрофический, смешанный при относительном соответствии их значений друг другу; б) степень/стадия поражения по общей площади и общему объему патологического очага.

Далее при необходимости выполняют последующие во времени сканирования с аналогичным их анализом и сравнение вновь полученных результатов с предыдущими для оценки направления пространства, скорости процесса и характере изменений в патологическом очаге – стабилизация, прогрессирование, регрессирование, как в целом, так и отдельных его составляющих.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для осуществления этой задачи авторами разработаны и протестированы алгоритмы идентификации и сегментации границ всего патологического очага и его составляющих – кист, отеков, субретинальных жидкостей, неоваскуляризации макулярной области сетчатки глаза для программного обеспечения, обеспечивающего повышение качества анализа сканограмм [10, 11] (рис. 1–4).

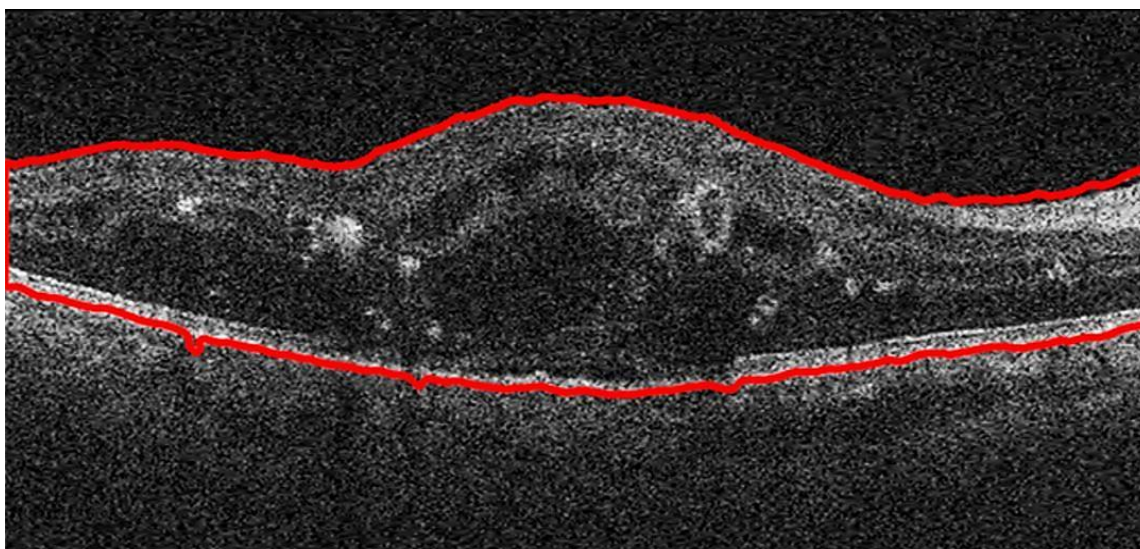


Рис. 1. Ориентация границ очага

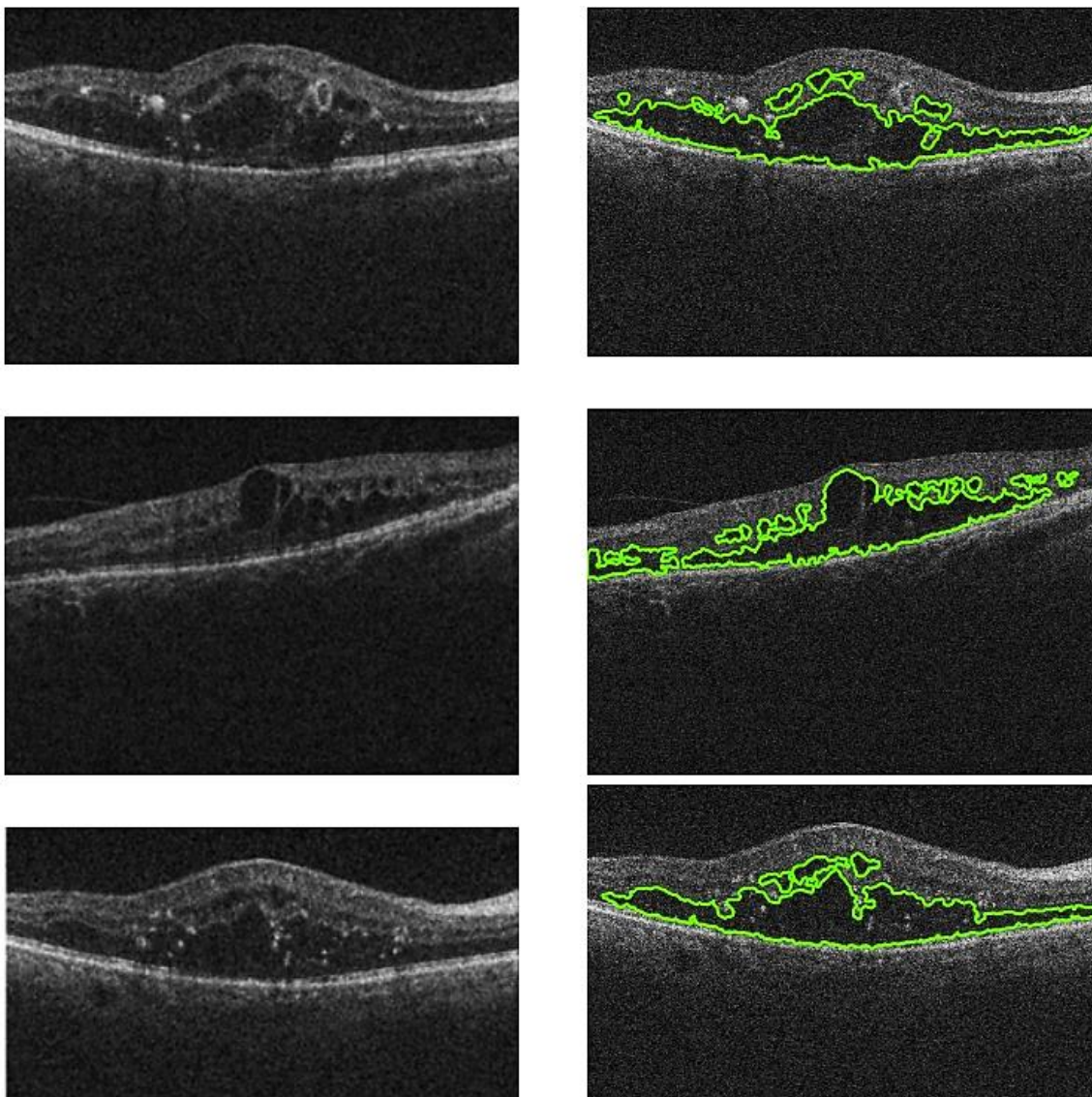


Рис. 2. Сегментация кист/отеков внутри очага

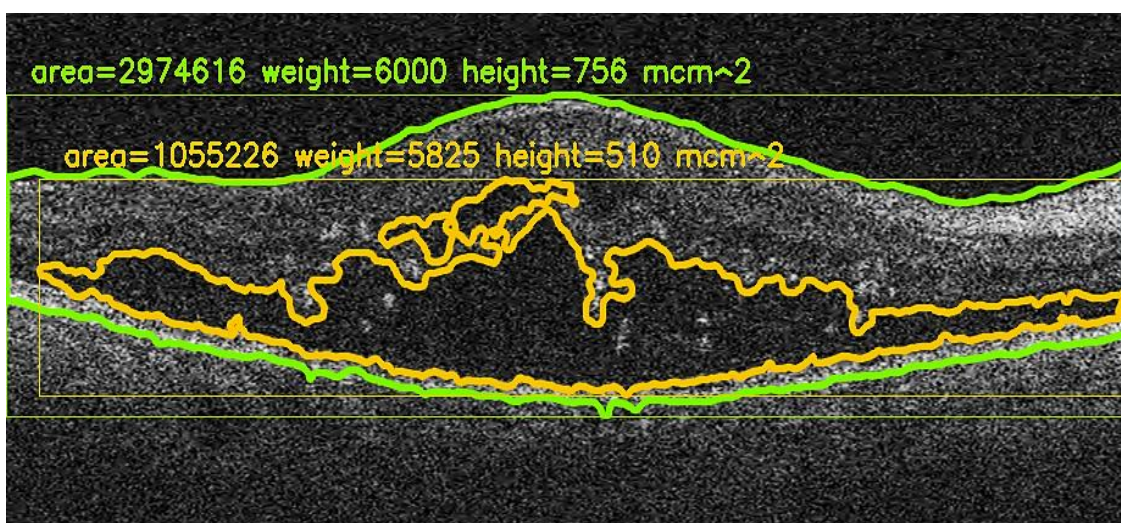


Рис. 3. Измерение площадей, маркерная разноцветная разметка границ патологического очага и его составляющих

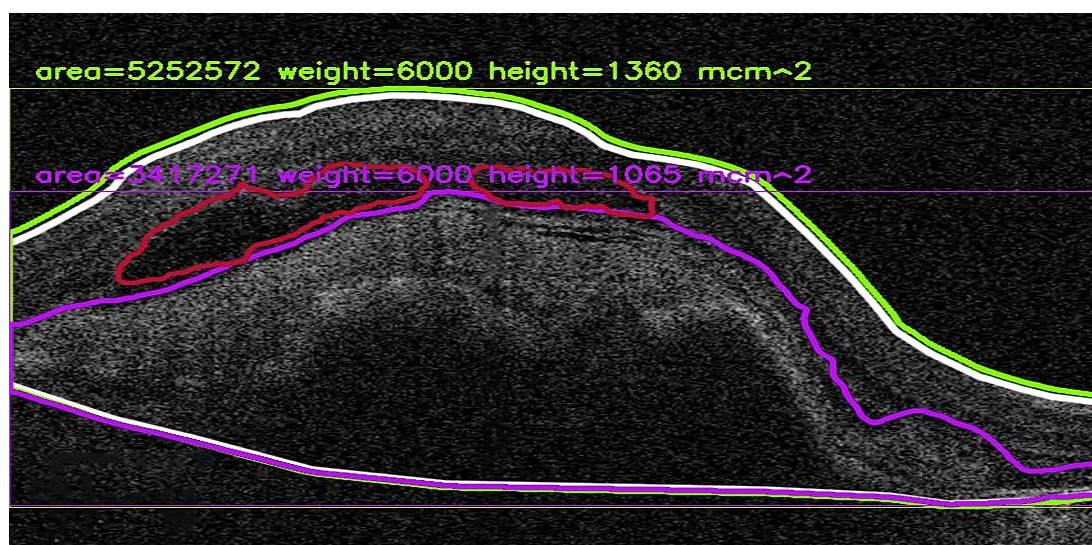


Рис. 4. Измерение площадей, маркерная разноцветная разметку границ патологического очага

Пример обработки сканограмм пациента Д., женщина 1938 г.р., с ВМД влажной формы, Vis = 0,02 н/к.

На сканограмме визуализируется характерный гиперрефлективный субретинальный рубец с неоднородной структурой с интравитреальными кистами. Высота всего очага на 1-й сканограмме по положению разметок от уровня нормального положения ПЭ до наивысшего уровня патологического положения внутреннего слоя нервных волокон 5 252 572 мкм, ширина 6 000 мкм, площадь 1 360 мкм², площадь

кистозных изменений 627 мкм². Высота аномальной неоваскулярной ткани от уровня нормального положения ПЭ до наивысшего уровня его патологического положения, представленный на сканограмме в виде дисциформного гиперрефлективного конгломерата, составила 3 417 271 мкм, ширина 6 000 мкм, площадь 1 065 мкм² (78 % от площади всего очага).

При сравнении площади отека и площади мембраны выявлено преобладание площади мембраны (рис. 5).

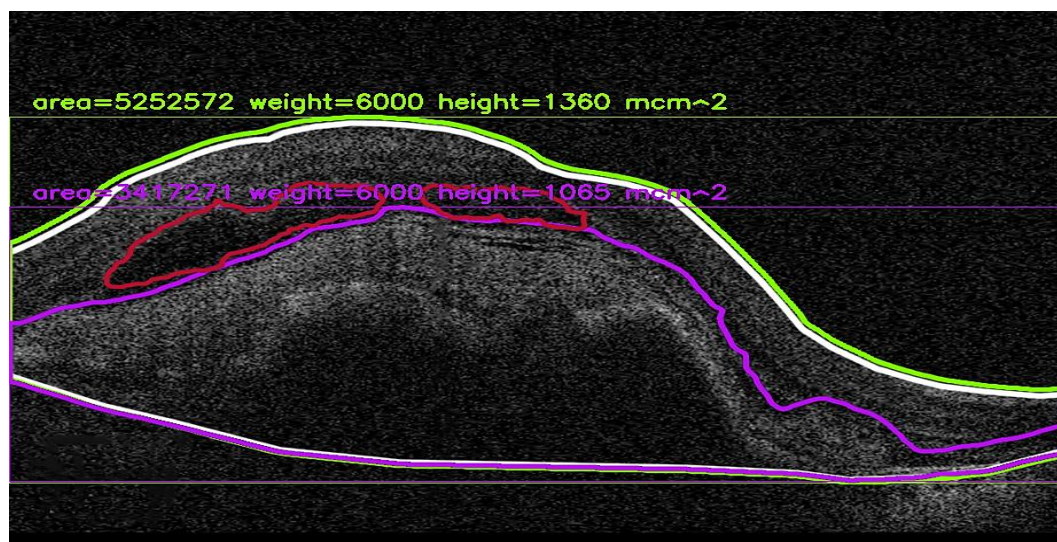


Рис. 5. Исходное состояние макулы

Через 3 мес. после ИВВ ИАГ (3 загрузочных доз), Vis = 0,02 н/к.

На сканограмме визуализируется характерный гиперрефлективный субретинальный рубец с неоднородной структурой с интравитреальной кистой.

Высота всего очага на 2-й сканограмме по положению разметок от уровня нормального положения ПЭ до наивысшего уровня патологического положения внутреннего слоя нервных волокон – 5 451 436 мкм, ширина 6 000 мкм, площадь 1 351 мкм², площадь кистозных изменений 120 мкм².

Высота аномальной неоваскулярной ткани от уровня нормального положения ПЭ до наивысшего уровня его патологического положения, представленный на сканограмме в виде дисциформного гиперрефлективного конгломерата, составила 3 712 009 мкм,

ширина 6 000 мкм, площадь 1 081 мкм² (80 % от площади всего очага). При сравнении площади отека и площади мембраны было выявлено преобладание площади мембраны. Площадь очага незначительно уменьшилась на 9 мкм от исходных данных (рис. 6).

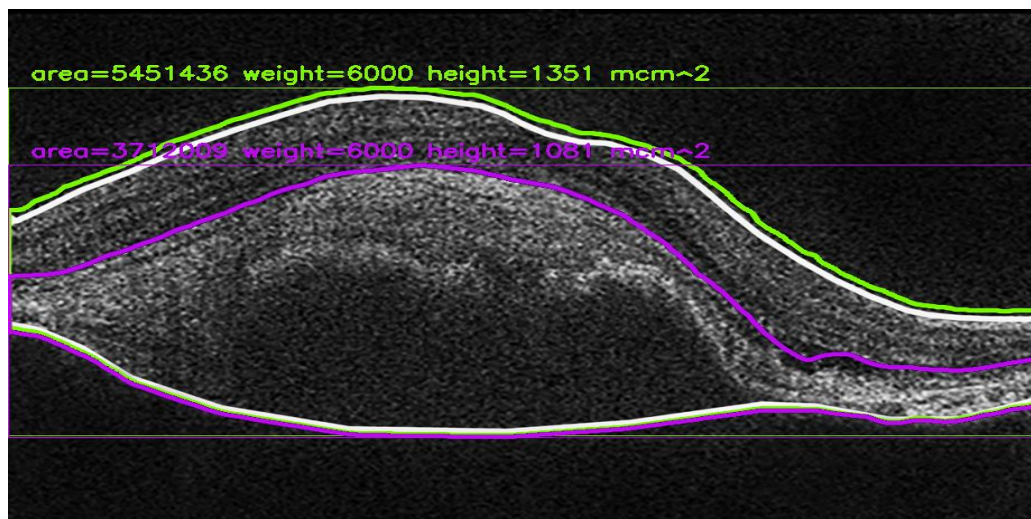


Рис. 6. Состояние макулы через 3 мес. после ИВВ ИАГ (3 загрузочных доз)

Через 6 мес. после ИВВ ИАГ (3 загрузочных доз), Vis = 0,01 н/к.

На сканограмме визуализируется характерный гиперрефлективный субретинальный рубец с неоднородной структурой с интравитреальными кистами. Высота всего очага на 3-й сканограмме по положению разметок от уровня нормального положения ПЭ до наивысшего уровня патологического положения внутреннего слоя нервных волокон – 6 112 466 мкм, ширина – 6 000 мкм, площадь – 1 510 мкм², площадь кистозных изменений – 385 мкм².

Высота аномальной неоваскулярной ткани от уровня нормального положения ПЭ до наивысшего уровня его патологического положения, представленного на сканограмме в виде дисциформного гиперрефлективного конгломерата составила 4 052 243 мкм, ширина – 6 000 мкм, площадь – 1 146 мкм² (75,8 % от площади всего очага).

При сравнении площади отека и площади мембраны было выявлено преобладание площади мембраны. Площадь очага незначительно увеличилась на 150 мкм от исходных данных (рис. 7).

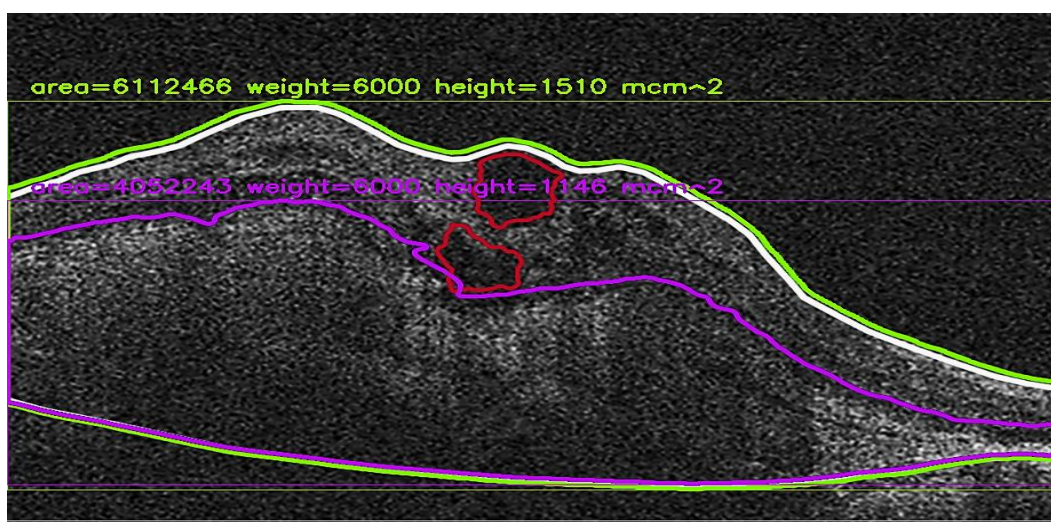


Рис. 7. Состояние макулы через 6 мес. после ИВВ ИАГ (3 загрузочных доз)

Через 9 мес. после ИВВ ИАГ (3 загрузочных доз),
Vis = 0,01 н/к.

На сканограмме визуализируется характерный гиперрефлективный субретинальный рубец с неоднородной структурой с интравитреальными кистами. Высота всего очага на 4-й сканограмме по положению разметок от уровня нормального положения ПЭ до наивысшего уровня патологического положения внутреннего слоя нервных волокон – 5 875 253 мкм, ширина – 6 000 мкм, площадь – 1 292 мкм², площадь кистозных изменений – 391 мкм².

Высота аномальной неоваскулярной ткани от уровня нормального положения ПЭ до наивысшего уровня его патологического положения, представленного на сканограмме в виде дисциформного гиперрефлективного конгломерата, составила 3 872 196 мкм, ширина – 6 000 мкм, площадь 1 032 мкм² (79,9 % от площади всего очага).

При сравнении площади отека и площади мембраны было выявлено преобладание площади мембраны. Площадь очага незначительно уменьшилась на 68 мкм от исходных данных (рис. 8).

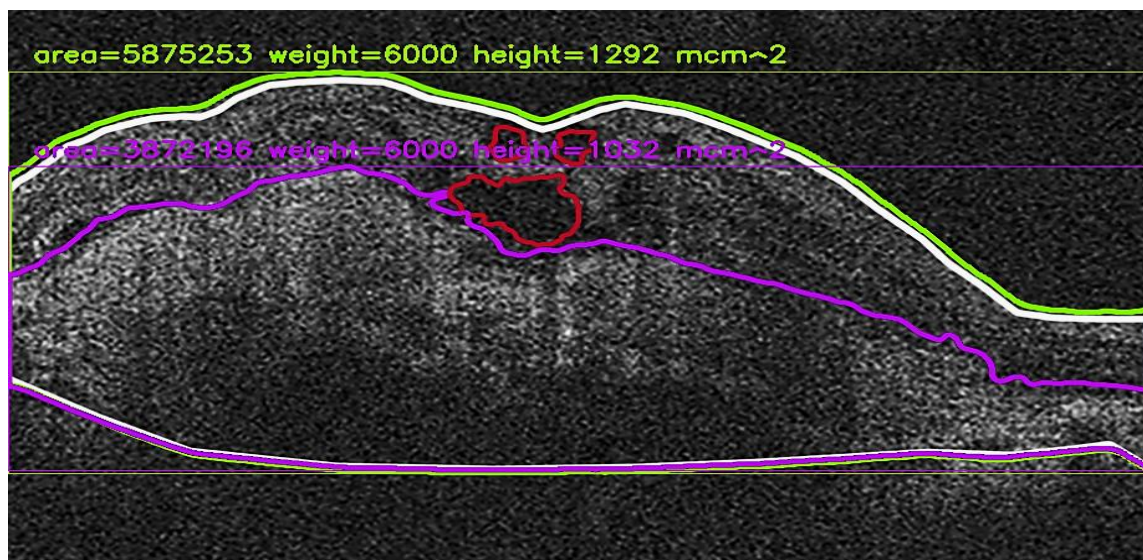


Рис. 8. Состояние макулы через 9 мес. после ИВВ ИАГ (3 загрузочных доз)

Вывод: проведенный анализ состояния патологического макулярного очага в соответствии по положению разметок от уровня нормального положения ПЭ до наивысшего уровня патологического положения внутреннего слоя нервных волокон и от уровня нормального положения ПЭ до наивысшего уровня его патологического положения показал, что у пациента Д., 1938 г.р., наблюдается преобладание фиброзной формы ВМД с неблагоприятным прогнозом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработаны алгоритмы идентификации и сегментации кист, отеков, субретинальных жидкостей макулярной области сетчатки глаза, маркерная разноцветная для каждого элемента разметка границ патологического очага и его составляющих относительно неизменных участков. Они измеряют общую площадь патологического очага; площади его отечной, пролиферативной, атрофичной частей; площади зон отслоек пигментного эпителия и сетчатки; выводят

линейные и процентные соотношения полученных значений площадей между собой и к нормальной площади макулы.

2. Использование этого способа позволяет не только сократить время обработки изображения и не потерять при этом качество, а обеспечить еще более высокое качество анализа сканограмм сетчатки пациентов с влажной формой ВМД.

3. Техническим результатом проведенной работы является достоверная дифференцированная диагностика патологических изменений в макулярной области, что позволяет обоснованно назначить соответствующий вид и объем консервативного и лазерного лечения для стабилизации и улучшения центральных зрительных функций пациентов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Global causes of blindness and distance vision impairment in 1990–2020: a systematic review and meta-analysis / S.R. Flaxman, R.R.A. Born, S. Resnickoff [et al.] // Lancet Glob. Health. 2017. Vol. 5, no. 12. P. e1221–e1234.

2. A large genomic association study of age-related macular degeneration highlights the contribution of rare and common variants / L.G. Fritsche, W. Igl, J.N. Bailey [et al.] // *Nat Genet.* 2016. Vol. 48, no. 2. P. 134–143.

3. Wong W.L., Su H. Global prevalence of age-related yellow spot degeneration and disease burden projections for 2020 and 2040: a systematic review and metaanalysis // *Lancet Planet Health.* 2014. Vol. 2, no 2. P. 106–116.

4. Будзинская М.В., Погода Т.В., Генерозов Э.В. Влияние генетических мутаций на клиническую картину субретинальной неоваскуляризации. Сообщение 1. Роль полиморфизмов генов CFH и IL-8 // *Вестник офтальмологии.* 2011. Т. 127, № 4. С. 3–8.

5. Астахов Ю.С., Белехова С.Г. Толщина хориоидеи в норме и при возрастной макулярной дегенерации // *Офтальмологические ведомости.* 2014. Т. 7, № 1. С. 4–7.

6. Астахов Ю.С., Лисочкина А.Б., Нечипоренко П.А. Современные методы диагностики «сухой» формы возрастной макулярной дегенерации // *Офтальмологические ведомости.* 2010. Т. III, № 2. С. 41–47.

7. Белехова С.Г. Сравнительный анализ морфометрических параметров структур глазного дна, полученных на различных типах оптических когерентных томографов: дис. ... канд. мед. наук. СПб., 2019.

8. Lumbroso B., Rispoli M. ОКТ сетчатки. Метод анализа и интерпретации / пер. с англ.; под ред. В.В. Нероева, О.В. Зайцевой. М., 2012.

9. Влажная форма возрастной макулярной дегенерации: морфометрические характеристики, возможности диагностики / Ю.Ф. Бондаренко, Р.В. Гайбарян, А.Н. Епихин [и др.] // *Современные технологии в офтальмологии.* 2019. Т. 1. С. 247–250.

10. Автоматическая сегментация границ субретинальных жидкостей в слоях макулярной области сетчатой оболочки глаза для повышения качества анализа сканогамм оптической когерентной томографии сетчатки пациентов с влажной формой ВМД / В.А. Филиппенко, В.В. Долгов, Ю.Ф. Бондаренко [и др.] // *Инженерный вестник Дона.* 2021. № 12. URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2021/7337>.

11. Filippenko V.A., Bondarenko U.F., Dolgov V.V., Epikhin A.N. Automatic segmentation of the borders of the pathological focus in the macular area of the retina to calculate the area of the pathological focus // *Journal of Physics: Conference Series, Volume 2131, Mathematical modeling and computational methods in problems of hydro-aerodynamics, magnetohydrodynamics, plasma physics and astrophysics.* URL: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2131/2/022081>.

REFERENCES

1. Flaxman S.R., Born R.R. A., Resnickoff S., et al. Global causes of blindness and distance vision impairment

in 1990–2020: a systematic review and meta-analysis. *Lancet Glob. Health.* 2017;5(12):e1221–e1234.

2. Fritsche L.G., Igl W., Bailey J.N. et al. A large genomic association study of age-related macular degeneration highlights the contribution of rare and common variants. *Nat Genet.* 2016;48(2):134–143.

3. Wong W.L., Su H. Global prevalence of age-related yellow spot degeneration and disease burden projections for 2020 and 2040: a systematic review and metaanalysis. *Lancet Planet Health.* 2014;2(2):106–116.

4. Budzinskaya M.V., Pogoda T.V., Genozov E.V. The influence of genetic mutations on the clinical picture of subretinal neovascularization. Message 1. The role of CFH and IL-8 gene polymorphisms. *Vestnik oftal'mologii = Bulletin of Ophthalmology.* 2011;127(4):3–8. (In Russ.).

5. Astakhov Yu.S., Belekova S.G. Choroidal thickness in normal and age-related macular degeneration. *Oftal'mologicheskie vedomosti = Ophthalmological journals.* 2014; 7(1):4–7. (In Russ.).

6. Astakhov Yu.S., Lisochkina A.B., Nechiporenko P.A. Modern methods of diagnosing the "dry" form of age-related macular. *Oftal'mologicheskie vedomosti = Ophthalmological journals.* 2010;III(2):41–47. (In Russ.).

7. Belekova S.G. Comparative analysis of the morphometric parameters of the structures of the fundus obtained on various types of optical coherence tomographs: Dissertation of the Candidate of Medical Sciences. St. Petersburg, 2019. (In Russ.).

8. Lumbroso B., Rispoli M. Method of analysis and interpretation. Translation from English; ed. by V.V. Neroeva, O.V. Zaitseva. Moscow, 2012.

9. Bondarenko Yu.F., Gaybaryan R.V., Epikhin A.N., Epikhina Yu.N., Epikhin N.A. Wet form of age-related macular degeneration: morphometric characteristics, diagnostic possibilities. *Sovremennyye tekhnologii v oftal'mologii = Modern technologies in ophthalmology.* 2019;1:247–250. (In Russ.).

10. Filippenko V.A., Dolgov V.V., Bondarenko Yu.F. et al. Automatic segmentation of the boundaries of subretinal fluids in the layers of the macular area of the retina to improve the quality of the analysis of optical coherence tomography scans of the retina in patients with wet AMD. *Inzhenernyy vestnik Dona = Engineering Bulletin of the Don.* 2021;12. URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2021/7337>. (In Russ.).

11. Filippenko V.A., Bondarenko U.F., Dolgov V.V., Epikhin A.N. Automatic segmentation of the borders of the pathological focus in the macular area of the retina to calculate the area of the pathological focus. *Journal of Physics: Conference Series, Vol. 2131, Mathematical modeling and computational methods in problems of hydro-aerodynamics, magnetohydrodynamics, plasma physics and astrophysics.* URL: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2131/2/022081>.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация об авторах

Юлия Федоровна Бондаренко – врач-офтальмолог, имеющий вторую квалификационную категорию, Центр микрохирургии глаза, Ростовский государственный медицинский университет, Ростов-на-Дону, Россия, <https://orcid.org/0000-0002-0886-8643>

Александр Николаевич Епихин – кандидат медицинских наук, доцент, заведующий кафедрой офтальмологии, Ростовский государственный медицинский университет, Ростов-на-Дону, Россия, <https://orcid.org/0000-0002-9514-5039>, kgb1rostgmu@yandex.ru

Юлия Николаевна Епихина – кандидат медицинских наук, доцент кафедры офтальмологии, Ростовский государственный медицинский университет, Ростов-на-Дону, Россия, <https://orcid.org/0000-0002-9514-5039>, kgb1rostgmu@yandex.ru

Виктор Александрович Филиппенко – студент очного отделения отдела магистратуры кафедры программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем, 2-й курс, Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия, <https://orcid.org/0000-0003-1552-3130>, philippenko@inbox.ru

Василий Валерьевич Долгов – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем, Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия, <https://orcid.org/0000-0001-5601-6704>, vasily.v.dolgov@mail.ru

Статья поступила в редакцию 16.06.2022; одобрена после рецензирования 02.08.2022; принята к публикации 23.08.2022.

The authors declare no conflicts of interests.

Information about the authors

Yulia F. Bondarenko – ophthalmologist, having the second qualification category, Eye Microsurgery Center, Rostov State Medical University, Rostov-on-Don, Russia, <https://orcid.org/0000-0002-0886-8643>

Alexander N. Epikhin – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Ophthalmology, Rostov State Medical University, Rostov-on-Don, Russia, <https://orcid.org/0000-0002-9514-5039>, kgb1rostgmu@yandex.ru

Yulia N. Epikhina – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Department of Ophthalmology, Rostov State Medical University, Rostov-on-Don, Russia, <https://orcid.org/0000-0002-9514-5039>, kgb1rostgmu@yandex.ru

Viktor A. Filippenko – full-time student of the Master's Degree Department of the Department of Computer Engineering and Automated Systems Software, 2nd year, Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia, <https://orcid.org/0000-0003-1552-3130>, philippenko@inbox.ru

Vasily V. Dolgov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Computer Engineering and Automated Systems Software, Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia, <https://orcid.org/0000-0001-5601-6704>, vasily.v.dolgov@mail.ru

The article was submitted 16.06.2022; approved after reviewing 02.08.2022; accepted for publication 23.08.2022.