

# Спектральная ОКТ-ангиография в режиме En Face в выявлении морфологических изменений ретинального пигментного эпителия до и после селективного микроимпульсного лазерного воздействия у пациентов с центральной серозной хориоретинопатией

П. Л. Володин<sup>1</sup>Е. В. Иванова<sup>1</sup>Е. Ю. Полякова<sup>1</sup>А. В. Фомин<sup>2</sup>

ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России  
Бескудниковский бульвар, 59а, Москва, 127486, Российская Федерация

<sup>2</sup> ФГБНУ «Научно-исследовательский институт глазных болезней»  
ул. Россолимо, 11а, б, Москва, 119021, Российская Федерация

## РЕЗЮМЕ

Офтальмология. 2019;16(2):192–201

**Цель** — изучить морфологические изменения ретинального пигментного эпителия (РПЭ) методом оптической когерентной томографии-ангиографии (ОКТ-А) в режиме En Face до и после селективного микроимпульсного лазерного воздействия у пациентов с центральной серозной хориоретинопатией (ЦСХРП), определить соответствие между топографическим расположением дефектов и отслойки РПЭ на ОКТ-ангиограммах в режиме En Face и точками фильтрации на ФАГ. **Пациенты и методы.** Под наблюдением находились 20 пациентов (21 глаз) с ЦСХРП до и после лазерного лечения. Всем пациентам выполняли ФАГ и ОКТ-А высокого разрешения по протоколу *Angio Retina 2x2* или *3x3* мм и *HD Angio Retina 6x6* мм. Лечение проводили в селективном микроимпульсном режиме с индивидуальным подбором параметров с использованием навигационной лазерной системы Navilas 577s ("OD-DS", Германия) или лазерной установки IQ 577 ("IRIDEX", США). Результаты оценивали в сроки 2 недели и 1 месяц после лечения. **Результаты.** Во всех случаях точки фильтрации субретинальной жидкости на ФАГ соответствовали топографическому расположению дефектов и отслоек РПЭ, выявленных на ОКТ-А в режиме En Face. По данным ОКТ-А (En Face) найдены следующие морфологические изменения: в 5 случаях — единичные дефекты РПЭ, в 7 — множественные дефекты РПЭ, в 9 — щелевидные отслойки РПЭ, у 3 пациентов наблюдалось сочетание щелевидной отслойки и дефекта РПЭ. Размеры дефектов РПЭ варьировали в диапазоне от 21 до 159 мкм, при этом преобладала их округлая форма. Через 1 месяц после селективного микроимпульсного лазерного воздействия на ОКТ-А в режиме En Face наблюдалось закрытие дефектов и прилегание отслоек РПЭ у всех пациентов, что приводило к резорбции субретинальной жидкости и прилеганию нейросенсорной сетчатки. **Выводы.** ОКТ-А в режиме En Face является высокоинформативным методом диагностики, позволяющим неинвазивно выявлять морфологические изменения РПЭ с четкой топографической локализацией относительно ретинальной сосудистой сети, а также оценивать результативность селективного микроимпульсного лазерного лечения у пациентов с ЦСХРП.

**Ключевые слова:** оптическая когерентная томография, Ангио-ОКТ, режим En Face, микроимпульсное лазерное воздействие, центральная серозная хориоретинопатия

**Для цитирования:** Володин П.Л., Иванова Е.В., Фомин А.В., Полякова Е.Ю. Спектральная ОКТ-ангиография в режиме En Face в выявлении морфологических изменений ретинального пигментного эпителия до и после селективного микроимпульсного лазерного воздействия у пациентов с центральной серозной хориоретинопатией. *Офтальмология*. 2019;16(2):192–201. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2019-2-192-201>

**Прозрачность финансовой деятельности:** Никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах

**Конфликт интересов отсутствует**



# Spectral OCT-Angiography in En Face Mode for Detection of Morphological Changes in the Retinal Pigment Epithelium before and after Selective Micro-Pulse Laser Exposure in Patients with Central Serous Chorioretinopathy

P.L. Volodin<sup>1</sup>, E.V. Ivanova<sup>1</sup>, A.V. Fomin<sup>2</sup>, E. Iu. Polyakova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>The S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution  
Beskudnikovskiy blvd, 59a, Moscow, 127486, Russia

<sup>2</sup>Research Institute of Eye Diseases  
Rossolimo str., 11a, b, Moscow, 119021, Russia

## ABSTRACT

Ophthalmology in Russia. 2019;16(2):192–201

**Purpose** — to study the morphological changes of the retinal pigment epithelium (RPE) by optical coherence tomography-angiography (OCT-A) in *En Face* mode before and after selective micropulse laser irradiation in patients with central serous chorioretinopathy (CSC), determine the correspondence between the topographic location of RPE defects and detachment on the OCT-angiogram in *En Face* mode and points of leakage on the FAG. **Patients and methods.** There were 20 patients (21 eyes) with CSC before and after laser treatment under the observation. All patients underwent high-resolution FAG and OCT-A using *Angio Retina 2x2* or *3x3* mm protocol and *Angio Retina HD 6x6* mm. The treatment was carried out in a selective micropulse mode with individual selection of parameters using the Navilas 577s navigation laser system (OD-OS, Germany) or the IQ 577 laser system (IRIDEX, USA). Results were evaluated at 2 weeks and 1 month after treatment. **Results.** In all cases, the leaking points of the subretinal fluid on FAG corresponded to the topographic location of defects and detachments of RPE detachment on OCT-A *En Face*. According to OCT-A *En Face*, the following morphological changes were revealed: in 5 cases — single defects of RPE, in 7 cases — multiple defects of RPE, in 9 cases of slit-like detachment of RPE, in 3 patients a combination of slit-like detachment and defect RPE. The sizes of RPE defects varied in the range from 21 to 159 microns, while their rounded shape prevailed. 1 month after the selective micropulse laser effect on OCT-A in the *En Face* mode, the defects were closed and the RPE detachments fit in all patients, which resulted in resorption of the subretinal fluid and the neurosensory retina attachment. **Findings.** OCT-A in *En Face* mode is a highly informative diagnostic method that allows non-invasive detection of morphological changes in RPE with a clear topographic localization relative to the retinal vascular network, as well as evaluating the effectiveness of selective micropulse laser treatment in patients with CSC.

**Keywords:** optical coherence tomography, Angio-OCT, *En Face* mode, micropulse laser effects, central serous chorioretinopathy

**For citation:** Volodin P.L., Ivanova E.V., Fomin A.V., Polyakova E. Iu. Spectral OCT-Angiography in En Face Mode for Detection of Morphological Changes in the Retinal Pigment Epithelium before and after Selective Micro-Pulse Laser Exposure in Patients with Central Serous Chorioretinopathy. *Ophthalmology in Russia*. 2019;16(2):192–201. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2019-2-192-201>

**Financial Disclosure:** No author has a financial or property interest in any material or method mentioned

**There is no conflict of interests**

## АКТУАЛЬНОСТЬ

Центральная серозная хориоретинопатия (ЦСХРП) — заболевание, которое характеризуется многофакторной этиологией и сложностью патогенеза, а также прямой взаимосвязью с системными процессами в организме. Характерным клиническим проявлением ЦСХРП является серозная отслойка нейросенсорной сетчатки, возникновению которой предшествуют морфологические изменения ретинального пигментного эпителия (РПЭ). Согласно современной теории патогенеза данного заболевания в основе его развития лежит хориоидальная дисфункция, ведущая к нарушению барьерной и насосной функции РПЭ; формирование дефектов РПЭ, вследствие которого происходит просачивание жидкости из хориокапилляров и накопление ее в субретинальном пространстве [1–6]. В соответствии с вышеперечисленными факторами патогенетически обоснованным подходом для достижения клинического результата является прицельное воздействие на определенные участки пигментного эпителия сетчатки [7–10]. Пролиферация клеток в зоне дефектов

РПЭ с восстановлением целостности его слоя способствует резорбции субретинальной жидкости, препятствует ее дальнейшему накоплению в субретинальном пространстве, что, в конечном счете, приводит к прилеганию отслоенной нейросенсорной сетчатки. Исходя из патогенеза заболевания, теории хориоидальной дисфункции и основных принципов селективного лазерного воздействия, возникает необходимость детально изучить изменения, происходящие на уровне РПЭ — мембрана Бруха — хориоидея с помощью современных методов визуализации внутриглазных структур [11].

«Золотым стандартом» диагностики ЦСХРП является ангиография с использованием флюоресцеина, которая позволяет выявлять точки либо участки просачивания красителя и дает возможность выполнения топографически направленного лазерного лечения [8]. Флюоресцентная ангиография (ФАГ) обеспечивает получение двухмерного изображения с широкопольной визуализацией ретинальной сосудистой сети. Характерным ангиографическим признаком нарушения сосудистой

P.L. Volodin, E.V. Ivanova, A.V. Fomin, E. Iu. Polyakova

Contact information: Polyakova Ekaterina Iu. [ekaterinapolyakova17@yandex.ru](mailto:ekaterinapolyakova17@yandex.ru)

193

Spectral OCT-Angiography in En Face Mode for Detection of Morphological Changes in the Retinal...

проницаемости является экстравазальный выход («ликедж») красителя либо накопление флюоресцеина в различных структурах. Однако ФАГ является инвазивным методом исследования, и ее выполнение сопряжено с возможным риском развития нежелательных эффектов, касающихся соматического состояния пациента [12]. Другим недостатком данного метода диагностики можно считать невозможность раздельной визуализации поверхностных и глубоких интратретинальных сосудистых сплетений [12, 13].

Перспективность применения спектральной оптической когерентной томографии (ОКТ) определяется безопасностью метода и его достаточной информативностью, касающейся трактовки динамики течения заболевания. Новые возможности в изучении состояния РПЭ и его морфологических изменений при ЦСХРП открывает метод ОКТ-ангиографии (ОКТ-А) в режиме *En Face*, позволяющий неинвазивно детально исследовать выделенный слой ткани регулируемой толщины, в том числе слой, содержащий РПЭ [14]. При этом полученная информация дает возможность расширить представления о состоянии РПЭ при ЦСХРП и детально визуализировать морфологические изменения РПЭ с четкой локализацией относительно сосудистой сети.

**Цель** — изучить морфологические изменения РПЭ с помощью метода ОКТ-А в режиме *En Face* до и после селективного микроимпульсного лазерного воздействия у пациентов с ЦСХРП, определить соответствие между топографическим расположением дефектов и отслоек РПЭ на ОКТ-ангиограммах в режиме *En Face* и точками фильтрации на ФАГ.

## ПАЦИЕНТЫ И МЕТОДЫ

Под нашим наблюдением находились 20 пациентов (21 глаз) с ЦСХРП в возрасте от 32 до 55 лет (в среднем  $43,0 \pm 1,1$  года), из них 12 мужчин и 8 женщин. Пациенты, как правило, предъявляли жалобы на «затуманивание зрения», нарушение цветового восприятия и искажение изображения (метаморфопсии), а также снижение остроты зрения в течение 3 и более месяцев (до 1 года и 9 месяцев). В данное исследование не входили пациенты с сопутствующей патологией органа зрения и тяжелыми соматическими заболеваниями. На первом этапе диагностического исследования, кроме стандартного офтальмологического обследования, всем пациентам проводили ФАГ с использованием ретиноангиографа Spectralis® HRA (Heidelberg Engineering, США) и ОКТ-А высокого разрешения по протоколу *Angio Retina 2x2* или *3x3* мм и *HD Angio Retina 6x6* мм. Для диагностического поиска мы использовали оптический когерентный томограф высокого разрешения RTVue-100 XR Avanti (Optovue, США) с функцией ОКТ-А. Реализованный в томографе RTVue-100 XR Avanti способ ОКТ-А с помощью алгоритма SSADA основан на анализе разницы (т.е. так называемой декорреляции) последовательных ОКТ-А сканов. Применение во время сканирования

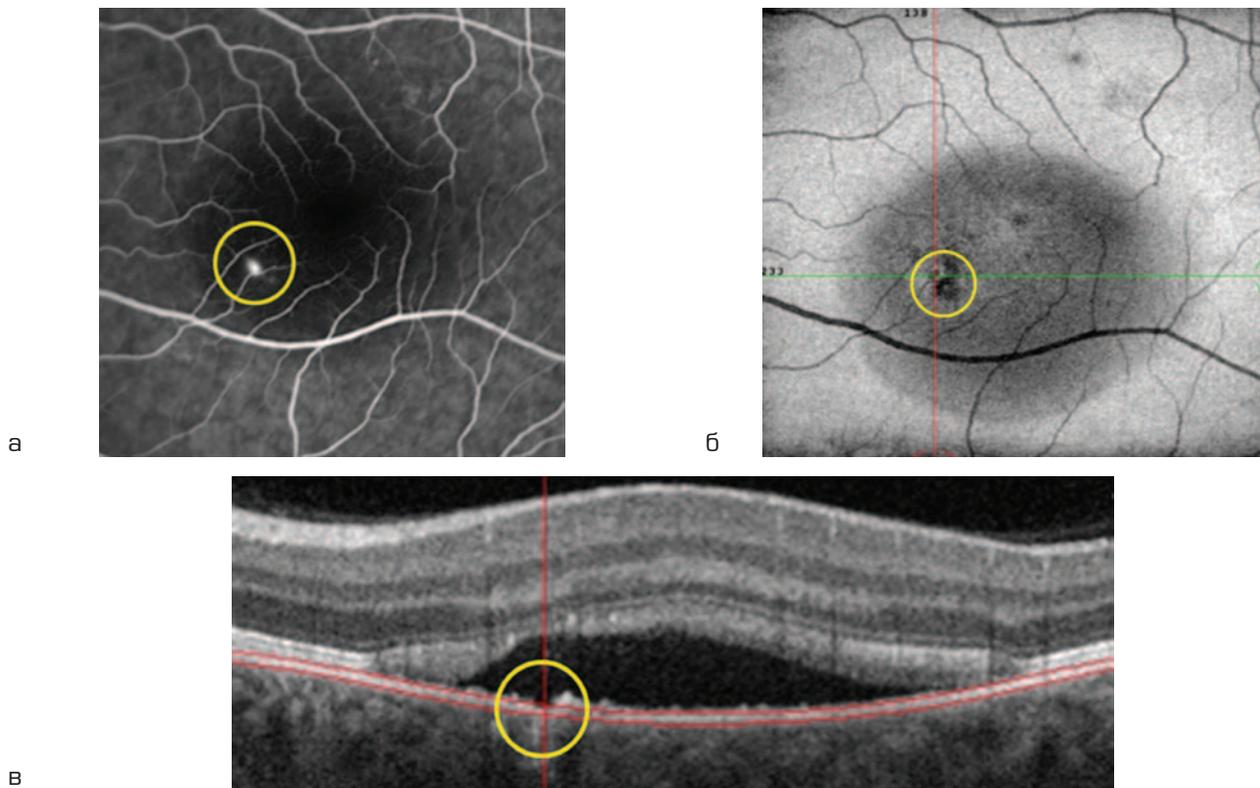
технологии разделения спектра (SSADA) позволяет повысить контрастность результирующего изображения за счет повышения соотношения полезный сигнал / шум, а также обеспечивает уменьшение чувствительности к осевым микродвижениям глаза пациента во время сканирования. Для корректной работы алгоритма ОКТ-А необходимо максимально полно устранить влияние микродвижений глаза в процессе сканирования. Для этого используется так называемая технология “Dual Track”: коррекция движений глаза пациента с помощью автоматической системы наведения — трекинга и пост-обработки изображения с помощью МСТ алгоритма (*Motion Correction Technology*). Сканирование сетчатки при МСТ алгоритме осуществляется в два этапа: сначала с применением горизонтальной развертки луча, а затем вертикальной — повторное перекрестное сканирование. При сканировании образуются артефакты, связанные с микродвижениями глаза пациента, — «сдвиги» и полосы на изображении. При повторном перекрестном сканировании микродвижения точно не повторяются, артефакты не проявляются в тех же местах и они ориентированы в другом направлении. Алгоритм МСТ сравнивает полученные изображения, находит зоны искажения и реконструирует неискаженное изображение с высокой точностью, что отображает структуры сетчатки. При ОКТ-А регистрируется объемная структура сетчатки и сосудистой сети, а это дает возможность получать как послойное изображение сосудистой сети, так и послойно изучать плотность тканей сетчатки в слое определенной толщины и топологии в режиме *En Face*. В данном режиме после завершения 3D-сканирования алгоритмом программы выделяется слой (*En Face Slab*) определенной толщины (обычно несколько десятков микрон), привязанный в пространстве к определенной тканевой структуре, например к РПЭ. Выделенный слой как бы «обрисовывает» профиль поверхности данной тканевой структуры, повторяя ее топологию строения — что отражает название режима: *En Face*. Оптимальным для диагностики РПЭ является выбор в качестве *En Face Slab* слоев *Choriocapillaris* или *Custom* с привязкой границ к РПЭ или к мембране Бруха. Оптимальная толщина слоя находится в интервале от 20 до 40 мкм (обычно 30 мкм). При меньшей толщине слоя уменьшается контрастность, требуемая для выявления дефектов (отверстий) в РПЭ по причине относительного увеличения соотношения сигнал/шум между областью дефекта и зоной, окружающей его. При большей толщине в выделенный слой, кроме пигментного эпителия, попадают соседние ткани сетчатки, что снижает диагностическую точность. Функция *Edit Bnd* (редактирование границ) применяется по необходимости для точного соответствия профиля выбранного *En Face Slab* слою РПЭ. При таком способе отображения, наблюдаемые в выделенном слое неоднородности, будут соответствовать неоднородностям в соответствующей тканевой структуре или (при соответствующем сдвиге этого слоя) в непосредственно

примыкающих к ней отделах сетчатки. *En Face* режим позволяет определять пространственное распределение выявленных локальных особенностей строения (например морфофункциональных изменений РПЭ) и их взаимоотношение с окружающими структурами сетчатки, стекловидного тела и др. В ряде ситуаций только в режиме *En Face* можно получить окончательное понимание распределения и взаимоотношений структур сетчатки. Указанный слой возможно перемещать в направлении «вверх» или «вниз» под визуальным контролем, анализируя над- и подлежащие структуры. Детализация слоев, получаемых в *En Face* режиме, зависит от количества В-сканов при построении исходного 3D-скана. Каждый В-скан создает одну строку в *En Face* изображении, и чем больше В-сканов в 3D-скане и чем больше пикселей в строке, тем больше разрешение в этом изображении. При ОКТ-А плотность сканов значительно выше, чем при обычном 3D-сканировании, это, в совокупности с эффектом применения МСТ алгоритма, обеспечивает лучшую детализацию *En Face* изображений, что позволяет выявить ранее не наблюдавшиеся тонкие детали структуры РПЭ *in vivo* (рис. 3). Далее в режиме *En Face*, используя слой с оптимальной толщиной, топологически повторяющий форму РПЭ, проводился анализ его локальных изменений и дефектов. Дефекты и отслойки РПЭ в режиме *En Face* проявляются как гипорефлективные зоны (области отсутствия или снижения плотности тканевой структуры РПЭ). Отслойки РПЭ на ОКТ-А режиме *En Face* выглядят как гипорефлективные участки темного цвета, которые по размеру соответствуют площади приподнятого слоя пигментного эпителия. При анализе *En Face* изображения необходимо обращать внимание на наличие затеняющих структур (например, экссудатов) над исследуемым участком, чтобы не принять тень от них за дефект тканевой структуры. Для улучшения наглядности выявления дефектов и отслоек РПЭ оператором при необходимости осуществлялся некоторый сдвиг этого слоя в аксиальном направлении в сторону от хориоидеи относительно заданного первоначальными настройками положения. В обычном 3D режиме плотность пикселей в *En Face* изображении около 948 пикселей на мм<sup>2</sup>, а в *En Face* изображении в протоколе *Angio Retina* плотность пикселей достигает 40 000 пикселей на мм<sup>2</sup>, что позволяет более детально и наглядно получать информацию о локальных особенностях РПЭ пациента. Помимо этого, применяемый при сканировании по протоколу *Angio Retina* алгоритм МСТ (см. выше) обеспечивает более точную передачу топологии РПЭ, т. е. этот алгоритм устраняет артефакты от микродвижений глаза пациента при сканировании. В ходе анализа данных обследований выявляли дефекты и отслойки РПЭ, оценивали размер и форму дефектов и их соответствие топографическому расположению точек просачивания на ФАГ. Для сравнительного анализа результатов двух методов исследования совмещали флуоресцентные ангиограммы и ОКТ-А томограммы в режиме *En Face*

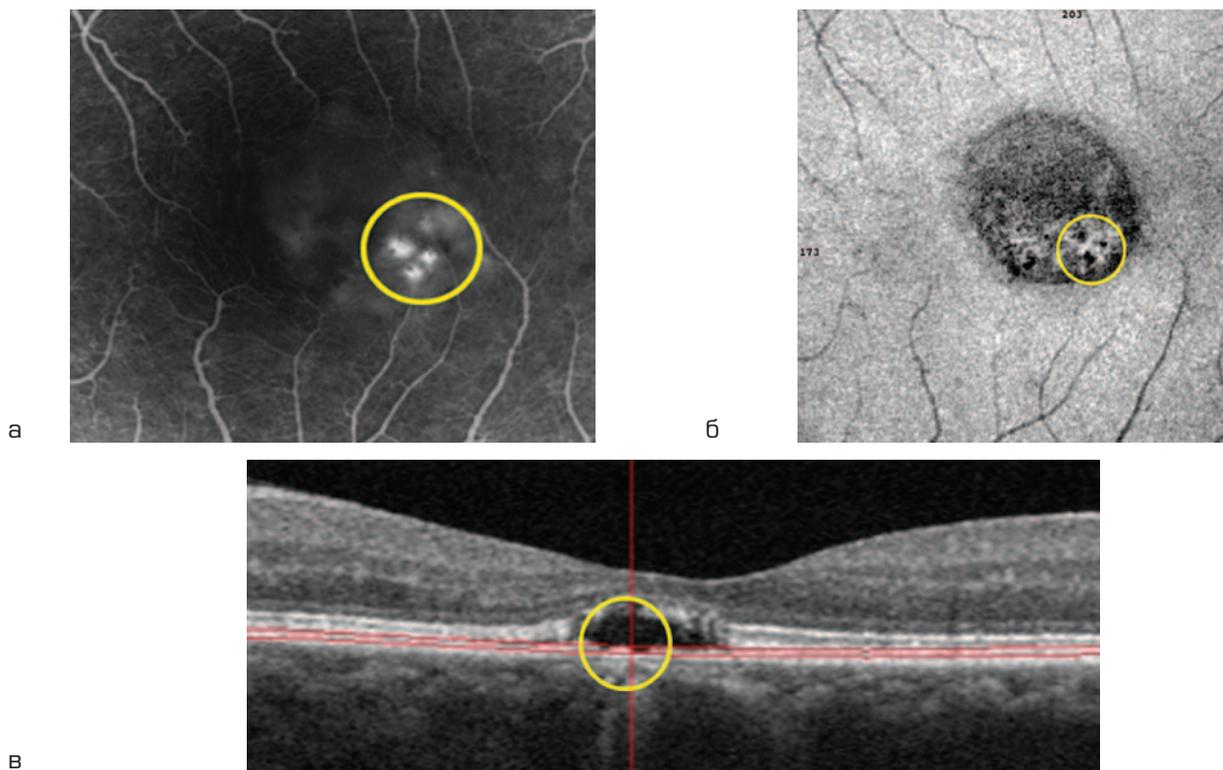
путем наложения одного изображения на другое. Дополнительно проводили прицельное ОКТ-сканирование в режиме *Line* для детального анализа выявленной зоны с морфологическими изменениями РПЭ. На втором этапе всем пациентам было выполнено селективное лазерное лечение в микроимпульсном режиме с индивидуальным подбором параметров на навигационной лазерной системе Navilas 577s (OD-OS, "Teltow", Германия) или лазерной установке IQ 577 ("IRIDEX", США). Лазерные аппликаты наносили прицельно на дефекты и/или места отслойки РПЭ, выявленные на ОКТ-А и ФАГ. Затем, через 2 недели и 1 месяц после лазерного лечения, проводили анализ области нанесения лазерных аппликатов с помощью ОКТ-А в режиме *En Face* и линейного сканирования зоны лазерного воздействия.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

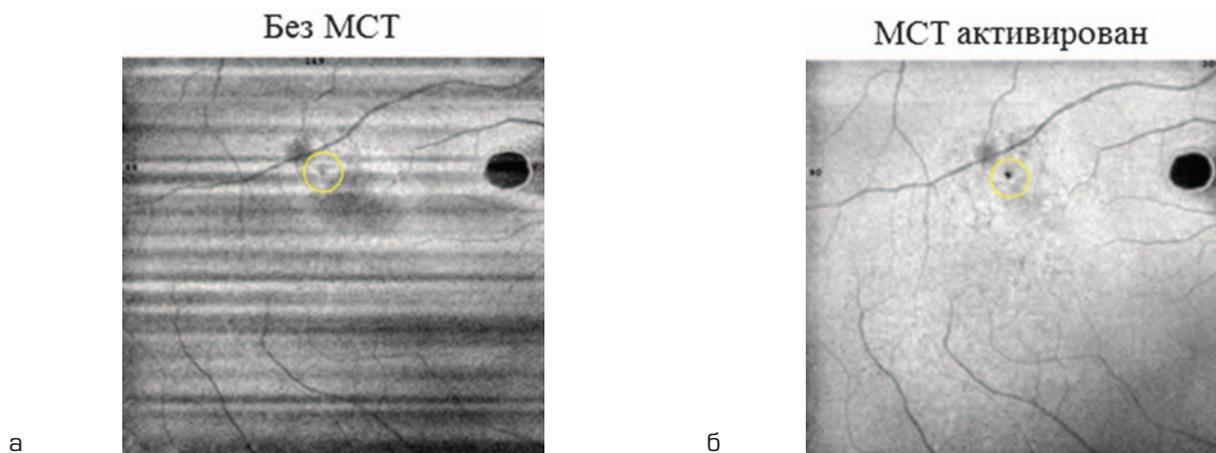
Таким образом, в ходе первого этапа исследований было выявлено, что во всех случаях дефекты и отслойки РПЭ, диагностированные методом ОКТ-А в режиме *En Face*, соответствовали точкам фильтрации и зонам диффузного просачивания красителя по данным ФАГ (рис. 1–2, 5). Сквозной дырчатый дефект РПЭ, выявленный ОКТ-А в режиме *En Face*, соответствовал характерному ангиографическому признаку «дым из трубы» или «фара в тумане», что проявлялось активным просачиванием красителя на ранних стадиях. С помощью ОКТ-А в режиме *En Face* оценивали локализацию дефектов и отслоек РПЭ, которые отображаются на снимках в режиме *En Face* как гипорефлективные участки (рис. 1–5). При детальном изучении морфологических изменений РПЭ было выявлено: в 5 случаях — единичные дефекты РПЭ (рис. 1), в 7 — обнаружены множественные дефекты РПЭ, которые также соответствовали зонам выхода красителя на ранних стадиях на флуоресцентных ангиограммах (рис. 2), в 9 — щелевидные отслойки РПЭ, у 3 пациентов наблюдалось сочетание щелевидной отслойки и дефекта РПЭ (рис. 3). Размеры выявленных дефектов РПЭ варьировали в диапазоне от 21 до 159 мкм, при этом преобладали дефекты округлой формы. При длительном течении ЦСХРП и переходе в хроническую стадию процесса на фоне продолжительной персистенции субретинальной жидкости вследствие декомпенсации РПЭ, как правило, формируются вторичные деструктивные изменения с образованием множественных дефектов и, в ряде случаев, щелевидных отслоек, что наглядно представлено на рис. 2–3. Данные морфологические изменения не визуализируются при биомикроскопии глазного дна и не выявляются при использовании оптических когерентных томографов предыдущего поколения. В нашем исследовании у всех пациентов наблюдалась отчетливая взаимосвязь данных ФАГ и ОКТ-ангиографии, что позволило сделать заключение о том, что ОКТ-А высокого разрешения в режиме *En Face* (RTVue-100 XR Avanti, "Optovue", США) является высокочувствительным методом диагностики морфологических изменений РПЭ при ЦСХРП.



**Рис. 1.** а — ФАГ. Единичная точка фильтрации; б — ОКТ-А в режиме *En Face*. Дефект РПЭ; в — линейный скан ОКТ-А. Сквозной дефект РПЭ  
**Fig. 1.** а — FAG. Single point of leakage; б — OCT-A in *En Face* mode. Defect of RPE; в — Linear scan OCT-A, full-thickness RPE defect



**Рис. 2.** а — ФАГ. Множественные точки фильтрации; б — ОКТ-А в режиме *En Face*. Множественные дефекты РПЭ; в — линейный скан ОКТ-А, режим *Cross Line*. Множественные сквозные дефекты РПЭ  
**Fig. 2.** а — FAG. Multiple points of leakage; б — OCT-A in *En Face* mode. Multiple defects of RPE; в — linear scan OCT-A, *Cross Line* mode. Multiple defects of RPE



**Рис. 3.** Устранение кинетических артефактов при использовании прибора высокого разрешения ОКТ-А в режиме *En Face*

**Fig. 3.** Elimination of kinetic artifacts on the device of high resolution OCT-A in *En Face mode*

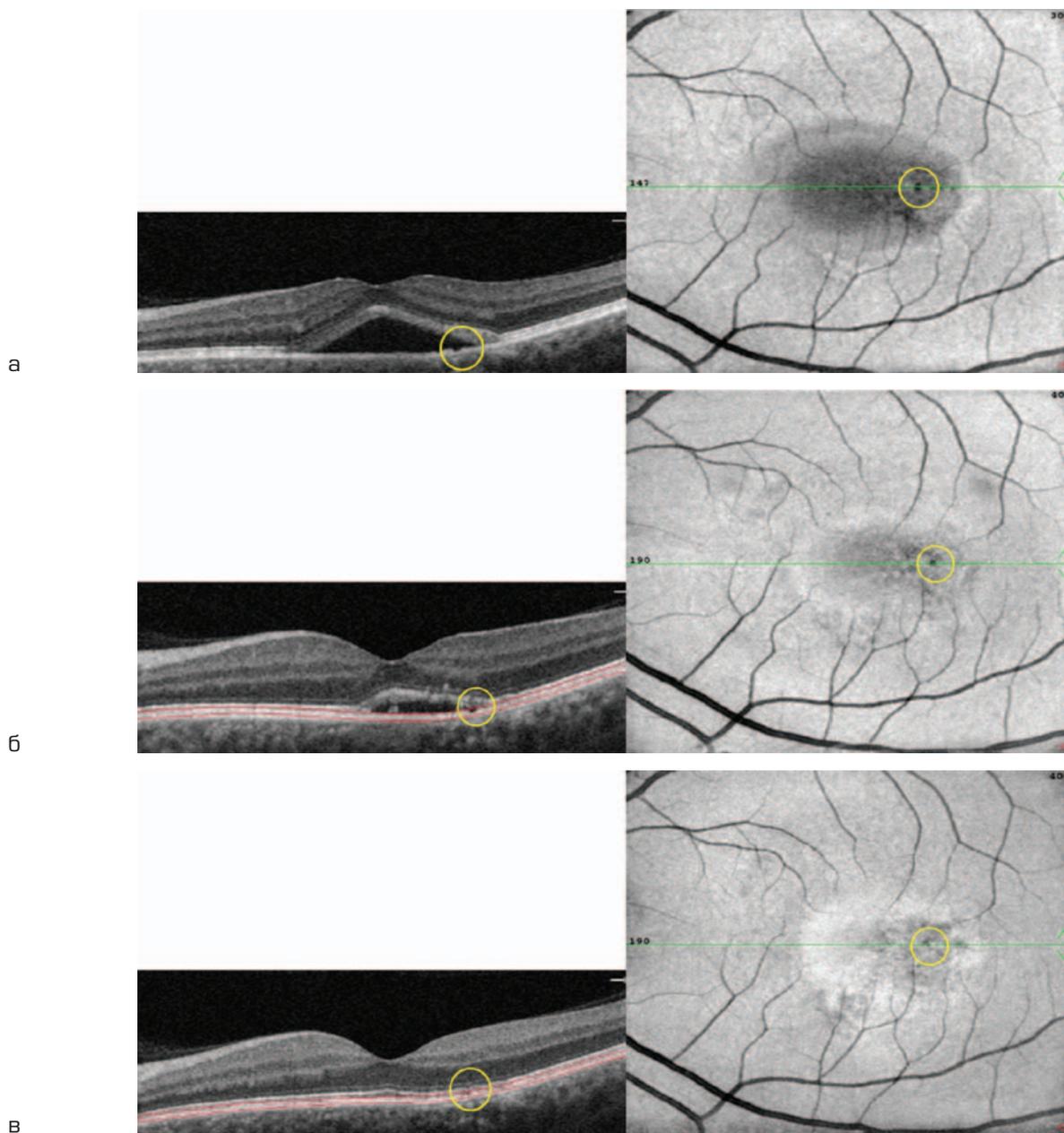
На втором этапе исследований, по результатам ОКТ-А в режиме *En Face*, оценивали динамику морфологических изменений РПЭ после селективного микроимпульсного лазерного воздействия с индивидуальным подбором параметров (рис. 4–5). Особенностью данной технологии является прицельное воздействие на РПЭ с минимальным повреждением прилежащих структур, что реализуется при короткой длительности импульса и высокой мощности [15]. Индивидуальный подбор параметров обеспечивает максимально щадящее и эффективное лечение с учетом степени пигментации и прозрачности оптических сред каждого пациента [16–18]. Таким образом, благодаря разработанной новой технологии, позволяющей воздействовать с минимальными энергетическими параметрами, только РПЭ является основной точкой приложения при лазерном лечении [15–18]. Необходимо отметить, что в результате данного лазерного вмешательства происходит миграция и пролиферация клеток РПЭ, прилежащих к зоне воздействия по краю лазерного аппликата, а также высвобождение биологических активных факторов, среди которых важную роль играет фактор пигментного эпителия (*PEDF*) [19]. Таким образом, положительный эффект селективного микроимпульсного воздействия характеризуется тем, что «активизированные» клеточные образования распространяются, мигрируют и полностью заполняют дефект. Таким образом, пролиферация клеток РПЭ с сохранной «насосной» функцией приводит к резорбции субретинальной жидкости и впоследствии к прилеганию нейросенсорной сетчатки и пигментного эпителия.

После лазерного лечения с помощью ОКТ-А высокого разрешения в режиме *En Face* на линейных сканах в большинстве случаев отмечалось восстановление структуры РПЭ. Однако после прицельного воздействия на область дефекта и отслойки РПЭ наблюдалась различная картина. При дефектах РПЭ в зонах нанесения лазерных аппликатов имели место явления гиперплазии

и клеточной пролиферации, которые можно зарегистрировать на ОКТ-А как на режиме *En Face*, так и на линейных сканах в режиме *Cross Line*. На режиме *En Face* дефекты и отслойки РПЭ определяются как более темные зоны — области отсутствия или снижения плотности тканевой структуры РПЭ. После микроимпульсного воздействия эти зоны морфологических дефектов и отслоек РПЭ значительно уменьшаются по площади или полностью закрываются. На линейных сканах в режиме *Line* визуализируется утолщение участка РПЭ в зоне лазерного воздействия и распространение участка утолщения в стороны, в том числе в зону дефекта РПЭ, что приводит к закрытию этого дефекта. Приблизительно через 1–2 недели после лечения дефект уменьшается в размере. Через месяц после воздействия в большинстве случаев дефекты закрываются. Нами отмечено, что уменьшение размера дефекта и его частичное закрытие сопровождается положительной динамикой резорбции субретинальной жидкости и впоследствии прилеганием нейросенсорной сетчатки. Динамика закрытия дефекта РПЭ представлена на рис. 4–5. До лечения на снимке ОКТ-А в режиме *En Face* и на линейном скане в режиме *Line* определяется дефект РПЭ, а также отслойка нейросенсорной сетчатки. Через 2 недели после лечения отмечается частичное закрытие дефекта, гиперплазия РПЭ и уменьшение высоты отслойки нейросенсорной сетчатки. Через 1 месяц после микроимпульсного лазерного воздействия дефект РПЭ закрылся, нейроэпителий прилегает (рис. 4). На рис. 5 наблюдается обширный дефект РПЭ в области точки фильтрации до лечения. В данном случае после лазерного воздействия наблюдается гиперплазия клеток РПЭ, приводящая к закрытию дефекта, что определяется на ОКТ-ангиографии в режиме *En Face* и на линейном скане, на ФАГ отмечается исчезновение точки фильтрации.

При отслойках РПЭ лазерные аппликаты наносят таким образом, чтобы полностью покрыть зону отслойки. По данным ОКТ-А в режиме *En Face* нами отмечено,

Клинический пример 1. Пациент Д., 40 лет, диагноз: OS — Острая ЦСХРП, длительность симптомов — 3 месяца.



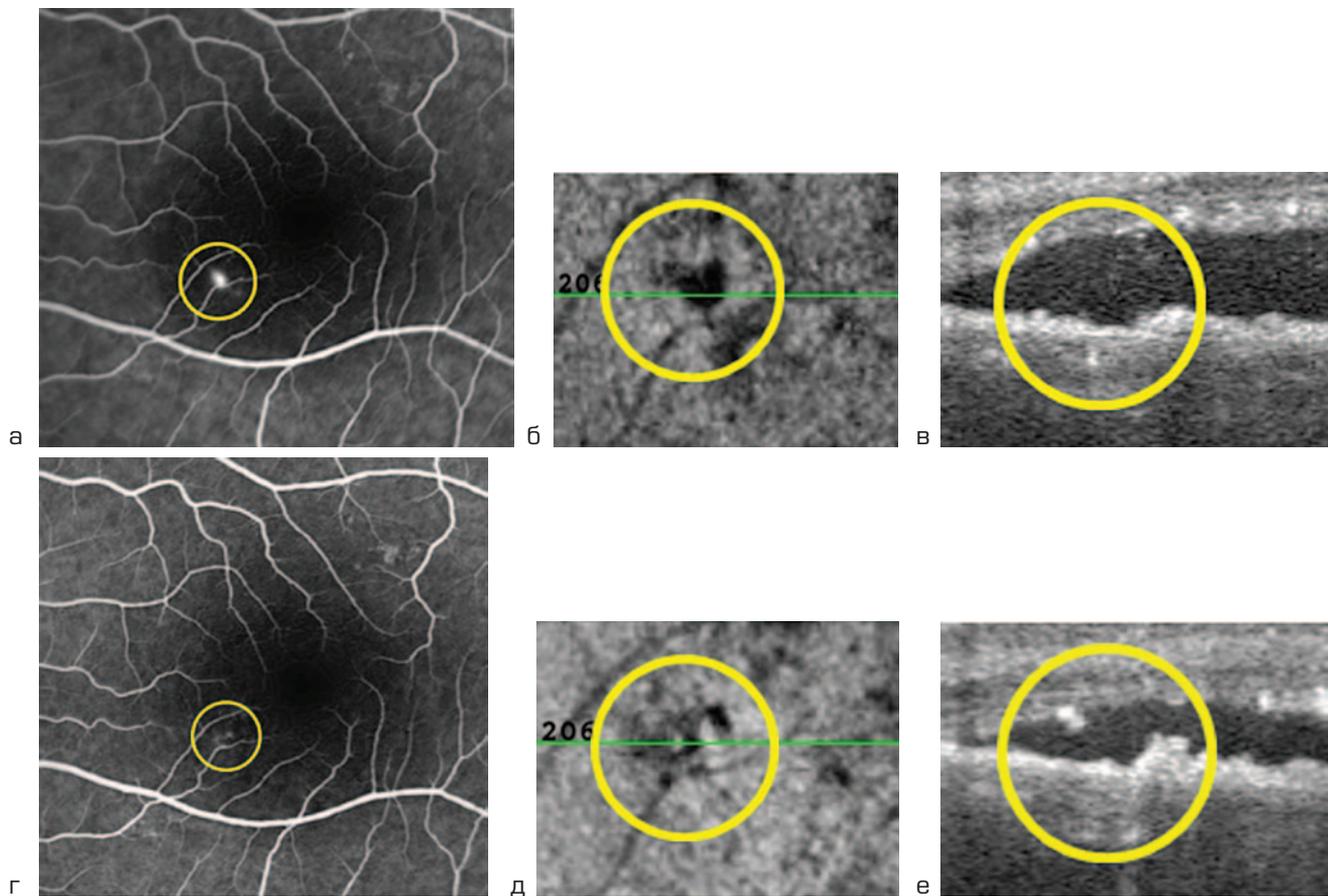
**Рис. 4.** а — до лечения на снимке ОКТ-ангиографии определяется дефект РПЭ, а также отслойка нейросенсорной сетчатки; б — через 2 недели после лечения на ОКТ-А определяется начальная гиперплазия РПЭ и уменьшение высоты отслойки нейросенсорной сетчатки; в — через 1 месяц после микроимпульсного лазерного воздействия на ОКТ-ангиографии определяется полное закрытие дефекта РПЭ и прилегание отслойки нейросенсорной сетчатки

**Fig. 4.** а — before treatment, on the OCT-angiography image determined the defect of RPE, as well as the detachment of the neurosensory retina; б — at 2 weeks after treatment, on OCT-angiography, slight hyperplasia of RPE and the decrease in the height of the neurosensory retina detachment are determined; в — 1 month after the micropulse laser effect on OCT-A, the complete closure of the RPE defect and adherence of the neurosensory retina detachment is observed

что через 1 месяц после лечения отслойки РПЭ имело место прилегание у всех пациентов. В ходе исследования выявлено, что уменьшение высоты отслойки РПЭ сопровождается положительной динамикой резорбции субретинальной жидкости. После полного прилегания слоя РПЭ нейроэпителий также прилегает достаточно быстро. Динамику изменения отслойки РПЭ до и после

микроимпульсного селективного лазерного воздействия возможно проследить как на ОКТ-А в режиме *En Face*, так и на линейных сканах в режиме *Cross Line*. На режиме *En Face* отмечается уменьшение по площади или полное исчезновение гипорефлективного участка, соответствующего зоне с пониженной плотностью ткани в выделенном слое — зоне отслойки. Данный режим позволяет ви-

Клинический пример 2. Пациентка О., 45 лет, диагноз — OS. Острая ЦСХРП, длительность симптомов — 6 мес.



**Рис. 5.** а — на ФАГ определяется точка фильтрации субретинальной жидкости до лечения; б — на ОКТ-А в режиме *En Face* имеется дефект РПЭ, соответствующий точке фильтрации на ФАГ; г — линейный скан ОКТ-А, полученный в режиме *Cross Line* до микроимпульсного лазерного лечения; д — через 1 месяц после микроимпульсного воздействия по данным ФАГ точка просачивания не визуализировалась; е — ОКТ-А в режиме *En Face* через 1 месяц после лечения; ж — линейный скан ОКТ-А, полученный в режиме *Cross Line* после лазерного лечения в микроимпульсном режиме при большом увеличении

**Fig. 5.** а — on the fluorescein angiogram, the point of leakage of subretinal fluid is determined before treatment; б — on OCT-A in the *En Face* mode, the RPE defect was determined corresponding to the point of leakage on the FAG; г — linear scan OCT-A, obtained in the *Cross Line* mode before micropulse laser treatment; д — after 1 month after micropulse exposure, according to the FAG data, the leaking point was not visualized; е — OCT-A in *En Face* mode. 1 month after treatment; ж — linear scan OCT-A, obtained in the *Cross Line* mode after laser treatment in the micropulse mode at high magnification

зуализировать всю область отслойки по площади скана. Уменьшение или полное прилегание отслойки РПЭ визуализируется локально и на линейных сканах в режиме *Cross Line*.

В нашем исследовании при анализе слоя РПЭ с использованием режима *En Face* впервые *in vivo* было показано, что в местах нанесения лазерных аппликаторов и вокруг них выявлялись зоны гиперплазии РПЭ. Данную находку можно объяснить тем, что происходит активная пролиферация клеток РПЭ вокруг зон лазерных аппликаторов (рис. 4–5), а также миграция клеток в зоны дефектов и частичное восстановление слоя РПЭ. В работах J. Roeder с помощью аутофлуоресценции оценивали реакцию хориоретинального комплекса после селективной ретиальной терапии [20–21]. Сразу после лазерного воздействия выявлялись очаги гипо-

флуоресценции, которые приблизительно через 7 дней сменялись участками гиперфлуоресценции, что также, предположительно, связано с активной миграцией и пролиферацией клеток РПЭ после лазерного воздействия к 1–2 неделе [21, 22].

Полученные нами данные, касающиеся ЦСХРП, протекающей с морфологическими изменениями РПЭ, позволяют предполагать, что изучение архитектоники пигментного эпителия сетчатки методом ОКТ-А в режиме *En Face* имеет важное значение для оценки динамики течения процесса и прогнозирования результативности лазерного лечения.

## Выводы

1. При исследовании морфологических изменений ретиального пигментного эпителия методом ОКТ-А

в режиме *En Face* у пациентов с центральной серозной хориоретинопатией были выявлены дефекты и отслойки РПЭ, которые во всех случаях топографически соответствовали точкам просачивания субретинальной жидкости на ФАГ.

2. После селективного микроимпульсного лазерного воздействия с индивидуальным подбором параметров с помощью метода ОКТ-А в режиме *En Face* впервые показано закрытие дефектов и прилегание отслоек РПЭ, что приводит к резорбции субретинальной жидкости и прилеганию нейроретинального эпителия сетчатки.

3. ОКТ-А в режиме *En Face* является высокоинформативным методом диагностики, позволяющим выявлять дефекты и отслойки РПЭ с четкой топографической локализацией относительно сосудистой сети, а также оценивать результативность селективного микроимпульсного лазерного лечения у пациентов с ЦСХРП.

#### УЧАСТИЕ АВТОРОВ:

Володин П.Л. — написание текста, научное редактирование; концепция и дизайн исследования;  
Иванова Е.В. — написание текста, сбор и обработка материала, концепция и дизайн исследования;  
Фомин А.В. — написание текста, подготовка иллюстраций;  
Полякова Е.Ю. — написание текста, техническое редактирование, оформление библиографии, подготовка иллюстраций.

#### ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

- Шеголева И.В., Будзинская М.В. Этиология и патогенез центральной серозной хориоретинопатии. *Вестник офтальмологии* 2010;3:55–58. [Shchegoleva I.V., Budzinskaya M.V. Etiology and pathogenesis of Central serous chorioretinopathy. *Annals of Ophthalmology = Vestnik oftalmologii* 2010;3:55–58 (in Russ.).]
- Bonini Filho M.A., De Carlo T.E., Ferrara D., Adhi M., Bauml C.R., Witkin A.J., Reichel E., Duker J.S., Waheed N.K. Association of Choroidal Neovascularization and Central Serous Chorioretinopathy With Optical Coherence Tomography Angiography. *JAMA Ophthalmol.* 2015;133(8):899–906. DOI: 10.1001/jamaophthalmol.2015.1320
- Costanzo E., Cohen S.Y., Miere A., Querques G., Capuano V., Semoun O., El Ameen A., Oubraham H., Souied E.H. Optical Coherence Tomography Angiography in Central Serous Chorioretinopathy. *JAMA Ophthalmol.* 2015; 2015:134783. DOI: 10.1155/2015/134783
- McClintic S.M., Jia Y., Huang D., Bailey S.T. Optical Coherence Tomographic Angiography of Choroidal Neovascularization Associated With Central Serous Chorioretinopathy. *JAMA Ophthalmol.* 2015;133(10):1212–1214. DOI: 10.1001/jamaophthalmol.2015.2126
- Quaranta-El Maftouhi M., El Maftouhi A., Eandi C.M. Chronic central serous chorioretinopathy imaged by optical coherence tomographic angiography. *Am J Ophthalmol.* 2015;160(3):581–587. DOI: 10.1016/j.ajo.2015.06.016
- Kitaya N., Nagaoka T., Hikichi T., Sugawara R., Fukui K., Ishiko S., Yoshida A. Features of abnormal choroidal circulation in central serous chorioretinopathy. *Br J Ophthalmol.* 2003;87:709–712.
- Качалина Г.Ф., Желтов Г.И., Иванова Е.В. Оптимизация режимов лазера IRIS Medical IQ 577 для избирательного воздействия на пигментный эпителий сетчатки. *Офтальмология. Восточная Европа.* 2015;27(4):69–77. [Kachalina G.F., Zheltov G.I., Ivanova E.V. Optimization of operating modes of IRIS Medical IQ 577 laser selective action onto pigment epithelium. *Ophthalmology, Eastern Europe = Oftalmologiya. Vostochnaya Evropa.* 2015;27(4):69–77 (In Russ.).]
- Качалина Г.Ф., Желтов Г.И., Иванова Е.В. Современные подходы применения микроимпульсного режима при лечении заболеваний центральной зоны сетчатки. *Таврический медико-биологический вестник.* 2012;15:225–227. [Kachalina G.F., Zheltov G.I., Ivanova E.V. Modern approaches for the use of micropulse mode for the treatment of central retinal diseases. *Tauride Medical-Biological Annals = Tavricheskij mediko-biologicheskij vestnik.* 2012;15:225–227 (In Russ.).]
- Тахчиди Х.П., Качалина Г.Ф., Желтов Г.И., Иванова Е.В. Новая технология восстановления зрительных функций, основанная на избирательном воздействии коротких импульсов лазерного излучения на пигментный эпителий сетчатки. *Офтальмология в Беларуси.* 2010;4(07):79–83. [Takhchidi Kh.P., Kachalina G.F., Zheltov G.I., Ivanova E.V. A new technology of visual functions restoration, based on the selective effect of short pulses of laser radiation on the retinal pigment epithelium. *Ophthalmology in Belarus = Oftalmologiya v Belarusi.* 2010; 4(07):79–83 (In Russ.).]
- Желтов Г.И., Глазков В.Н., Иванова Е.В. Селективное действие лазерных импульсов на ретинальный пигментный эпителий. *Физические основы. ARSMEDICA.* 2012;58(3):78–85. [Zheltov G.I., Glazkov V.N., Ivanova E.V. Selective action of laser pulses on the retinal pigment epithelium. Physical basics. *ARSMEDICA = ARSMEDICA. Fizicheskiye osnovy.* 2012;58(3):78–85 (In Russ.).]
- Володин П.Л., Иванова Е.В., Соломин В.А. Возможности современных методов диагностики и компьютерной обработки данных с помощью программы «Фемтоскан» для выявления слабых термических повреждений клеток ретинального пигментного эпителия. *Лазерная медицина.* 2018;1:52–57. [Volodin P.L., Ivanova E.V., Solomin V.A. The possibilities of modern diagnostic methods and computer data processing using the “FemtoScan” program to identify weak thermal damage of retinal pigment epithelium cells. *Laser Medicine = Lazernaya medicina.* 2018;1:52–57 (In Russ.).]
- Панова И.Е., Шаимов Т.Б., Шаимова В.А. Морфометрические и ангиографические параллели при различных вариантах течения центральной серозной хориоретинопатии. *Вестник офтальмологии.* 2017;2:11. [Panova I.E., Shaimov T.B., Shaimova V.A. Morphometric and angiographic parallel with different variants of the course of Central serous chorioretinopathy. *Annals of Ophthalmology = Vestnik oftalmologii.* 2017;2:11. (In Russ.).] DOI: 10.17116/oftalma2017133210-17
- Huang D., Jia Y., Gao S.S., Lumbroso B., Rispoli M. Optical Coherence Tomography Angiography using Optovue device. Basel, Karger. 2016;56:6–12. DOI: 10.1159/000442770
- Hamada M., Ohkoshi K., Inagaki K., Ebihara N., Murakami A. Correction to: Visualization of microaneurysms using optical coherence tomography angiography: comparison of OCTA en face, OCT B-scan, OCT en face, FA, and IA images. *Jpn J Ophthalmol.* 2018;62(2):176–178.
- Володин П.Л., Иванова Е.В. Компьютерное моделирование лазерного воздействия в режиме единичного микроимпульса и реакции белков хориоретинального комплекса для селективного и эффективного воздействия на клетки ретинального пигментного эпителия. *Лазерная медицина.* 2018;1:61–66. [Volodin P.L., Ivanova E.V. Computer simulation of laser action in the regime of single micropulse and reactions of proteins chorioretinal complex for selective and effective action on the retinal pigment epithelium cells. *Laser Medicine = Lazernaya medicina.* 2018;1:61–66 (In Russ.).]
- Володин П.Л., Желтов Г.И., Иванова Е.В., Соломин В.А. Калибровка параметров микроимпульсного режима лазера IRIDEX IQ 577 с помощью компьютерного моделирования и методов диагностики глазного дна. *Современные технологии в офтальмологии.* 2017;1:52–54. [Volodin P.L., Zheltov G.I., Ivanova E.V., Solomin V.A. Calibration of the parameters of micropulse mode of the IRIDEX IQ 577 laser by computer simulation and diagnostic methods of eye fundus diagnosis. *Modern Technologies in Ophthalmology = Sovremennye tekhnologii v oftalmologii.* 2017;1:52–54 (In Russ.).]
- Володин П.Л., Иванова Е.В., Соломин В.А., Письменская В.А., Хрисанфова Е.С. Первый опыт применения селективного микроимпульсного лазерного воздействия (577 нм) с индивидуальным подбором параметров у пациентов с острой центральной серозной хориоретинопатией. *Практическая медицина.* 2017;110(9):2:55–59. [Volodin P.L., Ivanova E.V., Solomin V.A., Pismenskaya V.A., Khrisanfova E.S. The first experience of the use of selective micropulse laser treatment (577 nm) with individual selection of parameters for acute central serous chorioretinopathy. *Practical Medicine = Prakticheskaya meditsina.* 2017;110(9):2:55–59 (In Russ.).]
- Иванова Е.В., Дoga А.В., Володин П.Л., Соломин В.А., Хрисанфова Е.С. Персонализированное лечение центральной серозной хориоретинопатии с помощью индивидуального подбора параметров микроимпульсного режима на навигационной лазерной системе Navilas 577s. *Современные технологии в офтальмологии.* 2018;21(1):162–165. [Ivanova E.V., Doga A.V., Volodin P.L., Solomin V.A., Khrisanfova E.S. Personalized treatment of central serous chorioretinopathy by individual selection of micropulse mode parameters on NAVILAS 577s laser system. *Modern Technologies in Ophthalmology = Sovremennye tekhnologii v oftalmologii.* 2018;21(1):162–165 (In Russ.).]
- Karakousis P.C., John S.K., Behling K.C., Surace E.M., Smith J.E., Hendrickson A., Tang W.X., Bennett J., Milam A.H. Localization of pigment epithelium derived factor (PEDF) in developing and adult human ocular tissues. *Mol Vis.* 2001;30(7):154–163.
- Гуро М.Ю., Потапова В.Н., Хзарджан Ю.Ю., Шарифова О.Ш. Значение регистрации аутофлуоресценции глазного дна и сканирующей лазерной офтальмоскопии в диагностике и лечении центральной серозной хориоретинопатии. *Вестник Оренбургского государственного университета.* 2012;12:41–43. [Guro M.Yu., Potapova V.N., Hzardzhan Yu.Yu., Sharifova O.Sh. The value of registration of autofluorescence of the fundus and scanning laser ophthalmoscopy in the diagnosis and treatment of central serous chorioretinopathy. *Annals of Orenburg State University = Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta.* 2012;12:41–43 (In Russ.).]
- Roider J., Hillenkamp F., Flotte T.J., Birngruber R. Microphotocoagulation: selective effects of repetitive short laser pulses. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA.* 1993;90:8643–8647.
- Yu D.Y., Cringle S.J., Su E., Yu P.K., Humayun M.S., Dorin G. Laser-induced changes in intraretinal oxygen distribution in pigmented rabbits. *Ophthalmol. Vis. Sci.* 2005;46(3): 988–999. DOI: 10.1167/iovs.04-0767

П.Л. Володин, Е.В. Иванова, А.В. Фомин, Е.Ю. Полякова

Контактная информация: Полякова Екатерина Ю. ekaterinapolyakova17@yandex.ru

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ**

ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова»  
Минздрава России  
Володин Павел Львович  
доктор медицинских наук, заведующий отделом лазерной хирургии сетчатки  
Бескудниковский бульвар, 59а, Москва, 127486, Российская Федерация

ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова»  
Минздрава России  
Иванова Елена Владимировна  
кандидат медицинских наук, врач-офтальмолог отдела лазерной хирургии сетчатки  
Бескудниковский бульвар, 59а, Москва, 127486, Российская Федерация

Научно-исследовательский институт глазных болезней  
Фомин Алексей Валентинович  
младший научный сотрудник  
ул. Россолимо, 11 а, б, Москва, 119021, Российская Федерация

ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова»  
Минздрава России  
Полякова Екатерина Юрьевна  
ординатор  
Бескудниковский бульвар, 59а, Москва, 127486, Российская Федерация

**ABOUT THE AUTHORS**

The S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution  
Volodin Pavel L.  
MD, head of the laser retinal surgery department  
Beskudnikovsky blvd, 59a, Moscow 127486, Russia

The S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution  
Ivanova Elena V.  
PhD, ophthalmologist of the laser retinal surgery department  
Beskudnikovsky blvd, 59a, Moscow 127486, Russia

Research Institute of Eye Diseases  
Fomin Alexey V.  
Associate Research scientist  
Rossolimo str., 11 a, b, Moscow, 119021, Russian

The S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution  
Polyakova Ekaterina. Yu.  
resident  
Beskudnikovsky blvd, 59a, Moscow 127486, Russia