

Спектральная ОКТ-ангиография в оценке биомаркеров диабетического макулярного отека при навигационном лазерном лечении

П.Л. Володин¹Е.В. Иванова¹Е.Ю. Полякова¹А.В. Фомин²

¹ ФГАУ НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» имени академика С.Н. Федорова»
Министерства здравоохранения Российской Федерации
Бескудниковский бульвар, 59а, Москва, 127486, Российская Федерация

² АО «Трейдомед Инвест»
ул. Марксистская, 3, стр. 1, Москва, 109147, Российская Федерация

РЕЗЮМЕ

Офтальмология. 2022;19(2):334–342

Цель — изучить методом оптической когерентной томографии-ангиографии (ОКТ-А) визуализируемые биомаркеры до и после навигационного лазерного лечения у пациентов с диабетическим макулярным отеком (ДМО). **Пациенты и методы.** Под наблюдением находились 85 пациентов (85 глаз) с фокальным ДМО. Пациенты были разделены на две группы в зависимости от применяемого метода лазерного лечения: группу 1 составили 50 пациентов (50 глаз), которым было выполнено навигационное субпороговое лазерное воздействие в микроимпульсном и непрерывном режиме с индивидуальным подбором энергетических параметров по разработанной технологии — проводилась лазерная коагуляция по типу «модифицированной решетки». Лечение осуществляли с помощью навигационной лазерной системы NAVILAS 577S («OD-OS», Германия). Всем пациентам обеих групп была выполнена ОКТ-А высокого разрешения по протоколу Angio Retina 3×3 мм и HD Angio Retina 6×6 мм. Методом ОКТ-А оценивали следующие биомаркеры: сосудистую плотность поверхностного сосудистого сплетения (ПСС), глубокого сосудистого комплекса (ГСК); количество микроаневризм и гиперрефлексивных точек; площадь фовеальной аваскулярной зоны, а также кист и зон дезорганизации внутренних слоев сетчатки (ДРИЛ) в различные сроки до и после (1, 3 и 6 мес.) лечения. **Результаты.** По данным ОКТ-А в динамике в результате лечения в группе 1 отмечалось увеличение общей сосудистой плотности с $38,45 \pm 0,40$ до $44,85 \pm 0,66$ % в ПСС и с $43,55 \pm 0,38$ до $44,85 \pm 0,66$ % в ГСК — к 6 месяцам наблюдения. В группе 2 — общая сосудистая плотность в ПСС увеличилась с $37,40 \pm 0,36$ до $37,85 \pm 0,34$ %, в ГСК — с $43,35 \pm 0,38$ до $44,05 \pm 0,41$ %. Количество микроаневризм уменьшилось в среднем с $12,00 \pm 0,42$ до $9,00 \pm 0,30$ к 3 мес. и до $7,50 \pm 0,26$ к 6 мес. в группе 1, с $19,00 \pm 0,70$ до $15,50 \pm 0,60$ (3 мес.) и $13,00 \pm 0,50$ (6 мес.) — в группе 2. Количество гиперрефлексивных точек уменьшилось в сроки 3 и 6 месяцев в обеих группах. Площадь кист прогрессивно снижалась, а площадь ФАЗ и ДРИЛ была стабильна на протяжении всех сроков наблюдения. **Заключение.** ОКТ-А является высокоинформативным методом диагностики, позволяющим неинвазивно выявлять визуализируемые биомаркеры, а также оценивать результативность навигационного лазерного лечения у пациентов с фокальным ДМО.

Ключевые слова: диабетический макулярный отек, оптическая когерентная томография в ангиорежиме, навигационное лазерное лечение

Для цитирования: Володин П.Л., Иванова Е.В., Полякова Е.Ю., Фомин А.В.: Спектральная ОКТ-ангиография в оценке биомаркеров диабетического макулярного отека при навигационном лазерном лечении. *Офтальмология*. 2022;19(2):334–342. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2022-2-334-342>

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

Конфликт интересов отсутствует



Spectral OCT Angiography in the Assessment of Biomarkers of Diabetic Macular Edema in Navigation Laser Treatment

P.L. Volodin¹, E.V. Ivanova¹, E.Iu. Polyakova¹, A.V. Fomin²

¹The S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution
Beskudnikovskiy blvd, 59A, Moscow 127486, Russian Federation

²JSC Tradomed Invest
Marxistskaya str., 3, p. 1, Moscow, 109147, Russian Federation

ABSTRACT

Ophthalmology in Russia. 2022;19(2):334–342

Purpose — to study visualized biomarkers before and after navigation laser treatment in patients with diabetic macular edema (DMO) using optical coherence tomography-angiography (OCT-A). **Methods.** 85 patients (85 eyes) with focal DMO were under observation. The patients were divided into two groups, depending on the method of laser treatment used: group 1 consisted of 50 patients (50 eyes) who underwent navigation sub-threshold laser exposure in micro-pulse and continuous modes with individual selection of energy parameters according to the developed technology (patent RF for invention No. 2752544 of 27.01.2021), in group 2 (35 patients, 35 eyes) laser coagulation was performed according to the type of "modified grid". The treatment was carried out on the NAVILAS 577S navigation laser system ("OD-OS", Germany). All patients in both groups underwent high-resolution OCT-A according to the Angio Retina 3×3 mm and HD Angio Retina 6×6 mm protocol. The following biomarkers were evaluated by the OCT-A method: vascular density of the superficial vascular plexus (SCP), deep vascular complex (DCP); the number of microaneurysms and hyperreflective points; the area of the foveal avascular zone, as well as cysts and zones of disorganization of the inner layers of the retina (DRIL), at various times before and after (1, 3 and 6 months) treatment. **Results.** According to OCT-A, as a result of treatment in group 1, there was an increase in total vascular density from $38.45 \pm 0.4 \%$ to $44.85 \pm 0.66 \%$ in SCP and from $43.55 \pm 0.38 \%$ to $44.85 \pm 0.66 \%$ in DCP by 6 months of follow-up. In group 2, the total vascular density in SCP increased from $37.4 \pm 0.36 \%$ to $37.85 \pm 0.34 \%$, in DCP from $43.35 \pm 0.38 \%$ to $44.05 \pm 0.41 \%$. The number of microaneurysms decreased on average from 12 ± 0.42 to 9 ± 0.3 by 3 months and 7.5 ± 0.26 by 6 months in group 1 and, from 19 ± 0.7 to 15.5 ± 0.6 (3 months) and 13 ± 0.5 (6 months) — in group 2. The number of hyperreflective points decreased in terms of 3 and 6 months in both groups. The area of cysts progressively decreased, and the area of FAZ and DRILs was stable throughout all the follow-up period. **Conclusion.** OCT-A is a highly informative diagnostic method that allows noninvasively to identify visualized OCT-A biomarkers, as well as to evaluate the effectiveness of navigation laser exposure in patients with diabetic maculopathy with focal diabetic macular edema.

Keywords: diabetic macular edema, optical coherence tomography in angio-regime, navigation laser treatment

For citation: Volodin P.L., Ivanova E.V., Polyakova E.Yu., Fomin A.V. Spectral OCT Angiography in the Assessment of Biomarkers of Diabetic Macular Edema in Navigation Laser Treatment. *Ophthalmology in Russia*. 2022;19(2):334–342. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2022-2-334-342>

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

There is no conflict of interests

ВВЕДЕНИЕ

Диабетический макулярный отек (ДМО) является основной причиной снижения центрального зрения у пациентов с сахарным диабетом (СД) и поражает треть пациентов с диабетической ретинопатией (ДР) во всем мире [1]. По оценкам Всемирной организации здравоохранения, к 2030 году СД будут страдать примерно 366 миллионов человек [2]. Крайне актуальным является ранняя верификация ДМО с целью предупреждения снижения зрительных функций у пациентов с СД и разработки новых прицельных методов лечения [3].

ОКТ-ангиография (ОКТ-А) — высокоинформативный неинвазивный диагностический инструмент, который позволяет трехмерно визуализировать слои сетчатки, слой за слоем, путем анализа различий в отражательной способности движения эритроцитов и окружающих статичных тканей, а также количественно определять микрососудистые параметры и соотносить их с функциональными и морфологическими данными, информативно приближенными к гистологическим срезам [4, 5].

Современной тенденцией в диагностике ДМО является изучение и выявление клинических и более ранних доклинических биомаркеров [6]. Лабораторные биомаркеры, верифицирующие тяжесть общесоматического заболевания и реакцию на терапию, включают уровни цитокинов и маркеров воспаления в сыворотке крови, стекловидном теле, водянистой влаге и слезной жидкости [7]. Однако большинство этих критериев являются инвазивными и их клиническая значимость все еще находится в стадии изучения. В настоящее время, по данным литературы, представляется перспективным изучение визуализируемых ОКТ-А биомаркеров микрососудистых аномалий сетчатки при диабете, отражающих состояние ангиоархитектоники сетчатки и имеющих важное значение в верификации и прогнозировании развития и течения ДМО, а также планировании таргетного и патогенетически обоснованного лечения [6]. С помощью ОКТ-А представляется возможным неинвазивно оценивать состояние сетчатки и сосудистой оболочки *in vivo*, а также проводить морфометрическую оценку ангиоархитектоники сетчатки, включая плотность капилляров сетчатки, отсутствие перфузии, микроаневризмы, ремоделирование

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

Contact information: Polyakova Ekaterina Yu. ekaterinapolyakova17@yandex.ru

Spectral OCT Angiography in the Assessment of Biomarkers of Diabetic Macular Edema in Navigation...

сосудов и фовеальную аваскулярную зону (ФАЗ) [8]. В последнее время является актуальным определение прогностического значения изменений ОКТ-А биомаркеров, таких как фовеальные интратетинальные кисты, включая их размер и расположение, гиперрефлективные точки, наличие субретинальной жидкости и целостность слоев сетчатки при ДМО [9].

Цель — изучить методом оптической когерентной томографии-ангиографии визуализируемые биомаркеры до и после навигационного лазерного лечения у пациентов с фокальным диабетическим макулярным отеком.

ПАЦИЕНТЫ И МЕТОДЫ

Под наблюдением находились 85 пациентов (85 глаз) с фокальным ДМО. Пациенты были разделены на две группы в зависимости от применяемого метода лазерного лечения: группу 1 составили 50 пациентов (50 глаз), которым было выполнено навигационное субпороговое лазерное воздействие в микроимпульсном и непрерывном режиме с индивидуальным подбором энергетических параметров по разработанной технологии¹, в группе 2 (35 пациентов, 35 глаз) была выполнена лазерная коагуляция по типу «модифицированная решетка». Средний возраст пациентов группы 1 составил $44,0 \pm 1,6$ года, средняя продолжительность СД — $218,6 \pm 116,6$ (диапазон: 24–444) месяца, уровень HbA1 — $6,80 \pm 0,79$ %, в группе 2 средний возраст пациентов — $63,0 \pm 1,0$ года, средняя продолжительность СД — $324,0 \pm 17,0$ (диапазон: 21–628) месяца, уровень HbA1 — $8,0 \pm 0,1$ %.

Критериями включения были: пациенты с фокальным ДМО с максимальной высотой за пределами ФАЗ до 400 мкм без захвата фовеа либо с захватом фовеа с ЦТС до 350 мкм, с остротой зрения $\geq 0,6$, не требующим проведения анти-VEGF терапии.

В исследование не включали пациентов с ДМО, у которых ранее проводилось лазерное лечение, наблюдался диффузный высокий макулярный отек, интратетинальные кисты с гиперрефлективным материалом, клинически значимые помутнения оптических сред, аметропии средней и высокой степени, уровень гликированного гемоглобина в крови >10 %, тяжелая соматическая патология в стадии декомпенсации, любое системное нейродегенеративное заболевание.

Все пациенты прошли полное офтальмологическое обследование, включающее определение остроты зрения, измерение внутриглазного давления, ультразвуковое В-сканирование, офтальмобиомикроскопию глазного дна, цветную фоторегистрацию глазного дна, коротковолновую аутофлуоресценцию (АФ), компьютерную периметрию центральной зоны по протоколу macula_12° 10 dB. Компьютерную микропериметрию (МП) центральной зоны проводили на приборе MAIA (CenterVue, Италия).

Светочувствительность (СЧ) центральной зоны в среднем по группе 1 составила $24,10 \pm 0,48$ дБ,

в группе 2 — $24,65 \pm 0,18$ дБ. ОКТ выполняли с помощью приборов «RTVue-100 XR Avanti» и «SOLIX» (оба Optovue, США) по протоколам Cross Line и Retina Map. Высота отека в фовеа в группе 1 составила $304,5 \pm 5,4$ мкм, за пределами фовеа — в среднем $336,5 \pm 7,5$ мкм, в группе 2 в фовеа $373,5 \pm 1,51$ и вне фовеа $375 \pm 1,42$. Все обследования были выполнены до операции, через 3 и 6 месяцев после лечения. Коротковолновую АФ и ультразвуковое В-сканирование выполняли только до операции.

Лазерное лечение осуществляли на навигационной системе «Navilas 577s» (OD-OS, Teltow, Германия) с длиной волны лазерного излучения 577 нм.

В группе 1 навигационное лазерное воздействие осуществляли прицельно — по зонам отека, ишемии и микроаневризмам, выявленным методом ОКТ-А. При этом применялся дифференцированный подход в зависимости от локализации и характера выявленных патологических изменений. Лазерное воздействие в непрерывном режиме проводили по зонам ишемии и микроаневризм, расположенных вне фовеальной аваскулярной зоны (ФАЗ), а в микроимпульсном режиме — по зонам ишемии, микроаневризм и отека сетчатки с вовлечением ФАЗ. Для предоперационного планирования топографически-ориентированного лазерного воздействия по избранным «мишеням» осуществляли импортрование диагностических изображений в навигационную лазерную установку (НЛУ).

При этом при планировании лазерного воздействия по зонам ишемии использовали цветную карту ПСС по протоколу HD Angio Retina 6×6 мм, точная идентификация магистральных сосудов на которой обеспечивает максимально полное сопоставление с цифровым цветным изображением глазного дна. При планировании по зонам микроаневризм и отека сетчатки использовали ОКТ-ангиограмму ГСК, выполненную в режиме En Face по протоколу HD Angio Retina 6×6 мм, наиболее информативно отражающую данные изменения. Для лечения использовали следующие энергетические параметры лазерного излучения: при работе в микроимпульсном режиме — длительность микроимпульса 100 мкс, рабочий цикл — 4,8 %, мощность — в диапазоне от 0,6 до 1,8 Вт, диаметр пятна — 100 мкм, количество импульсов в пакете — 5; в непрерывном режиме: экспозиция — 0,01 с, диаметр пятна — 100 мкм, мощность — 50–150 мВт.

Предварительно для определения индивидуальных значений мощности, необходимой для лечения в микроимпульсном режиме, проводили тестирование путем нанесения паттернов, состоящих из трех аппликаторов с различными параметрами, на интактную сетчатку в области верхней либо нижней сосудистой аркады на НЛУ. После тестирования через 1 час выполняли исследование коротковолновой аутофлуоресценции с оценкой минимально видимых аппликаторов, при этом для микроимпульсного и непрерывного режима выбирали минимальную мощность, которая вызывала видимые повреждения ретинального пигментного эпителия.

¹ Патент RU на изобретение 2752544 от 27.01.2021.

Лазерное лечение пациентов в группе 2 было проведено по технологии «модифицированной решетки» с предварительным планированием операции на НЛУ путем наложения ОКТ-сканогаммы цветной карты толщины сетчатки. Энергетические параметры были следующими: экспозиция — 0,05 с, диаметр пятна — 100 мкм, мощность — 50–150 мВт.

Методика проведения и анализа изображений ОКТ-А: ОКТ-А проводили с использованием приборов «RTVue-100 XR Avanti» и «SOLIX» (оба Optovue, США) по протоколам HD Angio Retina 6×6 мм и Angio Retina 3×3 мм. Для оценки микроаневризм, гиперрефлективных точек, площади кист и ДРИЛ использовали ОКТ-ангиограмму ГСК, выполненную в режиме En Face по протоколу HD Angio Retina 6×6 мм. Для определения площади ФАЗ в автоматическом режиме с помощью программного обеспечения томографа использовали ОКТ-ангиограмму «Retina. Measure-FAZ», выполненную по протоколу Angio Retina 3×3 мм. Сосудистая плотность на уровне ПСС и ГСК рассчитывалась в автоматическом режиме с помощью программного обеспечения томографа в виде отношения между площадью перфузируемых капилляров и общей оставшейся площадью × 100 %.

Для оценки таких ОКТ-А биомаркеров, как микроаневризмы, гиперрефлективные точки, площадь кист и ДРИЛ (в сроки до, через 3 и 6 месяцев после лечения), ОКТ-ангиограммы ГСК в режиме En Face по протоколу HD Angio Retina 6×6 мм были подвергнуты постобработке с использованием программного обеспечения ImageJ (версия 1.51, США, LOCI, университет Висконсина). Все ОКТ-ангиограммы были тщательно проверены на предмет автоматической сегментации различных слоев сетчатки с особым вниманием к сегментации на уровне ГСК [10].

После настройки яркости и контрастности изображения для улучшения видимости трехкратно вручную в обратном режиме (черные сосуды на белом фоне) проводился подсчет гиперрефлективных точек и микроаневризм [11]. Оценивали гиперрефлективные точки ≤30 мкм (с такой же отражательной способностью, как у слоя нервных волокон, и отсутствием тени), а также гиперрефлективные точки >30 мкм (отражательная способность такая же, как комплекс ретинального пигментного эпителия (РПЭ)). Микроаневризмами считали гиперрефлективную область, размер которой составлял >30 мкм (с наличием тени и расположением во внутренних слоях сетчатки) [12].

Площадь интратретиальных кист и ДРИЛ была рассчитана путем цветового порогового пиксельного анализа изображения, реализованного в программном обеспечении ImageJ с определением цветового порога в автоматическом режиме.

Статистическую обработку осуществляли на персональном компьютере с использованием программ Excel (Microsoft) и Statistica 10.0 (StatSoft); для переменных, подчиняющихся закону нормального распределения,

использовали среднее арифметическое (М), среднее квадратичное отклонение (σ). В корреляционном анализе применяли коэффициент корреляции Пирсона. Выбранный критический уровень значимости равнялся 5 % ($p < 0,05$).

РЕЗУЛЬТАТЫ

В результате комплексного изучения ангиоархитектоники сетчатки на уровнях ПСС и ГСК у пациентов с фокальным ДМО с помощью ОКТ-ангиографии во всех случаях были выявлены ОКТ-А-биомаркеры, которые играют важную роль в развитии ДМО. Так, у всех пациентов выявлены зоны ишемии сетчатки на уровнях ГСК и ПСС, локализующиеся в сегментах сетчатки от одного до шести, а именно в верхнетемпоральном, нижнетемпоральном, нижнем, нижненазальном, верхненазальном и парафовеальном сегменте. У всех пациентов также были обнаружены микрокисты без гиперрефлективного материала на уровне ГСК, локализующиеся преимущественно во внутреннем ядерном слое. У 85 пациентов путем комплексного анализа ОКТ-сканогамм-ангиограмм на уровне ГСК были выявлены гиперрефлективные точки и микроаневризмы, у 31 пациента двух групп выявлена ДРИЛ.

Через 1 месяц после лазерного лечения у всех пациентов отмечалась положительная динамика, выражающаяся в снижении высоты отека сетчатки. ЦТС в среднем по группе 1 составила: в фовеа — $294,00 \pm 5,38$ мкм, за пределами фовеа — $318,50 \pm 6,44$ мкм; в группе 2 в фовеа — $330,00 \pm 1,42$ мкм, за пределами фовеа — $321,00 \pm 0,91$ мкм. МКОЗ повысилась в среднем до $0,80 \pm 0,06$ в группе 1, в группе 2 — до $0,80 \pm 0,01$; СЧ центральной зоны — до $24,65 \pm 0,47$ дБ в группе 1, в группе 2 — до $24,80 \pm 0,17$ дБ.

Через 3 месяца наблюдалось дальнейшее снижение высоты отека: в группе 1 ЦТС в фовеа составила $252,50 \pm 2,19$ мкм, за пределами фовеа — $280,50 \pm 3,75$ мкм; в группе 2 ЦТС в фовеа составила $273,50 \pm 2,08$ мкм, за пределами фовеа — $251,50 \pm 1,34$ мкм. МКОЗ повысилась в среднем по группе до $0,85 \pm 0,06$ у пациентов группы 1 и до $0,85 \pm 0,002$ в группе 2, СЧ центральной зоны группы 1 — $25,50 \pm 0,30$ дБ, группы 2 — $24,40 \pm 0,16$ дБ.

Через 6 месяцев ЦТС в среднем по группе 1 составила: в фовеа — $270,00 \pm 1,81$ мкм, за пределами фовеа — $273,50 \pm 4,56$ мкм, у группы 2 в фовеа $268,00 \pm 2,11$ мкм, за пределами фовеа — $254,50 \pm 1,68$ мкм. Достигнуто стабильное повышение показателей МКОЗ — $0,85 \pm 0,06$ в группе 1 и $0,85 \pm 0,002$ в группе 2, СЧ центральной зоны $26,65 \pm 0,16$ дБ в группе 1, $24,60 \pm 0,18$ дБ в группе 2.

На рисунках 1–5 продемонстрированы средние значения всех количественных параметров, оцененных методом ОКТ-А, у пациентов двух групп до и в различные сроки (1, 3 и 6 мес.) после лечения. Площадь кист значительно снизилась начиная с 1 месяца наблюдения и на протяжении всех последующих сроков в группе 1 (6 месяцев — $0,0125 \pm 0,0002$ мм²) и группе 2

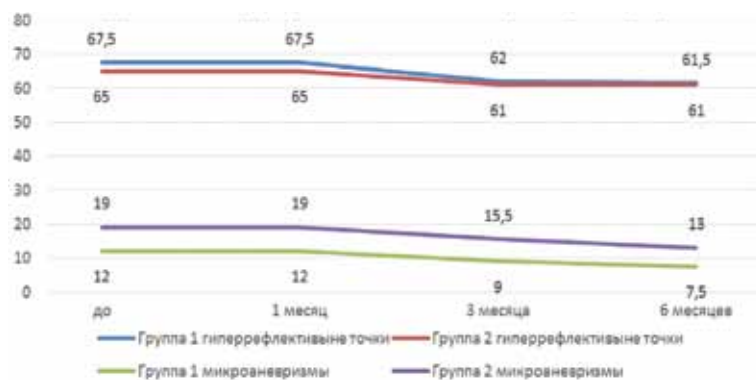


Рис. 1. Динамика гиперрефлексивных точек и микроаневризм

Fig. 1. Dynamics of hyper-reflective retinal spots and microaneurysms

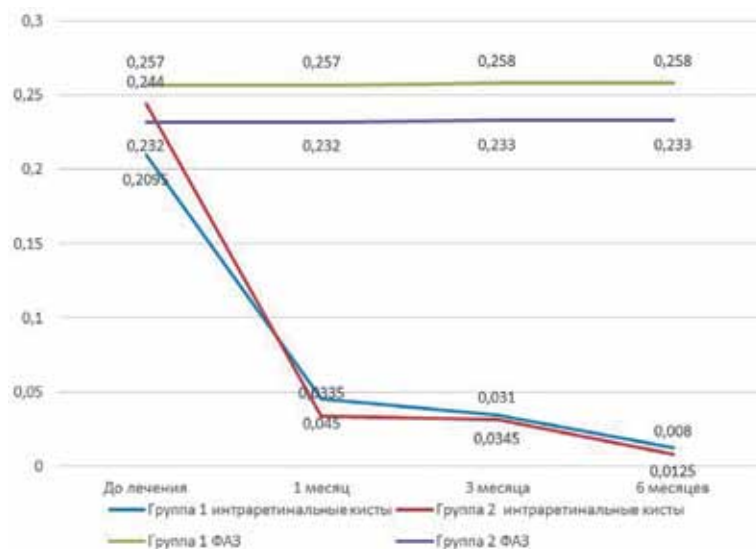


Рис. 2. Динамика площади интратретиальных кист и ФАЗ, мм²

Fig. 2. Dynamics of the area of intraretinal cysts and FAZ, mm²

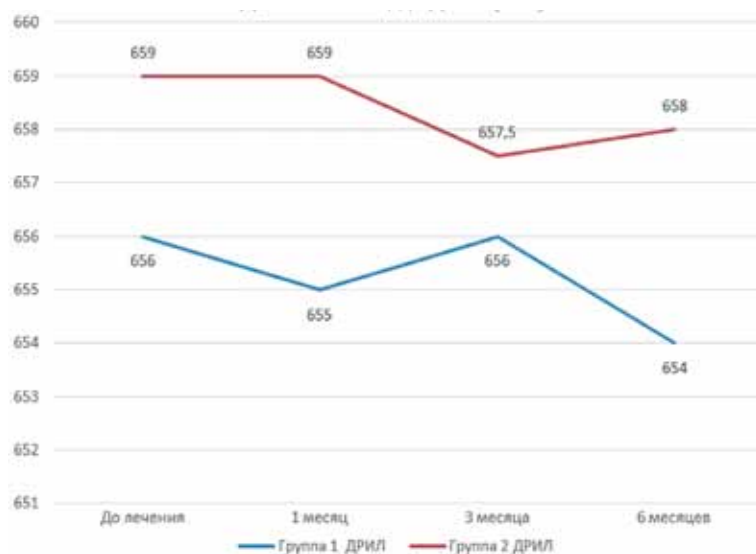


Рис. 3. Динамика площади ДРИЛ, мм²

Fig. 3. Dynamics of the area of DRIL, mm²

(6 месяцев — $0,0080 \pm 0,0001$ мм²). Количество микроаневризм на уровне ГСК значительно снизилось и составило $9,0 \pm 0,3$ к 3 месяцам и $7,5 \pm 0,26$ к 6 мес. наблюдения как в группе 1, так и в группе 2 — $15,5 \pm 0,6$ (3 мес.) и $13,0 \pm 0,5$ (6 мес.) и сохранялось во время всех последующих визитов (рис. 1, 6). Количество гиперрефлексивных точек значительно уменьшилось в сроки 3 и 6 месяцев в группе 1 (3 месяца — $62,00 \pm 1,16$; 6 месяцев — $61,50 \pm 1,14$) и группе 2 (3 и 6 месяцев — $61,00 \pm 1,16$) (рис. 1).

Исходно ДРИЛ присутствовала у 24 пациентов (в 48,0 % случаев) в группе 1 и у 17 (48,5 %) пациентов группы 2 (рис. 3). Средняя площадь ДРИЛ до лечения составила $656,00 \pm 3,96$ мкм в группе 1 и $659,00 \pm 6,40$ в группе 2; данный показатель незначительно уменьшился через 6 месяцев наблюдения: $654,00 \pm 3,28$ мкм в группе 1 ($p = 0,09$) и $658,00 \pm 6,88$ в группе 2 ($p = 0,6$), так и не достигнув статистической значимости $p > 0,05$.

Исходя из анализа изменений сосудистой плотности на уровне ПСС после лазерного лечения можно отметить, что увеличение общей плотности сосудов происходило в сроки 1 месяц и более, в фовеа — в сроки 3 и 6 месяцев, а в парафовеальной области — в сроки 1, 3 и 6 месяцев (рис. 4). На уровне ГСК отмечалась иная картина — увеличение общей сосудистой плотности и плотности сосудов в фовеа диагностировано на протяжении всего срока наблюдения, а в парафовеальной зоне данные изменения наблюдались через 6 месяцев после лечения (рис. 5).

Для исследования прогностической значимости метода ОКТ-А нами был проведен корреляционный анализ между функциональными показателями и ОКТ-А-биомаркерами после лечения. В ходе анализа была выявлена обратная корреляционная связь между показателями площади интратретиальных кист, ДРИЛ, ФАЗ, гиперрефлексивных точек и МКОЗ в группах 1 и 2, а также сильная обратная корреляционная связь между показателями площади интратретиальных кист, количеством гиперрефлексивных точек и СЧ и сильная прямая связь между показателями площади ФАЗ и СЧ. Также в ходе анализа данных наблюдалась сильная прямая связь между показателями МКОЗ и общей сосудистой плотностью, а также плотностью сосудов в парафовеа на уровне ПСС; на уровне ГСК между показателями МКОЗ и плотностью сосудов в фовеа. Была выявлена сильная обратная связь между показателями ЦТС и плотностью сосудов в фовеа и парафовеа на уровне ПСС, а также

плотностью сосудов в фовеа на уровне ГСК, центральной СЧ и общей плотностью сосудов в ГСК и ПСС. Также была выявлена сильная прямая связь между показателями центральной СЧ и плотностью сосудов в фовеа на уровнях ПСС и ГСК.

ОБСУЖДЕНИЕ

В настоящее время ОКТ-А представляет важным диагностическим инструментом у пациентов с диабетической ретинопатией для определения необходимости в лечении и прогнозировании ДМО на основе изучения визуализирующих ОКТ-А биомаркеров [13]. Наиболее перспективным является изучение ОКТ-А биомаркеров, состояние и топографическая локализация которых по данным литературы коррелирует с повышением зрительных функций. К вышеуказанным биомаркерам относятся: интратетинальные кисты, микроаневризмы, гиперрефлективные точки, ДРИЛ, состояние ФАЗ и плотность сосудистых сплетений сетчатки [12, 14, 15].

По данным нашего исследования в сроки 1, 3 и 6 месяцев после навигационного лазерного лечения у пациентов с ДМО в исследуемых группах было отмечено уменьшение площади интратетинальных кист (рис. 2), преимущественно локализующихся во внутреннем ядерном слое, однако стоит отметить, что в группе 2 данные изменения были более выраженными. Исходя из анализа литературы, именно локализация и длительность существования интратетинальных кист имеет важное значение для прогнозирования восстановления зрительных функций. Так, по мнению Т. Murakami, интратетинальные кисты, локализованные во внешнем ядерном слое, повреждают клетки фоторецепторов и нарушают соединение внутренних сегментов с внешними сегментами фоторецепторов сетчатки (IS/OS), тем самым вызывая необратимое снижение зрительных функций, а при длительном существовании отека кисты могут заполняться фибрином и другими воспалительными побочными продуктами с дальнейшей неэффективностью различных методов лечения, поэтому крайне важным является ранняя верификация данного ОКТ-А биомаркера и лечение ДМО [16, 17].

Исходя из данных нашего исследования, количество гиперрефлективных микроаневризм на уровне ГСК в сроки 3 и более месяцев значительно уменьшилось в двух группах, что согласуется с данными литературы, однако данный показатель у пациентов группы 2 был более выраженным (рис. 1, 6), несмотря на то что механизм воздействия на них носил опосредованный характер [18, 19]. Недавние исследования М. Pargavano и соавт. продемонстрировали, что именно гиперрефлективные микроаневризмы на уровне ГСК имеют высокую скорость

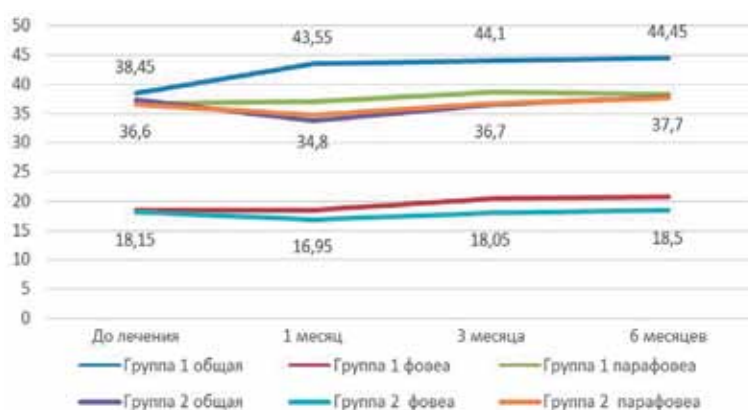


Рис. 4. Плотность сосудов в поверхностном сосудистом сплетении, %

Fig. 4. Vascular density in the superficial vascular plexus, %

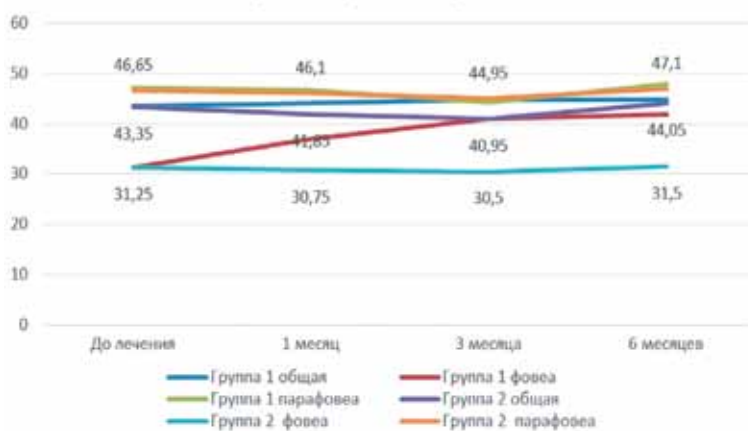


Рис. 5. Плотность сосудов в глубоком сосудистом комплексе, %

Fig. 5. Vascular density in the deep vascular complex, %

кровотока и часто приводят к возникновению отека [20]. Данными авторами также было высказано предположение, что при наличии гиперрефлективных микроаневризм возникает раннее и острое нарушение гемато-ретиального барьера, повышение проницаемости сосудов, снижение осмотического градиента и, соответственно, накопление внеклеточной жидкости с последующим образованием кист [21]. Как известно, клетки Мюллера играют ключевую роль в регуляции гомеостаза сетчатки, а их «активация» в ответ на локальные нейровоспалительные изменения может влиять на гемато-ретиальную барьерную функцию на уровне промежуточного и глубокого капиллярного сплетения [22]. Таким образом, восстановление функций клеток Мюллера в результате опосредованного лазерного воздействия в субпороговом микроимпульсном и непрерывном режиме может положительно влиять на уменьшение количества микроаневризм [18].

В нашем исследовании в сроки 3 и 6 месяцев количество гиперрефлективных точек на уровне ГСК значительно уменьшилось по сравнению с исходными показателями у пациентов обеих групп, однако в группе 1

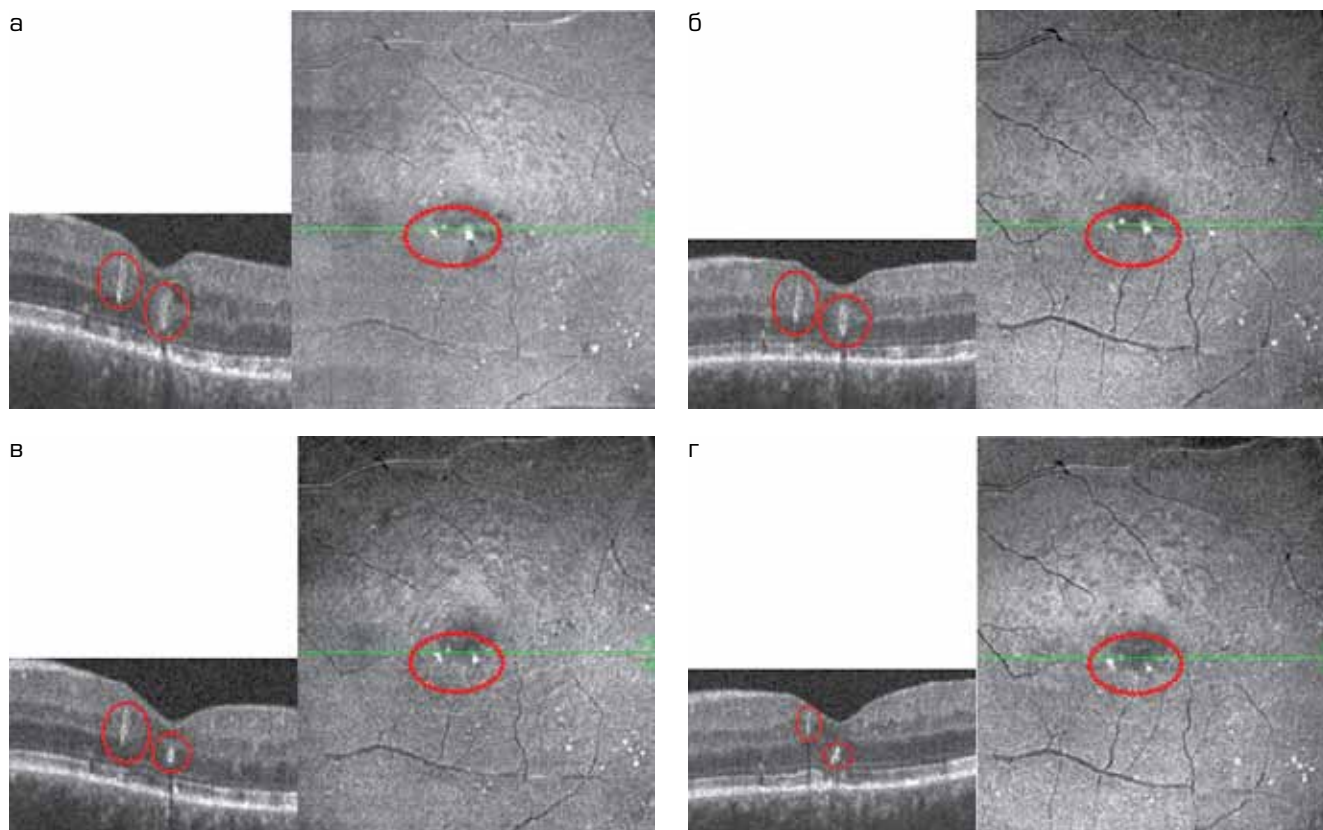


Рис. 6. Динамика количества и ангиоархитектоники микроаневризм: а — до лечения; б — через 1 месяц после лечения; в — через 3 месяца после воздействия; г — через 6 месяцев после лазерного лечения

Fig. 6. Dynamics of the number and angioarchitectonics of microaneurysms; а — before treatment; б — 1 month after treatment; в — 3 months after exposure; г — 6 months after laser treatment

динамика данных изменений была более выраженной. S. Vujosevic и соавт. в 2017 году установили значительную корреляцию между количеством небольших гиперрефлексивных точек и наличием субретинальной отслойки нейросенсорной сетчатки, что может свидетельствовать в пользу воспалительной теории ДМО, также авторами была отмечена значимость ОКТ-А-мониторинга гиперрефлексивных точек для оценки ответа на лечение данной патологии [15]. Кроме того, S. Vujosevic был отмечен «противовоспалительный» эффект микроимпульсного лазерного воздействия на сетчатку при ДМО [19]. По данным E. Midena, данный вид лазерного воздействия приводит к уменьшению количества гиперрефлексивных точек, микроаневризм, а увеличение метаболической активности макроглии, микроглии вызывает изменения экспрессии генов и секреции белка, что способствует снижению количества провоспалительных молекул, высвобождаемых активированными микроглиальными клетками сетчатки (глиальный фибриллярный кислый белок, Kir 4.1, регулируемые и нормальные Т-клетки, макрофагальный воспалительный белок-1 α , Fas лиганд и VEGF) [23].

Почти половина пациентов, включенных в исследование, 48,0 % в группе 1 и 48,5 % в группе 2, имели ДРИЛ на исходном уровне, причем как в группе 1 ($p = 0,095$), так и в группе 2 ($p = 0,66$). Через 6 месяцев после лечения

показатели так и не достигли статистической значимости $p > 0,05$, однако тенденция к уменьшению площади была более выражена у пациентов группы 1. Считается, что ДРИЛ является признаком нейродегенерации при ДМО, и расположение ДРИЛ во внутренних слоях сетчатки приводит к нарушению проведения возбуждения между фоторецепторами и ганглиозными клетками, что способствует снижению зрительных функций [14, 24]. Соответственно, уменьшение расширения ДРИЛ, по данным ряда публикаций, считается важным прогностическим фактором восстановления остроты зрения после лечения ДМО [14, 24].

По результатам нашего исследования площадь ФАЗ была стабильна на протяжении всех сроков наблюдения у пациентов обеих групп (рис. 2), что по данным литературы является хорошим прогностическим признаком при ДМО [25]. Моеин и соавт. было отмечено, что у пациентов с наличием ДМО с ДРИЛ площадь ФАЗ была значительно больше, чем у пациентов без данного ОКТ-А биомаркера, что свидетельствует о его прогностической значимости [25].

Увеличение сосудистой плотности на уровне ПСС и ГСК у пациентов группы 1 было отмечено в сроки 1, 3 и 6 месяцев, а у группы 2 данные изменения были отмечены только через 6 месяцев наблюдения. Вышеуказанные

статистические и морфометрические показатели увеличения сосудистой плотности на уровнях ПСС (рис. 4) и ГСК (рис. 5) после таргетного лазерного лечения положительно влияют на функциональные показатели у пациентов с ДМО в сроки 1, 3 и 6 месяцев, что согласуется с данными литературы [26]. Р. Nesper и соавт. была отмечена корреляционная связь между восстановлением исходной целостности ГСК на этапе начальной резорбции ДМО с долгосрочным восстановлением фоторецепторов и функциональным исходом у пациентов с разрешившимся ДМО [26]. С.-И. Suci и соавт. выявили, что через 3 месяца после субпорогового лазерного лечения увеличение плотности сосудов на уровне ГСК происходит более выражено, чем на уровне ПСС. Данные изменения коррелируют с повышением функциональных показателей у пациентов с ДМО [6]. По данным литературы, при корреляционном анализе сосудистая плотность на уровне ГСК имела достоверно положительную взаимосвязь со степенью восстановления эллипсоидной зоны, восстановлением внешней пограничной мембраны, повышением остроты зрения [27]. Связь между капиллярной неперфузией ГСК и аномалиями в слое фоторецепторов у пациентов с диабетической ретинопатией может подтвердить значительную взаимосвязь ГСК с потребностью фоторецепторов в кислороде при диабетической макулярной ишемии [26]. ГСК обеспечивает фоторецепторы кислородом примерно на 15 %, а ишемические изменения в ГСК могут играть важную роль в повреждении фоторецепторов у пациентов с ДМО [28, 29].

Механизм увеличения сосудистой плотности при ДМО остается предметом научной дискуссии, однако, согласно данным R.B. Rosen, вышеуказанные изменения могут возникать за счет «активации» резервных неперфузируемых сегментов капилляров или дилатации существующих капилляров [8]. По мнению ряда авторов, именно расширение существующих капилляров является основной причиной повышения сосудистой плотности в ПСС и ГСК [8]. Расширение капилляров заметно увеличивает объемный кровоток в сетчатке в четвертой степени от радиуса просвета в соответствии с уравнением Пуазейля. О данном повышении кровотока

у пациентов с сахарным диабетом без диабетической ретинопатии сообщалось в нескольких исследованиях с использованием различных методов [30, 31]. Кроме того, увеличение кровотока носит вторичный характер относительно расширения капилляров и может привести к более высокой концентрации внутрисосудистого кислорода в артериолах, что было продемонстрировано методом двухволновой оксиметрии у пациентов с СД II типа без диабетической ретинопатии [32].

Выводы

1. ОКТ-А биомаркеры диабетической макулопатии, диагностированные методом оптической когерентной томографии в режиме ангиографии, отражают состояние ангиоархитектоники сетчатки при ДМО, становятся важным инструментом для определения тактики лазерного воздействия и оценки результативности проводимого лечения.

2. Биомаркеры, оцененные методом ОКТ-А у пациентов с ДМО после проведенного лечения, имеют различную картину, зависящую от вида лазерного воздействия. Так, после проведенного таргетного топографически-ориентированного навигационного лечения показатели, касающиеся гиперрефлективных точек, сосудистой плотности и ДРИЛ у пациентов группы 1 имели большую тенденцию к положительной динамике, чем в группе 2. Напротив, показатели интратретинальных кист, микроаневризмов имели большую тенденцию к снижению у пациентов 2 группы, а показатель ФАЗ был стабилен в обеих группах на протяжении всех сроков наблюдения. Вышеуказанные различия ОКТ-А биомаркеров по данным нашего исследования могут быть использованы для определения тактики лечения и попытки прогнозирования ответа на лазерное воздействие в зависимости от клинической ситуации.

УЧАСТИЕ АВТОРОВ:

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

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Lee R., Wong T.Y., Sabanayagam C. Epidemiology of diabetic retinopathy, diabetic macular edema and related vision loss. *Eye Vis. (Lond.)*. 2015;2:17. DOI: 10.1186/s40662-015-0026-2
- Kwan C. C., Fawzi A. A. Imaging and biomarkers in diabetic macular edema and diabetic retinopathy. *Current Diabetes Reports*. 2019;10:19. DOI: 10.1007/s11892-019-1226-2
- Daruich A., Matet A., Moulin A., Kowalczyk L., Nicolas M., Sellam A., Rothschild P.R., Omri S., Gélizé E., Jonet L., Delaunay K., De Kozak Y., Berdugo M., Zhao M., Crisanti P., Behar-Cohen F. Mechanisms of macular edema: Beyond the surface. *Prog Retin Eye Res*. 2018;63:20–68. DOI: 10.1016/j.preteyeres.2017.10.006
- Tang F.Y., Chan E.O., Sun Z., Wong R., Lok J., Szeto S., Chan J.C., Lam A., Tham C.C., Ng D.S., Cheung C.Y. Clinically relevant factors associated with quantitative optical coherence tomography angiography metrics in deep capillary plexus in patients with diabetes. *Eye Vis (Lond)*. 2020;3:7. DOI: 10.1186/s40662-019-0173-y
- Chua J., Sim R., Tan B., Wong D., Yao X., Liu X., Ting D.S.W., Schmidl D., Ang M., Garhöfer G., Schmetterer L. Optical Coherence Tomography Angiography in Diabetes and Diabetic Retinopathy. *J Clin Med*. 2020;3(9):1723. DOI: 10.3390/jcm9061723
- Suci C.-I., Suci V.-I., Nicoara C.-D. Optical Coherence Tomography (Angiography) Biomarkers in the Assessment and Monitoring of Diabetic Macular Edema. *J Diabetes Res*. 2020;Dec 31;2020:6655021. DOI: 10.1155/2020/6655021
- Jenkins A.J., Joglekar M.V., Hardikar A.A., Keech A.C., O'Neal D.N., Januszewski A.S. Biomarkers in Diabetic Retinopathy. *Rev Diabet Stud*. 2015;Spring-Summer;12(1-2):159–195. DOI: 10.1900/RDS.2015.12.159
- Rosen R.B., Andrade Romo J.S., Krawitz B.D., Mo S., Fawzi A.A., Linderman R.E., Carroll J., Pinhas A., Chui T.Y.P. Earliest Evidence of Preclinical Diabetic Retinopathy Revealed Using Optical Coherence Tomography Angiography Perfused Capillary Density. *Am J Ophthalmol*. 2019;203:103–115. DOI: 10.1016/j.ajo.2019.01.012
- Zur D., Iglicki M., Busch C., Invernizzi A., Mariuzzi M., Loewenstein A. International Retina Group. OCT Biomarkers as Functional Outcome Predictors in Diabetic Macular Edema Treated with Dexamethasone Implant. *Ophthalmology*. 2018;125(2):267–275. DOI: 10.1016/j.ophtha.2017.08.031
- Inagaki K., Shuo T., Katakura K., Ebihara N., Murakami A., Ohkoshi K. Stimulation with a micropulse laser induces heat shock protein expression in ARPE-19 cells. *J Ophthalmol*. 2015;2015:729792. DOI: 10.1155/2015/729792
- Chen G., Tzekov R., Li W., Jiang F., Mao S., Tong Y. Subthreshold micropulse diode laser versus conventional laser photocoagulation for diabetic macular edema:

- a meta-analysis of randomized controlled trials. *Retina*. 2016;36:2059–2065. DOI: 10.1097/IAE.0000000000001053
12. Vujosevic S., Bini S., Torresin T., Berton M., Midena G., Parrozzani R., Martini F., Pucci P., Daniele A.R., Cavarzeran F., Midena E. Hyperreflective retinal spots in normal and diabetic eyes: B-Scan and En Face Spectral Domain Optical Coherence Tomography Evaluation. *Retina*. 2017;Jun;37(6):1092–1103. DOI: 10.1097/IAE.0000000000001304
 13. Markan A., Agarwal A., Arora A., Bazgain K., Rana V., Gupta V. Novel imaging biomarkers in diabetic retinopathy and diabetic macular edema. *Ther Adv Ophthalmol*. 2020;4;12:2515841420950513. DOI: 10.1177/2515841420950513
 14. Sun J.K., Lin M.M., Lammer J., Prager S., Sarangi R., Silva P.S., Aiello L.P. Disorganization of the retinal inner layers as a predictor of visual acuity in eyes with center-involved diabetic macular edema. *JAMA Ophthalmol*. 2014;132(11):1309–1316. DOI: 10.1001/jamaophthalmol.2014.2350
 15. Vujosevic S., Torresin T., Berton M., Bini S., Convento E., Midena E. Diabetic Macular Edema With and Without Subfoveal Neuroretinal Detachment: Two Different Morphological and Functional Entities. *Am J Ophthalmol*. 2017;181:149–155. DOI: 10.1016/j.ajo.2017.06.026
 16. Murakami T., Nishijima K., Akagi T., Uji A., Horii T., Ueda-Arakawa N., Muraoka Y., Yoshimura N. Optical coherence tomographic reflectivity of photoreceptors beneath cystoid spaces in diabetic macular edema. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2012;53(3):1506–1511. DOI: 10.1167/iovs.11-9231
 17. Liang M.C., Vora R.A., Duker J.S., Reichel E. Solid-appearing retinal cysts in diabetic macular edema: a novel optical coherence tomography finding. *Retin Cases Brief Rep*. 2013;7(3):255–258. DOI: 10.1097/ICB.0b013e31828eef49
 18. Vujosevic S., Gatti V., Muraca A., Brambilla M., Villani E., Nucci P., Rossetti L., De Cilla S. Optical coherence tomography angiography changes after subthreshold micropulse yellow laser in diabetic macular edema. *Retina*. 2020;40(2):312–321. DOI: 10.1097/IAE.0000000000002383
 19. Vujosevic S., Toma C., Villani E., Brambilla M., Torti E., Leporati F., Muraca A., Nucci P., De Cilla S. Subthreshold Micropulse Laser in Diabetic Macular Edema: 1-Year Improvement in OCT/OCT-Angiography Biomarkers. *Transl Vis Sci Technol*. 2020;9(10):31. DOI: 10.1167/tvst.9.10.31
 20. Parravano M., De Geronimo D., Scarinci F., Querques L., Virgili G., Simonetti J.M., Varano M., Bandello F., Querques G. Diabetic Microaneurysms Internal Reflectivity on Spectral-Domain Optical Coherence Tomography and Optical Coherence Tomography Angiography Detection. *Am J Ophthalmol*. 2017;179:90–96. DOI: 10.1016/j.ajo.2017.04.021
 21. Parravano M., De Geronimo D., Scarinci F., Virgili G., Querques L., Varano M., Bandello F., Querques G. Progression of Diabetic Microaneurysms According to the Internal Reflectivity on Structural Optical Coherence Tomography and Visibility on Optical Coherence Tomography Angiography. *Am J Ophthalmol*. 2019;198:8–16. DOI: 10.1016/j.ajo.2018.09.031
 22. Newman E., Reichenbach A. The Müller cell: a functional element of the retina. *Trends Neurosci*. 1996;19(8):307–312. DOI: 10.1016/0166-2236(96)10040-0
 23. Midena E., Bini S., Martini F., Enrica C., Pilotto E., Micera A., Esposito G., Vujosevic S. Changes of aqueous humor müller cells' biomarkers in human patients affected by diabetic macular edema after subthreshold micropulse laser treatment. *Retina*. 2020;40(1):126–134. DOI: 10.1097/IAE.0000000000002356
 24. Sun J.K., Radwan S.H., Soliman A.Z., Lammer J., Lin M.M., Prager S.G., Silva P.S., Aiello L.B., Aiello L.P. Neural Retinal Disorganization as a Robust Marker of Visual Acuity in Current and Resolved Diabetic Macular Edema. *Diabetes*. 2015;64(7):2560–2570. DOI: 10.2337/db14-0782
 25. Moein H.R., Novais E.A., Rebhun C.B., Cole E.D., Louzada R.N., Witkin A.J., Bauman C.R., Duker J.S., Waheed N.K. Optical coherence tomography angiography to detect macular capillary ischemia in patients with inner retinal changes after resolved diabetic macular edema. *Retina*. 2018;38(12):2277–2284. DOI: 10.1097/IAE.0000000000001902
 26. Nesper P.L., Scarinci F., Fawzi A.A. Adaptive Optics Reveals Photoreceptor Abnormalities in Diabetic Macular Ischemia. *PLoS One*. 2017;12(1):e0169926. DOI: 10.1371/journal.pone.0169926
 27. Moon B.G., Um T., Lee J., Yoon Y.H. Correlation between Deep Capillary Plexus Perfusion and Long-Term Photoreceptor Recovery after Diabetic Macular Edema Treatment. *Ophthalmol Retina*. 2018;2(3):235–243. DOI: 10.1016/j.oret.2017.07.003
 28. Birol G., Wang S., Budzynski E., Wangsa-Wirawan N.D., Linsenmeier R.A. Oxygen distribution and consumption in the macaque retina. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*. 2007;293(3):H1696–1704. DOI: 10.1152/ajpheart.00221.2007
 29. Lee J., Kim K.E., Choi D.K., Jang J.Y., Jung J.J., Kiyonari H., Shioi G., Chang W., Suda T., Mochizuki N., Nakaoka Y., Komuro I., Yoo O.J., Koh G.Y. Angiopoietin-1 guides directional angiogenesis through integrin $\alpha\beta 5$ signaling for recovery of ischemic retinopathy. *Sci Transl Med*. 2013;5(203):203ra127. DOI: 10.1126/scitranslmed.3006666
 30. Nesper P.L., Roberts P.K., Onishi A.C., Chai H., Liu L., Jampol L.M., Fawzi A.A. Quantifying Microvascular Abnormalities With Increasing Severity of Diabetic Retinopathy Using Optical Coherence Tomography Angiography. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2017;58(6):BIO307–BIO315. DOI: 10.1167/iovs.17-21787
 31. Burgansky-Eliash Z., Barak A., Barash H., Nelson D.A., Pupko O., Lowenstein A., Grinvald A., Rubinstein A. Increased retinal blood flow velocity in patients with early diabetes mellitus. *Retina*. 2012;32(1):112–119. DOI: 10.1097/IAE.0b013e31821ba2c4
 32. Hafner J., Ginner L., Karst S., Leitgeb R., Unterluggauer M., Sacu S., Mitsch C., Scholda C., Pablik E., Schmidt-Erfurth U. Regional Patterns of Retinal Oxygen Saturation and Microvascular Hemodynamic Parameters Preceding Retinopathy in Patients With Type II Diabetes. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2017;58(12):5541–5547. DOI: 10.1167/iovs.17-22523

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ФГАУ НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» имени академика С.Н. Федорова»
Министерства здравоохранения Российской Федерации
Володин Павел Львович
доктор медицинских наук, заведующий отделом лазерной хирургии сетчатки
Бескудниковский бульвар, 59а, Москва, 127486, Российская Федерация

ФГАУ НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» имени академика С.Н. Федорова»
Министерства здравоохранения Российской Федерации
Иванова Елена Владимировна
кандидат медицинских наук, врач-офтальмолог отдела лазерной хирургии сетчатки
Бескудниковский бульвар, 59а, Москва, 127486, Российская Федерация

ФГАУ НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» имени академика С.Н. Федорова»
Министерства здравоохранения Российской Федерации
Полякова Екатерина Юрьевна
аспирант отдела лазерной хирургии сетчатки
Бескудниковский бульвар, 59а, Москва, 127486, Российская Федерация

АО «Трейдомед Инвест»
Фомин Алексей Валентинович
директор по клиническим испытаниям
ул. Марксистская, 3, стр. 1, Москва, 109147, Российская Федерация

ABOUT THE AUTHORS

The S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution
Volodin Pavel L.
MD, head of the laser retinal surgery department
Beskudnikovskiy blvd, 59A, Moscow 127486, Russian Federation

The S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution
Ivanova Elena V.
PhD, ophthalmologist of the laser retinal surgery department
Beskudnikovskiy blvd, 59A, Moscow 127486, Russian Federation

The S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution
Polyakova Ekaterina. Iu
postgraduate student of the laser retinal surgery department
Beskudnikovskiy blvd, 59A, Moscow 127486, Russian Federation

Tradomed Invest
Fomin Alexey V.
director of Clinical Trials
Marxistskaya str., 3, p. 1, Moscow, 109147, Russian Federation

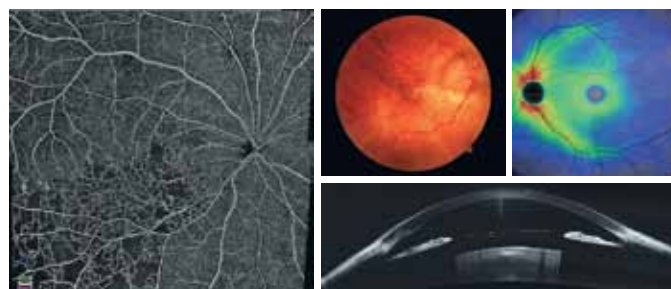
Инновационные методы диагностики и лечения патологий сетчатки

Оптический когерентный томограф нового поколения SOLIX

- Повышенная скорость сканирования — 120 000 А-сканов в секунду
- Встроенная фундус-камера
- Программное обеспечение MCT (Motion Correction Technology) — алгоритмы сканирования для пациентов с плохой фиксацией взгляда
- Диапазон сканирования в режиме ангио-ОКТ — от 3х3 до 18х18 мм
- Размер зоны сканирования в аксиальном направлении — 6,25 мм
- Программа AngioAnalytics™ для количественного анализа сосудов сетчатки
- Полноразмерное сканирование передней камеры
- Оптическая пахиметрия, картирование эпителия и стромы роговицы в зоне диаметром 10 мм



SOLIX 



Уникальная навигационная лазерная система Navilas 577s

NAVILAS® 577s

- Жёлтый 577 нм лазер с микроимпульсным режимом
- Трекинг и цифровое картирование сетчатки
- Высокая точность и скорость лечения
- Максимальный комфорт для пациента
- Повышенная клиническая эффективность
- Импорт сторонних изображений сетчатки с любых диагностических приборов
- Возможность удалённого управления и наблюдения (опция)
- Полностью бесконтактное лазерное лечение сетчатки в центре и на периферии



Бесконтактный объектив для периферии



Цветная и ИК-визуализация

OD-OS
RETINA NAVIGATION COMPANY

