

ПАТОЛОГИЯ СЕТЧАТКИ, СОСУДИСТОЙ ОБОЛОЧКИ И ЗРИТЕЛЬНОГО НЕРВА PATHOLOGY OF RETINA, CHOROID AND OPTIC NERVE

Научная статья
УДК 617.735-08
doi: 10.25276/0235-4160-2023-4-76-85

Влияние исходных структурных нарушений и послеоперационного изменения перфузии на функциональное восстановление сетчатки после хирургического лечения сквозных макулярных разрывов

Т.А. Докторова^{1, 2}, А.А. Суетов^{1, 3}, Э.В. Бойко^{1, 2}

¹НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России, Санкт-Петербургский филиал, Санкт-Петербург

²Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова Минздрава России, Санкт-Петербург

³Государственный научно-исследовательский испытательный институт военной медицины Минобороны России, Санкт-Петербург

РЕФЕРАТ

Цель. Исследовать взаимосвязь функционального восстановления сетчатки с исходным нарушением ее структуры и изменениями капиллярной перфузии после хирургического лечения идиопатических сквозных макулярных разрывов (СМР). **Материал и методы.** На 25 глазах с СМР с помощью оптической когерентной томографии (ОКТ) и ОКТ в ангио-режиме (ОКТ-А), микропериметрии, мультифокальной электроретинографии в 13 точках, находящихся на различном удалении от точки фиксации, исследованы плотность капилляров в поверхностном и глубоком капиллярном сплетении (ПКС и ГКС), световая чувствительность (СЧ), амплитуда и латентность Р1 в проекции разрыва, интратретинальных кистозных изменений (КИ), отслойки нейроэпителия (НЭ) и интактной сетчатки до оперативного лечения, через 7 дней и 3 месяца после. **Результаты.** В зоне разрыва, КИ и отслойки НЭ в сравнении с интактными участками сетчатки выявлено значимое снижение СЧ, увеличение латентности и снижение амплитуды Р1, снижение плотности капилляров в ПКС и ГКС. Через 3 месяца после операции отмечено функциональное восстановление сет-

чатки с увеличением ее перфузии. Выявлена корреляция послеоперационного изменения СЧ с изменением плотности капилляров в ПКС в проекции отслойки НЭ ($R=0,32$, $p=0,001$) и КИ ($R=0,19$, $p=0,001$), а также в ГКС в проекции отслойки НЭ и КИ ($R=0,31$, $p=0,001$). Изменение амплитуды Р1 в послеоперационном периоде значимо коррелировало с изменением перфузии в ПКС в проекции отслойки НЭ ($R=0,38$, $p=0,001$) и зоне разрыва ($R=0,31$, $p=0,001$), а также в ГКС в проекции КИ ($R=0,31$, $p=0,01$) и в зоне отслойки НЭ ($R=0,28$, $p=0,001$). **Заключение.** Таким образом, при использовании мультимодального топографически-ориентированного подхода выявлена взаимосвязь в послеоперационном периоде изменений функциональных показателей в различных точках макулярной области с изменениями локальной перфузии на уровне как ПКС, так и ГКС, при этом взаимосвязь наиболее выражена в проекции отслойки НЭ по краю разрыва и в зонах интратретинальных КИ.

Ключевые слова: сквозной макулярный разрыв, оптическая когерентная томография, оптическая когерентная томография-ангиография, микропериметрия, мультифокальная электроретинография, мультимодальная визуализация ■

Для цитирования: Докторова Т.А., Суетов А.А., Бойко Э.В. Влияние исходных структурных нарушений и послеоперационного изменения перфузии на функциональное восстановление сетчатки после хирургического лечения сквозных макулярных разрывов. Офтальмохирургия. 2023;4: 76–85. doi: 10.25276/0235-4160-2023-4-76-85

Автор, ответственный за переписку: Таисия Александровна Докторова, taisiiadok@mail.ru

ABSTRACT

Original article

The effect of preoperative structural changes and postoperative perfusion on the functional restoration of the retina in the surgical treatment of full-thickness macular holes

T.A. Doktorova^{1, 2}, A.A. Suetov^{1, 3}, E.V. Boiko^{1, 2}

¹S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, St. Petersburg Branch, St. Petersburg, Russian Federation

²I.I. Mechnikov North-Western State Medical University, St. Petersburg, Russian Federation

³State Scientific Research Test Institute of Military Medicine, St. Petersburg, Russian Federation

© Докторова Т.А., Суетов А.А., Бойко Э.В., 2023



Purpose. To evaluate effect of preoperative local structural retinal changes and capillary perfusion in idiopathic full-thickness macular holes (FTMH) on the recovery of functional activity of the retina after surgical treatment. **Materials and methods.** We used optical coherence tomography (OCT) and OCT-angiography (OCT-A), microperimetry, multifocal electroretinography. In 25 eyes with FTMH the density of capillaries in the superficial and deep capillary plexus (SCP and DCP), retinal sensitivity (RS), amplitude and implicit time of P1 were studied at 13 points located at different distances from the fixation point were evaluated. Data were analyzed in the projection of the hole, intraretinal cystic changes (ICC), neuroepithelial detachment (NED) and intact retina before surgical treatment, 7 days, and 3 months after. **Results.** In the area of hole, ICC, and NED, in comparison with intact areas of the retina, a significant decrease in RS, an increase in implicit time and a decrease in amplitude of P1, and a decrease in capillary density in the SCP and DCP were revealed. Functional restoration of the retina with an increase in its perfusion was noted 3 months after the surgery. The

correlation was found between postoperative changes in RS and changes in capillary density in the SCP in the projection of NED ($R=0.32$, $p=0.001$) and ICC ($R=0.19$, $p=0.001$), as well as in the DCP in the projection of NED and ICC ($R=0.31$, $p=0.001$). The change in the amplitude P1 in the postoperative period significantly correlated with the change in perfusion in the SCP in the projection of the NED ($R=0.38$, $p=0.001$) and the hole area ($R=0.31$, $p=0.001$), as well as in the DCP in the projection of the ICC ($R=0.31$, $p=0.01$) and in the area of NED ($R=0.28$, $p=0.001$). **Conclusion.** Thus, when using a multimodal topographically oriented approach, a relationship was found in the postoperative period of changes in functional parameters at various points in the macular area with changes in local perfusion at the level of both SCP and DCP, while the relationship is most significant in the projection of NED along the tear edge and in the areas of ICC.

Key words: full-thickness macular hole (FTMH), microperimetry, multifocal electroretinography, multimodal imaging, optical coherence tomography, optical coherence tomography-angiography ■

For citation: Doktorova T.A., Suetov A.A., Boiko E.V. The effect of preoperative structural changes and postoperative perfusion on the functional restoration of the retina in the surgical treatment of full-thickness macular holes. *Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery*. 2023;4: 76–85. doi: 10.25276/0235-4160-2023-4-76-85

Corresponding author: Taisiia A. Doktorova, taisiadok@mail.ru

АКТУАЛЬНОСТЬ

Идиопатические сквозные макулярные разрывы (СМР) являются причиной значительного снижения центрального зрения у лиц трудоспособного возраста [1]. Задняя витректомия стала «золотым стандартом» лечения СМР, при этом совершенствование хирургических техник, разработка новых подходов позволили достигнуть высоких результатов анатомического закрытия разрывов [2]. Тем не менее функциональная активность сетчатки после хирургического лечения часто восстанавливается не в полной мере, что может быть связано с влиянием различных факторов, в том числе с вторичными структурными нарушениями в нейроретине [3, 4].

Для оценки сетчатки в макулярной области как при СМР, так и при другой ретинальной патологии становится востребованным мультимодальный подход, одной из основных составляющих которого является оптическая когерентная томография (ОКТ) [5]. Дополнение структурных методов исследования функциональными (микропериметрия (МП) и мультифокальная электроретинография (мфЭРГ)) позволило объективно изучать локальные функциональные показатели, сопоставлять их со структурными нарушениями в выбранных точках сетчатки [5–9]. О прогностической значимости некоторых показателей МП и мфЭРГ при СМР ранее сообщалось в ряде исследований [8, 10, 11], но при этом остаются малоизученными взаимосвязи данных различных методов функциональных исследований при отдельных формах структурных нарушений в сетчатке.

Метод оптической когерентной томографии-ангиографии (ОКТ-А), позволяющий оценить перфузию сетчатки и сосудистой оболочки, получает все большее распространение в клинической практике [12]. Если при таких заболеваниях макулы, как неоваскулярная макулярная дегенерация или диабетическая макулопатия, ОКТ-А играет важную роль в принятии решений, то при СМР неизвестно влияние изменения кровоснабжения отдельных участков и слоев сетчатки на их функциональную активность.

С учетом ограниченных данных о многих аспектах функционального восстановления сетчатки после оперативного лечения СМР, применение функционального мультимодального топографически-ориентированного подхода в различные сроки после хирургического лечения может помочь выявить закономерности и возможные предикторы функционального успеха оперативного лечения СМР.

ЦЕЛЬ

Исследовать взаимосвязь функционального восстановления сетчатки с исходным нарушением ее структуры и изменениями капиллярной перфузии после хирургического лечения СМР.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Проведено проспективное исследование 25 пациентов (25 глаз) с СМР в Санкт-Петербургском филиале ФГАУ НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза»

им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России в соответствии с требованиями Хельсинкской декларации (в редакции 2003 г.) в 2022 г. Все пациенты подписывали информированное согласие на диагностическое обследование и хирургическое вмешательство.

Критерии включения: ранее не оперированные СМР. Критерии исключения: другие заболевания макулы, перенесенные или имеющиеся на момент осмотра воспалительные заболевания органа зрения, глаукома, сосудистая ретиальная патология, миопия более 6 дптр, помутнения оптических сред, препятствующие проведению функционального тестирования.

Кроме стандартного офтальмологического обследования (авторефрактометрия, визометрия, биометрия с определением передне-заднего размера глазного яблока, биомикроскопия и биомикроофтальмоскопия), выполняли ОКТ, ОКТ-А, МП и мфЭРГ. Обследование проводили перед хирургическим лечением, затем через 1 неделю и 3 месяца.

Для ОКТ- и ОКТ-А-исследования использовали томограф Cirrus HD-OCT 5000 (Carl Zeiss Meditec, Jena, Germany), протокол сканирования: макулярный куб 512-128, радиальные линейные структурные сканы, в режиме ОКТ-А область 3×3 мм. С помощью программы Image J (Version 1.49v; NIH, США) [5], на анфас-ОКТ- и ОКТ-А-изображениях оценивали апикальную площадь разрыва, площадь интратретиальных кистозных изменений (КИ) на уровне внутреннего ядерного слоя (ВЯС) и комплекса наружного плексиформного слоя и слоя Генле (НПС+СГ), площадь отслойки нейрорепителлия (НЭ) в зоне разрыва, площадь фовеолярной аваскулярной зоны (ФАЗ), плотность поверхностного и глубокого капиллярного сплетения (ПКС и ГКС).

Исследование СЧ в отдельных точках макулы было выполнено с помощью микропериметра Compass (CenterVue, Италия) по протоколу 10-2 (68 точек и 1 точка фиксации), пороговая стратегия 4-2, ахроматический объект III по Гольдману, время предъявления стимула 200 мс. СЧ оценивали в 13 точках, сгруппированных в три кольца – МП1 (точка фиксации), МП2, МП3 и расположенных на удалении 0-2,5°, 2,5-5,0° и 5,0-10,0° от точки фиксации.

МфЭРГ регистрировали с помощью электроретинографа «Нейро-ЭРГ» («Нейрософт», Россия) с модулем для мфЭРГ по протоколу, соответствующему стандарту ISCEV, в условиях световой адаптации [13]. Использовали паттерн-стимулятор, состоящий из 61 гексагона, условия тестирования обеспечивали поле тестирования на сетчатке 17,9°. В ответе первого порядка анализировали латентность и амплитуду компонента P1 в центральном гексагоне (R1), соответствующем точке фиксации, 4 гексагонах кольца R2 и 8 гексагонах кольца R3, топографически соответствующих точкам тестирования при проведении МП.

Сопоставляли результаты ОКТ, ОКТ-А, МП и мфЭРГ, масштабируя и соотнося по анатомическим ориентирам

(ДЗН, фовеа, ретиальные сосуды) изображения ретиальных карт из отдельных исследований в графическом редакторе, затем накладывали данные друг на друга (рис. 1). Суммарно 13 точек при проведении МП соответствовали 13 гексагонам паттерна мфЭРГ, проецирующимся в зонах 0-2,5°, 2,5-5,0° и 5,0-10,0° от точки фиксации, что анатомически соответствует фовеолярной аваскулярной зоне, фовеа и парафовеа. В проекции исследуемых гексагонов отмечали наличие/отсутствие структурных изменений, определяли плотность капилляров в ПКС и ГКС.

Для оценки корреляции динамики изменений показателей перфузии в ПКС и ГКС, СЧ и биоэлектрической активности сетчатки сопоставили разницу показателей до лечения и через 3 месяца после хирургического лечения, при этом анализ проводили в зонах отдельных структурных изменений (разрыв, КИ, отслойка НЭ, интактная сетчатка).

В ходе оперативного лечения выполнялась трехпортовая задняя витрэктомия 25G с удалением ВПМ, закрытием дефекта обогащенной тромбоцитами плазмой (PRP) или аутологичной кондиционированной плазмой (ACP), тампонадой воздухом или газом SF₆. В послеоперационном периоде пациентам рекомендовалось соблюдать положение «лицом вниз» в течение 2 суток после операции.

Статистическая обработка результатов исследования проводилась с использованием программы Statistica 12.0 (StatSoft Inc., США). Все количественные данные представлены в формате $M \pm m$. Сравнение показателей между группами выполнялось с помощью непараметрического U-критерия Манна – Уитни. Для определения связи между параметрами в группах использовали расчет рангового коэффициента корреляции. Статистически значимыми считали результаты с уровнем значимости $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Общая характеристика группы

Общая характеристика группы представлена в таблице 1. В группе преобладали СМР 4-й стадии [14]. Во всех случаях в нейроретине, окружающей разрыв, были выявлены интратретиальные КИ, а также в 22 случаях определялась отслойка НЭ по краю разрыва. В послеоперационном периоде КИ регрессировали полностью и при проведении ОКТ через 3 месяца не были выявлены.

Результаты ОКТ-А

До хирургического лечения площадь ФАЗ составила $0,32 \pm 0,08$ мм², через 3 месяца значительно уменьшилась до $0,25 \pm 0,05$ мм² ($p = 0,01$). Из-за смещения точки фиксации центр паттерна мфЭРГ располагался экстрафовеолярно, что обуславливало регистрацию сосудистого сигнала в центральном гексагоне R1 (точка фиксации при проведении мфЭРГ, рис. 1). Плотность капилляров была зна-

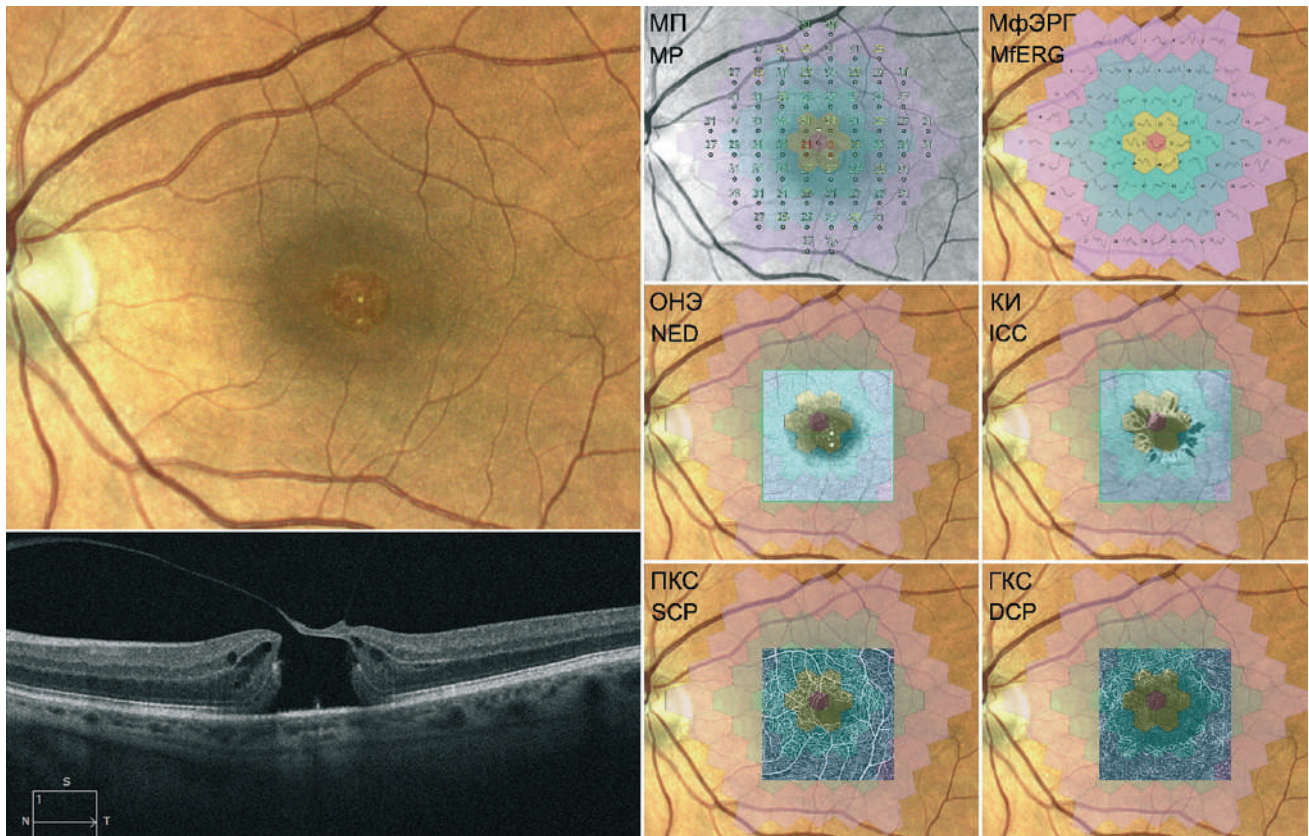


Рис. 1. Пример мультимодальной визуализации макулярной области при СМР, включающей функциональные методы исследования: фундус-изображение и структурный ОКТ-скан (слева), наложение паттерна мультифокальной ЭРГ (мфЭРГ) на карту МП и анфас-изображения слоев со структурными изменениями (отслойка НЭ и КИ) и картами перфузии в ПКС и ГКС (справа)

Fig. 1. The example of multimodal visualization of the macular area in FTMH, including functional research methods: fundus imaging and structural OCT scan (left), overlay of a multifocal ERG (mfERG) pattern on a microperimetry map, and enface images of layers with structural changes (NED and ICC) and perfusion maps in SCP and DCP (right)

чимо снижена в ПКС и ГКС не только в проекции разрыва, но и в зонах отслойки НЭ, а также интратетинальных КИ (табл. 2). После проведения хирургического лечения СМР плотность сосудов в капиллярных сплетениях значительно увеличилась ($p < 0,01$).

Результаты микропериметрии. Среднее значение СЧ до лечения было значительно ниже в сравнении с интактной сетчаткой в проекции всех учитываемых нарушений структуры сетчатки ($p < 0,001$, табл. 2). После оперативного лечения и закрытия разрыва отек в нейроретине регрессировал, при этом наблюдалось значимое увеличение СЧ в точке фиксации и в проекции разрыва уже на 7-е сутки ($p < 0,001$). Через 3 месяца значимых отличий СЧ в точках, соответствовавших интактной сетчатке и зонам структурных изменений сетчатки, регистрируемых до хирургического вмешательства, не выявлено (табл. 2). Во всех случаях точка фиксации через 3 месяца после хирургического лечения не изменилась.

Результаты мультифокальной ЭРГ. В предоперационном периоде выявлено значимое увеличение ла-

тентности P1 в проекции всех учитываемых структурных изменений в сравнении с интактными участками тестируемой макулярной области (табл. 2). Снижение латентности P1 через 7 дней и 3 месяца после хирургического лечения наблюдали в проекции разрыва и отслойки НЭ, при этом в проекции точки фиксации и зон интратетинальных КИ латентность пика P1 в течение 3 месяцев после закрытия разрыва значимо не изменилась.

До операции выявлены достоверно более низкие показатели амплитуды P1 в проекции исследуемых структурных изменений ($p < 0,001$), которые в послеоперационном периоде выросли и через 3 месяца не отличались от значений в интактных участках сетчатки (табл. 2). Менее выраженное восстановление регистрировалось в проекции разрыва.

Взаимосвязь изменений показателей ОКА, МП и мфЭРГ в послеоперационном периоде. В пределах тестируемой макулярной области между послеоперационным изменением СЧ и амплитуды P1 выявлена значимая

Таблица 1

Общая характеристика пациентов с СМР

Table 1

Demography and clinical characteristics of subjects with FTMH

Показатель Parameter	Значение Value
Возраст, лет Age, years	65,7±6,63
Пол, женщины/мужчины (n) Gender, female/male (n)	20/5
Ср.рефракция, дптр Refraction, D	-0,67±1,93
ПЗО, мм Axial length, mm	23,63±1,33
МКОЗ BCVA	0,32±0,17
Артифакция / Катаракта (N) Pseudophakic eyes/ Cataract (N)	3/22
Стадия СМР 1–4 (N) FTMH grade 1–4 (N)	1 (2), 2 (4), 3 (1), 4 (18)
Апикальный диаметр, мкм Apical diameter, μm	412,72±129,42
Базальный диаметр, мкм Basal diameter, μm	835,38±129,43
Площадь изменений в анфас-режиме ОКТ, мм ² Changes area in En Face OCT imaging	
Кистозные изменения в ВЯС Cystic changes in INL	0,98±0,67
Кистозные изменения в НПС+СГ Cystic changes in ONL+Genle layer	2,25±1,46
Отслойка НЭ в зоне разрыва Neuroepithelium detachment in hole area	0,55±0,38
Фовеолярная аваскулярная зона Foveal avascular zone	0,32±0,08

корреляция ($R=0,24$, $p<0,05$), более выраженная в проекции разрыва ($R=0,51$, $p=0,01$).

Послеоперационное изменение СЧ в наибольшей степени коррелировало с изменением плотности капилляров в ПКС (рис. 2) в проекции отслойки НЭ ($R=0,32$, $p=0,001$) и менее выражено в проекции интратетинальных КИ ($R=0,19$, $p=0,001$). Сходная взаимосвязь изменений СЧ в проекции отслойки НЭ и КИ отмечена с изменением плотности капилляров в ГКС ($R=0,31$, $p=0,001$).

Изменение амплитуды Р1 в послеоперационном периоде (рис. 3) значимо коррелировало с изменением перфузии в ПКС в проекции отслойки НЭ ($R=0,38$, $p=0,001$) и зоне разрыва ($R=0,31$, $p=0,001$). С изменениями плотности капилляров в ГКС взаимосвязь отмечена

в проекции интратетинальных КИ ($R=0,31$, $p=0,01$) и в зоне отслойки НЭ ($R=0,28$, $p=0,001$).

Между изменениями латентности Р1 и перфузии сетчатки в ПКС и ГКС не было выявлено значимой корреляции, в том числе в проекции отдельных структурных изменений.

ОБСУЖДЕНИЕ

В ряде исследований описано топографическое сопоставление результатов отдельных методов структурного и функционального анализа сетчатки при макулярной патологии, в том числе и при СМР [6, 8, 15–18].

Таблица 2

Показатели ОКТА, МП и мФЭРГ до и после лечения СМР

Table 2

OCTA, MP and mfERG data values before and after FTMH surgery

Период Period	Точка фиксации Fixation point	Зона разрыва Macular hole	Проекция КИ Intraretinal cystic changes	Проекция отслойки НЭ Neuroepithelium detachment	Интактная сетчатка Intact retina	Общая площадь Total area
Световая чувствительность, дБ Retinal sensitivity, dB						
до лечения before treatment	15,4±11,8 ^a	9,5±10,7 ^a	26,1±5,0 ^a	18,4±10,9 ^b	30,2±3,9	25,6±7,4
7 суток 7 days	24,9±5,0 ^{at}	20,8±9,9 ^{at}	26,3±3,9 ^{at}	23,3±7,2 ^{at}	28,3±2,3	26,6±4,7
3 месяца 3 months	28,6±4,0 ^t	27,9±4,9 ^t	28,7±3,0 ^t	27,8±4,0 ^t	29,4±2,4	28,9±3,0
Латентность P1, мс P1 implicit time, ms						
до лечения before treatment	48,9±6,7 ^b	48,9±6,4 ^b	47,2±6,7 ^a	47,2±7,1 ^a	43,2±6,4	46,7±6,7
7 суток 7 days	49,5±8,8 ^b	46,8±6,3 ^{at}	46,5±7,7 ^a	46,3±6,9 ^{at}	44,1±5,8	46,3±6,9
3 месяца 3 months	49,2±4,7 ^b	47,0±6,6 ^{at}	47,1±6,2 ^a	45,4±5,8 ^t	44,7±5,9	46,9±6,2
Амплитуда P1, мкВ P1 amplitude, dB						
до лечения before treatment	0,27±0,16 ^a	0,23±0,18 ^a	0,33±0,16 ^a	0,27±0,14 ^b	0,47±0,16	0,35±0,17
7 суток 7 days	0,43±0,26 ^{at}	0,38±0,27 ^{at}	0,43±0,20 ^{at}	0,43±0,22 ^{at}	0,59±0,20	0,46±0,21
3 месяца 3 months	0,44±0,17 ^t	0,38±0,16 ^t	0,42±0,20 ^t	0,43±0,22 ^t	0,48±0,19	0,43±0,2
Плотность капилляров в поверхностном капиллярном сплетении, % Vessel density in the superficial capillary plexus, %						
до лечения before treatment	7,7±9,9 ^a	6,1±12,3 ^a	28,0±12,8 ^a	19,8±14,5 ^a	39,9±11,5	30,9±15,4
7 суток 7 days	9,6±9,8 ^{at}	8,6±12,6 ^a	30,1±11,3 ^a	22,5±12,9 ^{at}	40,1±11,8	32,1±14,6
3 месяца 3 months	13,1±11,4 ^{at}	11,6±12,9 ^{at}	31,0±11,4	25,1±13,8 ^{at}	40,5±11,1	33,3±13,9
Плотность капилляров в глубоком капиллярном сплетении, % Vessel density in the deep capillary plexus, %						
до лечения before treatment	4,9±7,4 ^a	1,8±2,8 ^a	20,3±10,7 ^a	12,3±10,5 ^a	36,6±8,3	25,2±14,0
7 суток 7 days	7,6±9,1 ^{at}	4,1±3,8 ^{at}	24,0±9,5 ^{at}	17,0±9,9 ^{at}	36,6±8,7	27,2±12,8
3 месяца 3 months	9,9±10,0 ^{at}	6,5±6,2 ^{at}	24,9±8,9 ^{at}	18,5±9,9 ^{at}	37,5±7,9	28,6±12,2

Примечание. ^a – p<0,05; ^b – <0,01; ^a – <0,001 в сравнении со значениями интактной сетчатки;
^t – p<0,05 и ^t – p<0,001 в сравнении с исходными (предоперационными) показателями.

Note. ^a – p<0,05; ^b – <0,01; ^a – <0,001 compared with the values of the intact retina;
^t – p<0,05 and ^t – p<0,001 compared with baseline (preoperative) values

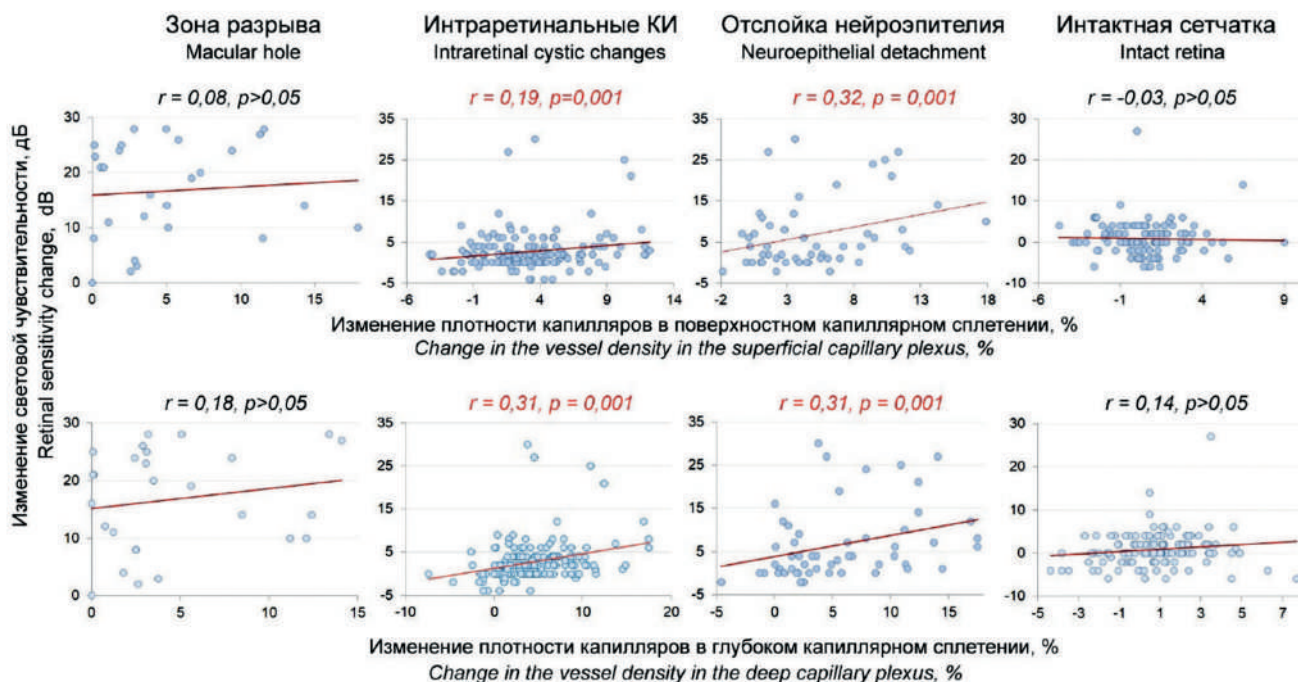


Рис. 2. Взаимосвязь послеоперационного изменения СЧ и перфузии сетчатки в проекции разрыва, отслойки НЭ, интраретинальных КИ и интактной сетчатке

Fig. 2. Correlation between postoperative changes in RS and retinal perfusion in the projection of the hole, NED, ICC and intact retina

Мы расширили мультимодальный подход, объединив возможности ОКТ, ОКТ-А, МП и мфЭРГ: регистрируемые локальные функциональные показатели МП и мфЭРГ топографически сопоставляются со структурными ОКТ-изображениями и анфас-изображениями ОКТ-А, позволяя изучать особенности патогенеза СМР и выявлять возможные прогностически значимые взаимосвязи. Совмещение результатов происходит по паттерну МП, где определяется точка фиксации, и паттерну мфЭРГ, в проекции гексагонов которого анализируются структурные изменения и капиллярная перфузия в отдельных участках сетчатки.

С использованием данного подхода ранее мы уже исследовали взаимосвязь различных показателей при СМР до проведения хирургического лечения, при этом было выявлено, что, в отличие от интактной сетчатки, при СМР между показателями СЧ и мфЭРГ в отдельных точках существует значимая связь, наиболее выраженная в зонах КИ, а также существует взаимосвязь между капиллярной перфузией в различных слоях сетчатки и ее биоэлектрической активностью. Было выдвинуто предположение, что снижение перфузии в макулярной области на уровне ГКС при длительно существующем разрыве может выступать предиктором более низкого функционального прогноза в исходе хирургического лечения СМР [19, 20].

Показатель СЧ характеризует общую функциональную активность сетчатки в конкретной тестируемой

точке, а показатели мфЭРГ позволяют оценить биоэлектротрогенез сетчатки на уровне преимущественно биполярных клеток и в меньшей степени фоторецепторов [6, 21]. Несмотря на то что проекции отслойки НЭ и интраретинальных КИ частично совпадают, можно сказать, что показатели мфЭРГ в большей степени отражают влияние КИ на функциональное состояние нейроретины, а на СЧ может влиять наличие как отслойки НЭ, так и КИ.

До оперативного лечения наиболее низкие показатели при проведении МП и мфЭРГ регистрировали не только в зоне разрыва, но также в проекции интраретинальных КИ и отслойки НЭ по краю разрыва. Ранее было показано, что при СМР на фоне длительно существующей отслойки НЭ наблюдаются дегенеративные изменения наружных слоев сетчатки, при этом атрофия пигментного эпителия и дезорганизация сегментов фоторецепторов (т.е. утрата линии сочленения наружных и внутренних сегментов IS-OS) в зоне разрыва являются отрицательными прогностическими признаками успешности хирургического лечения [8, 11]. Интраретинальный отек с кистообразованием при длительно персистировании макулярного разрыва также ведет к угнетению функций сетчатки, и площадь кистозных изменений находится в зависимости от площади отслойки НЭ [5]. В проведенном нами исследовании не учитывалась давность СМР и, соответственно, давность отслойки НЭ, поскольку пациенты не всегда могли назвать точное вре-

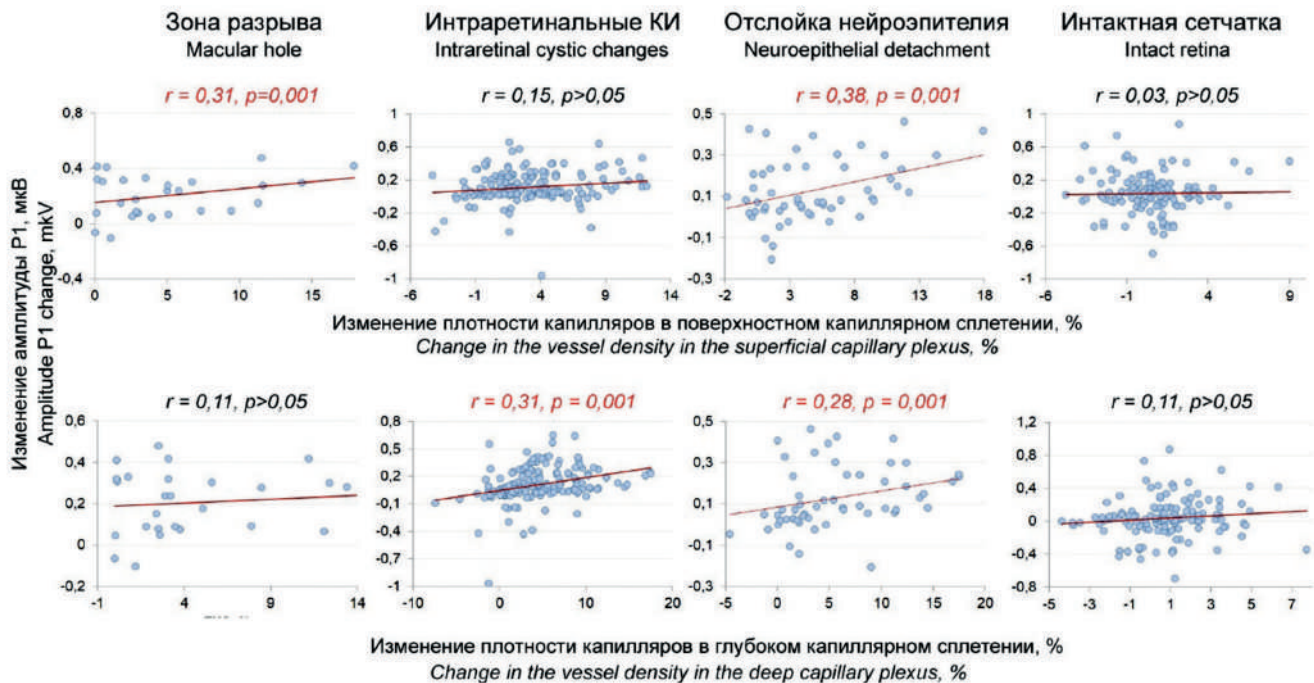


Рис. 3. Взаимосвязь послеоперационного изменения амплитуды P1 и перфузии сетчатки в проекции разрыва, отслойки НЭ, интраретинальных КИ и интактной сетчатке

Fig. 3. Relationship between postoperative changes in P1 amplitude and retinal perfusion changes in the projection of the hole, NED, ICC and intact retina

мя возникновения симптомов. Тем не менее после хирургического лечения СМР наблюдали признаки функционального восстановления сетчатки в макулярной области в различных ее слоях и в проекции различных структурных нарушений, включая отслойку НЭ и КИ, при этом между изменением показателей в послеоперационном периоде выявили значимую взаимосвязь, особенно сильную в зоне разрыва. В то же время присутствовали признаки сохраняющегося функционального дефицита: несмотря на увеличение СЧ и амплитуды P1, латентность компонента P1 не изменилась в сравнении с предоперационными значениями и осталась увеличенной относительно интактных участков сетчатки.

Известно, что при СМР не только увеличивается площадь ФАЗ, но также снижается перфузия сетчатки вокруг разрыва [7, 22, 23]. Тем не менее в опубликованных работах не были исследованы особенности перфузии сетчатки в зонах различных структурных изменений. В проведенном исследовании перфузия в макулярной области была значимо снижена на уровне ПКС и ГКС, при этом более выраженное снижение наблюдали в зонах, примыкающих к разрыву и особенно в проекции отслойки НЭ и КИ. Хотя увеличение объема сетчатки за счет отека само по себе снижает плотность распределения капилляров, тем не менее ранее было показано, что при кистозном макулярном отеке в макуле уменьшается количество капилляров [24]. При нарушении капиллярной

перфузии ишемия тканей ведет к усилению отека с нарушением функциональной активности клеток, что по механизму обратной связи ведет к дальнейшему усилению кистообразования. С этим согласуются и полученные результаты: при анализе локальных изменений перфузии сетчатки и связи с восстановлением ее функций наиболее значимые взаимосвязи отмечены именно в проекции отслойки НЭ и КИ.

Исходя из полученных результатов можно предположить, что угнетение функциональной активности сетчатки при СМР происходит не только вследствие формирования сквозного дефекта ткани с сопутствующим отеком и изменениями наружных слоев сетчатки, но и ухудшения кровоснабжения отдельных участков сетчатки. Наблюдаемая в работе взаимосвязь восстановления функциональных показателей и изменения перфузии сетчатки в различных ее участках и на различной глубине требует дальнейшего исследования ввиду возможности выявления новых прогностически значимых показателей при СМР.

Исследование имеет ряд ограничений. В частности, анализировали ограниченное количество случаев, поэтому для более убедительных выводов в дальнейшем необходимо исследование на большем количестве случаев СМР. Мы не можем исключить возможность пространственных смещений при наложении данных, хотя влияние этого фактора на результаты мы уменьшили, ис-

пользуя одинаковый протокол сопоставления данных различных исследований во всех случаях, а при проведении ОКТ-А для анализа использовали снимки максимального качества.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, при использовании мультимодального топографически-ориентированного подхода выявлена взаимосвязь в послеоперационном периоде изменений функциональных показателей в различных точках макулярной области с изменениями локальной перфузии на уровне как поверхностного, так и глубокого капиллярных сплетений, при этом взаимосвязь наиболее выражена в проекции отслойки нейрорепителлия по краю разрыва и в зонах интратретинальных кистозных изменений.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Forsaa VA, Lindtjorn B, Kvaloy JT, Frøystein T, Krohn J. Epidemiology and morphology of full-thickness macular holes. *Acta Ophthalmol.* 2018;96: 397–404. doi: 10.1111/aos.13618
2. Ittarat M, Somkijrungrroj T, Chansangpetch S, Pongsachareonnont P. Literature review of surgical treatment in idiopathic full-thickness macular hole. *Clin Ophthalmol.* 2020;14: 2171–2183. doi: 10.2147/OPTH.S262877
3. Steel DHW, Lotery AJ. Idiopathic vitreomacular traction and macular hole: A comprehensive review of pathophysiology, diagnosis, and treatment. *Eye.* 2013;27: S1–21. doi: 10.1038/eye.2013.212
4. Шпак А.А., Шкворченко Д.О., Шарафетдинов И.Х., Юханова О.А. Функциональные результаты хирургического лечения идиопатических макулярных разрывов. *Вестник офтальмологии.* 2016;132(2): 14–20. [Shpak AA, Shkvorchenko DO, Sharafetdinov IH, Yukhanova OA. Functional outcomes of idiopathic macular hole surgeries. *The Russian Annals of Ophthalmology.* 2016;132(2): 14–20. (In Russ.)] doi: 10.17116/oftalma2016132214-20
5. Nair U, Sheth JU, Indurkar A, Soman M. Intraretinal cysts in macular hole: A structure-function correlation based on en face imaging. *Clin Ophthalmol.* 2021;15: 2953–2962. doi: 10.2147/OPTH.S321594
6. Apostolopoulos MN, Koutsandrea CN, Moschos MN, Alonistiotis DA, Papaspyrou AE, Mallias JA, et al. Evaluation of successful macular hole surgery by optical coherence tomography and multifocal electroretinography. *Am J Ophthalmol.* 2002;134: 667–674. doi: 10.1016/S0002-9394(02)01700-2
7. Teng Y, Yu M, Wang Y, Liu X, You Q, Liu W. OCT angiography quantifying choriocapillary circulation in idiopathic macular hole before and after surgery. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.* 2017;255: 893–902. doi: 10.1007/s00417-017-3586-0
8. Chen WC, Wang Y, Li XX. Morphologic and functional evaluation before and after successful macular hole surgery using spectral-domain optical coherence tomography combined with microperimetry. *Retina.* 2012;32: 1733–1742. doi: 10.1097/IAE.0b013e318242b81a
9. Kim YJ, Jo J, Lee JY, Yoon YH, Kim JG. Macular capillary plexuses after macular hole surgery: An optical coherence tomography angiography study. *Br J Ophthalmol.* 2018;102: 966–970. doi: 10.1136/bjophthalmol-2017-311132
10. Steel DH, Donachie PHJ, Aylward GW, Laidlaw DA, Williamson TH, Yorston D, et al. Factors affecting anatomical and visual outcome after macular hole surgery: findings from a large prospective UK cohort. *Eye.* 2021;35: 316–325. doi: 10.1038/S41433-020-0844-X
11. Caprani SM, Donati S, Bartalena L, Vinciguerra R, Mariotti C, Testa F, et al. Macular hole surgery: The healing process of outer retinal layers to visual acuity recovery. *Eur J Ophthalmol.* 2017;27: 235–239. doi: 10.5301/ejo.5000905
12. de Carlo TE, Romano A, Waheed NK, Duker JS. A review of optical coherence tomography angiography (OCTA). *Int J Retin Vitreous.* 2015;1: 1–15. doi: 10.1186/s40942-015-0005-8
13. Hoffmann MB, Bach M, Kondo M, Li S, Walker S, Holopigian K, et al. ISCEV standard for clinical multifocal electroretinography (mfERG)

(2021 update). *Doc Ophthalmol.* 2021;142: 5–16. doi: 10.1007/s10633-020-09812-w

14. Gass JDM. Idiopathic senile macular hole: Its early stages and pathogenesis. *Arch Ophthalmol.* 1988;106: 629–639. doi: 10.1001/archophth.1988.01060130683026

15. Файзрахманов Р.Р., Зайнуллин Р.М., Гильманшин Т.Р., Ярмухаметова А.Л. Картирование фовеолярной области зоны сетчатки при идиопатическом макулярном разрыве. *Вестник ОГУ.* 2014;12(173): 322–324. [Fajzrahmanov RR, Zajnullin RM, Gil'manshin TR, Jarmuhametova AL. Mapping of the foveolar region of the retinal zone in idiopathic macular rupture. *Vestnik Orenburg State University.* 2014;12(173): 322–324. (In Russ.)]

16. Afridi R, Agarwal A, Nguyen N V, Hassan M, Sadiq MA, Nguyen QD. Topographic correlation between multifocal electroretinography, microperimetry, and spectral-domain optical coherence tomography of the macula in patients with birdshot chorioretinopathy. *J Ophthalmic Inflamm Infect.* 2019;9: 1–8. doi: 10.1186/s12348-019-0188-5

17. Bacherini D, Savastano MC, Dragotto F, Finocchio L, Lenzetti C, Bitossi A, et al. Morpho-functional evaluation of full-thickness macular holes by the integration of optical coherence tomography angiography and microperimetry. *J Clin Med.* 2020;9: 229. doi: 10.3390/JCM9010229

18. Жоголев К.С., Панова И.Е. Функциональные, ОКТ-морфометрические и структурные показатели сетчатки в мониторинге течения ламеллярных макулярных разрывов. *Современные технологии в офтальмологии.* 2020;1: 319–324. [Zhogolev KS, Panova IE. Functional, OCT-morphometric and structural parameters of the retina in monitoring the course of lamellar macular holes. *Modern technologies in ophthalmology.* 2020;1: 319–324. (In Russ.)] doi: 10.25276/2312-4911-2020-2-319-324

19. Докторова Т.А., Суетов А.А., Бойко Э.В., Сосновский С.В. Фундус-контролируемая микропериметрия и мультифокальная электроретинография при идиопатических сквозных макулярных разрывах. *Вестник Национального медико-хирургического центра им. Н.И. Пирогова.* 2022;17(4): 65–68. [Doktorova TA, Suetov AA, Boiko EV, Sosnovskiy SV. Fundus-controlled microperimetry and multifocal electroretinography for idiopathic full-thickness macular holes. *Bulletin of Pirogov National Medical & Surgical Center.* 2022;17: 65–68. (In Russ.)] doi: 10.25881/20728255_2022_17_4_2_65

20. Докторова Т.А., Суетов А.А., Бойко Э.В., Сосновский С.В. Влияние ретикулярной перфузии на биоэлектрическую активность сетчатки при сквозных макулярных разрывах. *Офтальмологические ведомости.* 2022;15(4): 7–14. [Doktorova TA, Suetov AA, Boiko EV, Sosnovskii SV. The effect of retinal perfusion on the bioelectric activity of the retina in full-thickness macular holes. *Ophthalmology Reports.* 2022;15(4): 7–14. (In Russ.)] doi: 10.17816/OV111903

21. Wang Z, Qi Y, Liang X, Yu Y, Chen J, Wang J, et al. MP-3 measurement of retinal sensitivity in macular hole area and its predictive value on visual prognosis. *Int Ophthalmol.* 2019;39: 1987–1994. doi: 10.1007/s10792-018-1032-x

22. Шкворченко Д.О., Крупина Е.А., Фомин А.В. ОКТ-ангиография в оценке результатов хирургического лечения макулярных разрывов. *Офтальмология.* 2019;16(3): 310–316. [Shkvorchenko DO, Krupina EA, Fomin AV. OCT angiography in evaluation of the macular holes treatment results. *Ophthalmology in Russia.* 2019;16(3): 310–316. (In Russ.)] doi: 10.18008/1816-5095-2019-3-310-316

23. Rizzo S, Savastano A, Bacherini D, Savastano MC. Vascular features of full-thickness macular hole by OCT angiography. *Ophthalmic Surg Lasers Imaging Retina.* 2017;48: 62–68. doi: 10.3928/23258160-20161219-09

24. Spaide RF. Retinal vascular cystoid macular edema: Review and new theory. *Retina.* 2016;36: 1823–1842. doi: 10.1097/IAE.0000000000001158

Информация об авторах

Тайсиа Александровна Докторова, врач-офтальмолог, аспирант, taisiadok@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2162-4018>

Алексей Александрович Суетов, к.м.н., врач-офтальмолог, ophtalm@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8670-2964>

Эрнест Витальевич Бойко, д.м.н., профессор, boiko111@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7413-7478>

Information about the authors

Taisiia A. Doktorova, Ophthalmologist, PhD Student, taisiadok@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2162-4018>

Alexey A. Suetov, PhD in Medicine, Ophthalmologist, ophtalm@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8670-2964>

Ernest V. Boiko, Doctor of Science in Medicine, Professor, boiko111@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7413-7478>

Вклад авторов в работу:

Т.А. Докторова: существенный вклад в концепцию и дизайн работы, сбор, анализ и обработка материала, статистическая обработка данных, написание текста.

А.А. Суетов: сбор, анализ и обработка материала, написание текста.

Э.В. Бойко: существенный вклад в концепцию и дизайн работы, редактирование текста и окончательное утверждение версии, подлежащей публикации.

Authors' contribution:

Taisiia A. Doktorova: significant contribution to the concept and design of the work, collection, analysis and processing of material, statistical data processing, writing.

Alexey A. Suetov: significant contribution to the collection, analysis and processing of material, statistical data processing, writing.

Ernest V. Boiko: significant contribution to the concept and design of the work, editing, final approval of the version to be published.

Финансирование: Авторы не получали конкретный грант на это исследование от какого-либо финансирующего агентства в государственном, коммерческом и некоммерческом секторах.

Согласие пациента на публикацию: Письменного согласия на публикацию этого материала получено не было. Он не содержит никакой личной идентифицирующей информации.

Конфликт интересов: Отсутствует.

Funding: The authors have not declared a specific grant for this research from any funding agency in the public, commercial or not-for-profit sectors.

Patient consent for publication: No written consent was obtained for the publication of this material. It does not contain any personally identifying information.

Conflict of interest: There is no conflict of interest.

Поступила: 17.07.2023

Переработана: 13.08.2023

Принята к печати: 21.11.2023

Originally received: 17.07.2023

Final revision: 13.08.2023

Accepted: 21.11.2023