DOI: https://doi.org/10.17816/0V634854



7

Влияние изменения перфузии сетчатки на послеоперационное восстановление функций фовеа при сквозных макулярных разрывах

Э.В. Бойко^{1,2}, Т.А. Докторова¹, А.А. Суетов^{1,3}, С.В. Сосновский¹

¹ Национальный медицинский исследовательский центр «Межотраслевой научно-технический комплекс «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Фёдорова», Санкт-Петербург, Россия;

² Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова, Санкт-Петербург, Россия;

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

АННОТАЦИЯ

Актуальность. Данные о влиянии изменения перфузии сетчатки на её функциональное восстановление при проведении хирургического лечения сквозных макулярных разрывов ограничены.

Цель — изучить влияние изменения перфузии сетчатки на послеоперационное восстановление функций фовеа при сквозных макулярных разрывах.

Материалы и методы. В проспективное исследование включили данные 93 пациентов (93 глаза) со сквозными макулярными разрывами. До хирургического лечения, через 1 и 6 мес. проводили оптическую когерентную томографиюангиографию, визометрию, микропериметрию и мультифокальную электроретинографию. Изучали взаимосвязь изменения площади фовеальной аваскулярной зоны, плотности сосудов в поверхностном и глубоком капиллярных сплетениях с изменением максимальной корригированной остроты зрения (МКОЗ), световой чувствительности (СЧ) в точке фиксации и амплитуды P1 в зоне фовеа в различные периоды после лечения.

Результаты. После закрытия разрыва выявлено значимое уменьшение площади фовеальной аваскулярной зоны, увеличение плотности сосудов в поверхностном и глубоком капиллярных сплетениях в течение 1 мес. после лечения (p < 0,001). Значимое увеличение МКОЗ, СЧ и амплитуды Р1 наблюдали через 1 и 6 мес. после закрытия разрыва (p < 0,001). Наиболее выраженная корреляция выявлена в отдалённом послеоперационном периоде между изменением плотности сосудов в поверхностном капиллярном сплетении и изменением МКОЗ, СЧ и амплитуды Р1 (r = 0,42, r = 0,26 и r = 0,3 соответственно, p < 0,05), а также между изменением плотности сосудов в глубоком капиллярном сплетении и изменением МКОЗ, СЧ и амплитуды Р1 (r = 0,41, r = 0,34 и r = 0,43 соответственно, p < 0,05). Выводы. При лечении пациентов со сквозными макулярными разрывами между изменением перфузии сетчатки и восстановлением остроты зрения, СЧ и биоэлектрической активности в зоне фовеа существует значимая взаимосвязь, при этом она более выраженная в период от 1 до 6 мес. после закрытия разрыва. Полученные результаты свидетельствуют о возможной прогностической роли данных оптической когерентной томографии-ангиографии при проведении хирургического лечения сквозных макулярных разрывов.

Ключевые слова: сетчатка: макулярный разрыв: перфузия: оптическая когерентная томография-ангиография; мультифокальная электроретинография.

Как цитировать

Бойко Э.В., Докторова Т.А., Суетов А.А., Сосновский С.В. Влияние изменения перфузии сетчатки на послеоперационное восстановление функций фовеа при сквозных макулярных разрывах // Офтальмологические ведомости. 2025. Т. 18. № 1. С. 7–16. DOI: https://doi.org/10.17816/0V634854

Рукопись получена: 04.08.2024

Рукопись одобрена: 12.11.2024

Опубликована online: 31.03.2025



8

The effect of changes in retinal perfusion on postoperative recovery of foveal function in full-thickness macular holes

Ernest V. Boiko^{1,2}, Taisiia A. Doktorova¹, Alexey A. Suetov^{1,3}, Sergey V. Sosnovskii¹

¹ S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, Saint Petersburg, Russia;

² North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, Saint Petersburg, Russia;

³ State Scientific Research Test Institute of Military Medicine, Saint Petersburg, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: Data on the effect of changes in retinal perfusion on retinal functional recovery at surgical treatment of full-thickness macular holes are limited.

AIM: To investigate the effect of changes in retinal perfusion on postoperative recovery of fovea function in full-thickness macular holes.

MATERIALS AND METHODS: A prospective study included data of 93 patients (93 eyes) with full-thickness macular holes. Optical coherence tomography-angiography (OCT-A), visual acuity testing, microperimetry, and multifocal electroretinography were performed before surgical treatment, after 1 and 6 months. We studied the relationship between changes in foveal avascular zone area, vessel density in the superficial capillary plexus (SCP) and deep capillary plexus (DCP) with changes in best corrected visual acuity (BCVA), retinal sensitivity (RS) at the fixation point and P1 amplitude in the fovea at different periods after treatment.

RESULTS: After surgical hole closure, a significant decrease in foveal avascular zone area, increase in vascular density in SCP and DCP was found within 1 month after treatment (p < 0.001). Significant increase in BCVA, RS and P1 amplitude was observed 1 and 6 months after hole closure (p < 0.001). The most pronounced correlation was found in the long-term postoperative period between the change in vessel density in the SCP and the change in BCVA, RS and P1 amplitude (r = 0.42, r = 0.26 and r = 0.3, p < 0.05), as well as between the change in vessel density in the DCP and the change in BCVA, RS and P1 amplitude (r = 0.41, r = 0.34 and r = 0.43, p < 0.05).

CONCLUSIONS: In the treatment of patients with full-thickness macular holes, there is a significant relationship between changes in retinal perfusion and the recovery of visual acuity, retinal sensitivity and bioelectrical activity in the foveal area, and it is more pronounced in the period from 1 to 6 months after macular hole closure. The obtained results suggest a possible prognostic role of OCTA results in the surgical treatment of full-thickness macular holes.

Keywords: retina; macular hole; perfusion; optical coherence tomography-angiography; multifocal electroretinography.

To cite this article

Boiko EV, Doktorova TA, Suetov AA, Sosnovskii SV. The effect of changes in retinal perfusion on postoperative recovery of foveal function in full-thickness macular holes. *Ophthalmology Reports*. 2025;18(1):7–16. DOI: https://doi.org/10.17816/0V634854

Received: 04.08.2024



Accepted: 12.11.2024

АКТУАЛЬНОСТЬ

Сквозной макулярный разрыв (СМР) — одна из распространённых патологий в практике витреоретинального хирурга [1]. Современные технологии позволяют добиваться 100 % анатомического закрытия СМР [2–4]. Однако хирургические техники не обеспечивают гарантированного высокого функционального результата, в связи с чем продолжается изучение различных предикторов успешного лечения СМР [5, 6].

Вокруг зоны разрыва при формировании СМР происходят вторичные изменения сетчатки, такие как интраретинальный отёк с кистозными полостями, отслойка нейроретины и нарушение структуры наружных слоёв сетчатки [7]. Такие анатомические ориентиры, как минимальный дефект нейроретины на уровне эллипсоидной зоны, минимальное повреждение наружной пограничной мембраны и сохранение нормальной, по данным оптической когерентной томографии сетчатки (ОКТ), морфологии сетчатки в области фовеа после закрытия разрыва важные предикторы функционального восстановления сетчатки [8]. В то же время, в ряде работ отмечено изменение перфузии сетчатки при СМР, при этом остаётся малоизученной роль изменения перфузии сетчатки как до, так и после хирургического лечения СМР в процессах функционального восстановления фовеа [9-12].

Цель исследования — изучение влияние изменения перфузии сетчатки на послеоперационное восстановление функций фовеа при сквозных макулярных разрывах.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В проспективное исследование, выполненное в Санкт-Петербургском филиале ФГАУ НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Фёдорова» Минздрава России, включили данные 93 пациентов (93 глаза, средний возраст пациентов 64,5 ± 6,5 лет) с идиопатическими СМР I–IV стадии по D. Gass, которым хирургическое лечение провели впервые. Исследование выполнено в период 2022–2024 гг., соответствовало требованиям Хельсинкской декларации (в редакции 2003 г.), все участники подписали информированное добровольное согласие на диагностическое обследование и хирургическое вмешательство.

Критерии включения: верифицированный диагноз «идиопатический СМР», по поводу которого хирургическое лечение проводилось впервые.

Критерии исключения: помутнения оптических сред, препятствующие визуализации и проведению функционального тестирования, сопутствующая макулярная патология, глаукомная нейрооптикопатия, воспалительные и сосудистые заболевания, аномалии рефракции более 6 дптр, а также силиконовая тампонада как этап хирургического лечения, наличие атрофии пигментного эпителия сетчатки в зоне разрыва перед проведением хирургического лечения. Обследование пациентов с использованием мультимодального подхода проводили перед хирургическим лечением, через 1 и 6 мес. после лечения (рис. 1).

Исследование структурных особенностей и перфузии макулы осуществляли с помощью оптической когерентной томографии в ангиорежиме (OKTA) на приборе Solix (Optovue, CШA), используя протокол AngioVue Retina (6,4×6,4 мм) с автоматическим анализом перфузии с использованием программного обеспечения прибора (AngioVue Analysis SW Ver: 11.0.0.29946). Учитывали площадь фовеальной аваскулярной зоны (ФАЗ), плотность сосудов в поверхностном и глубоком капиллярных сплетениях (ПКС и ГКС) в зоне фовеа в соответствии со схемой ETDRS. При анализе использовали изображения с качеством не ниже Q8, сегментацию слоёв сетчатки проводили прибором автоматически.

При функциональном тестировании определяли максимальную корригированную остроту зрения (МКОЗ) с помощью проектора знаков Huvitz CCP-3100 (Huvitz, Kopeя). Световую чувствительность (СЧ) исследовали в точке фиксации с помощью микропериметрии (Compass, CenterVue, Италия) по протоколу 10–2 (68 точек и 1 точка фиксации, пороговая стратегия 4–2, ахроматический объект III по Гольдманну). Биоэлектрическую активность сетчатки в фовеа исследовали с помощью мультифокальной электроретинографии (ЭРГ) на электроретинографе «Нейро-ЭРГ» (Нейрософт, Россия), при этом учитывали амплитуду компонента Р1 в центральном гексагоне паттерна мультифокальной ЭРГ, соответствующем фовеа (паттерн 61 гексагон, угловые размеры 17,9° на сетчатке).

Хирургическое лечение СМР проводили по стандартному протоколу с удалением внутренней пограничной мембраны, закрытием дефекта обогащённой тромбоцитами плазмой или аутологичной кондиционированной плазмой и газовоздушной тампонадой.

Статистическая обработка результатов выполнена в программе Statistica 12.0 (StatSoft Inc., США). Количественные результаты представлены в формате $M \pm SD$. Оценку нормальности распределения в анализируемых выборках проводили с помощью теста Колмогорова-Смирнова. Сравнение показателей в разные сроки наблюдения выполняли с помощью *t*-критерия Стьюдента для связанных выборок. Для определения связи между параметрами в группах использовали расчёт коэффициента корреляции Пирсона. Для исследования взаимосвязи изменений функциональных и структурных показателей рассчитывали значения разницы показателей до и через 6 мес. после лечения (общая динамика изменений относительно исходных данных), а также в период до лечения и через 1 мес. после лечения и в период через 1 и 6 мес. после лечения (динамика изменений в раннем и отдалённом послеоперационном периоде), далее проводили корреляционный анализ полученных данных. Статистически значимыми считали результаты с уровнем значимости *p* < 0.05.

10



Рис. 1. Пример мультимодальной визуализации у пациента со сквозным макулярным разрывом в течение периода наблюдения: паттерны мультифокальной электроретинографии (ЭРГ) и микропериметрии, линейные сканы и анфас-изображения изучаемых структурных изменений фовеа при проведении ОКТ и ОКТА

Fig. 1. An example of multimodal imaging in a patient with full-thickness macular hole during the observation period: patterns of multifocal electroretinography and microperimetry, linear scans and en face images of the studied structural changes of the fovea by OCT and OCT-A

РЕЗУЛЬТАТЫ

Общая характеристика группы пациентов представлена в табл. 1. Большую часть случаев составили разрывы IV стадии по D. Gass при среднем апикальном и базальном диаметре разрыва в группе 411,6 ± 126,5 и 819,8 ± 287,8 мкм. Во всех случаях вокруг зоны разрыва выявляли кистозные изменения нейроретины на уровне внутреннего ядерного слоя и комплекса наружного плексиформного слоя и слоя Генле. Показатель МКОЗ до хирургического лечения составлял 0,28 ± 0,13, при этом длительность симптомов к моменту поступления на хирургическое лечение СМР составляла 5,7 мес. (диапазон от 2 нед. до 14 мес.), однако в некоторых случаях пациенты не могли определить давность возникновения жалоб.

При проведении хирургического лечения достигнуто закрытие СМР I типа в 67 случаях, а в 26 случаях наблюдали закрытие II типа, при этом ни в одном из случаев не было интра- и послеоперационных осложнений, а также при последующем наблюдении не было рецидивов макулярного разрыва.

По данным ОКТА, площадь ФАЗ до закрытия разрыва составляла $0,31 \pm 0,09 \text{ мм}^2$, через 1 мес. значимо уменьшилась до $0,21 \pm 0,08 \text{ мм}^2$ (p = 0,001) и далее через 6 мес. значимо увеличилась и составила $0,25 \pm 0,09 \text{ мм}^2$

Том 18, № 1, 2025

Таблица 1. Общая характеристика пациентов со сквозными макулярными разрывами

Table 1. General characteristic of subjects with full-thickness macular holes

Показатель	Значение
Возраст, лет	64,5 ± 6,5
Пол, женщины/мужчины (n)	74/19
Средняя рефракция, дптр	0,12 ± 1,85
Переднезадняя ось, мм	23,54 ± 1,12
Максимальная корригированная острота зрения	0,28 ± 0,13
Артифакия / катаракта (<i>n</i>)	18/75
Стадия сквозного макулярного разрыва I–IV (n)	I (10), II (18), III (19), IV (46)
Длительность симптомов, мес.	5,7 (0,5–14)
Апикальный диаметр, мкм	411,6 ± 126,5
Базальный диаметр, мкм	819,8 ± 287,8



Рис. 2. Изменение исследуемых показателей перфузии и функциональных показателей фовеа в течение периода наблюдения **Fig. 2.** Changes in the studied perfusion parameters and functional parameters of the fovea during the observation period

(p = 0,003, рис. 2). Плотность сосудов в ПКС в зоне фовеа до лечения составила 21,3 ± 6,1 %, через 1 мес. увеличилась до 30,8 ± 6,4 % (p = 0,001) и затем через 6 мес. значимо не изменилась и составила 28,3 ± 5,4 %. Одновременно плотность сосудов в ГКС до лечения СМР составила 21,9 ± 5,7 %, через 1 мес. увеличилась до 27,6 ± 6,0 % (p = 0,001) и через 6 мес. значимо не изменилась — 25,7 ± 2,5 %.

При функциональном тестировании показатель МКОЗ до проведения лечения составлял 0,28 ± 0,13, через

Таблица 2. Корреляция показателей перфузии и функциональных показателей, регистрируемых в фовеа после закрытия сквозных макулярных разрывов (СМР) в разные временные периоды

Table 2. Correlation of perfusion parameters and functional parameters recorded in the fovea after full-thickness macular holes' closure at different examinations periods

Показатель ОКТА	Изменения функциональных показателей			
	МК03	световая чувствительность, дБ	амплитуда Р1	
Период: до операции и через 6 мес. после закрытия СМР				
Площадь фовеальной аваскулярной зоны	0,05	-0,18	-0,07	
Плотность сосудов в ПКС	0,32*	0,17	0,18	
Плотность сосудов в ГКС	0,38*	0,18*	0,32*	
Период: до операции и через 1 мес. после закрытия СМР				
Площадь фовеальной аваскулярной зоны	0,07	-0,19	-0,11	
Плотность сосудов в ПКС	0,21*	0,06	0,14	
Плотность сосудов в ГКС	-0,04	0,05	0,19*	
Период: от 1 до 6 мес. после закрытия СМР				
Площадь фовеальной аваскулярной зоны	0,11	-0,15	-0,12	
Плотность сосудов в ПКС	0,42*	0,26*	0,3*	
Плотность сосудов в ГКС	0,41*	0,34*	0,43*	

Примечание. ПКС — поверхностное капиллярное сплетение; ГКС — глубокое капиллярное сплетение. *p < 0.05. *Note.* ПКС, superficial capillary plexus; ГКС, deep capillary plexus. *p < 0.05.

1 и 6 мес. значимо увеличился до 0,44 ± 0,17 и 0,59 ± 0,23 соответственно (p = 0,001; рис. 2). СЧ в точке фиксации до лечения составляла 16,4 ± 11,1 дБ, через 1 мес. увеличилась до 26,5 ± 4,3 дБ (p = 0,001) и через 6 мес. достигла 29,9 ± 4,8 дБ (p = 0,002). Амплитуда компонента Р1 в проекции фовеа до закрытия разрыва составляла 0,28 ± 0,17 мкВ, через 1 и 6 мес. показатель значимо увеличился до значений 0,42 ± 0,15 и 0,54 ± 0,18 мкВ соответственно (p = 0,001).

В раннем послеоперационном периоде изменение плотности сосудов в ПКС значимо коррелировало с изменением МКОЗ (r = 0,21, p = 0,005), а изменение плотности сосудов в ГКС значимо коррелировало с амплитудой компонента Р1 при регистрации мультифокальной ЭРГ (r = 0,19, p = 0,01; табл. 2). В отдаленном периоде после закрытия разрыва наблюдали значимую умеренную корреляционную связь изменений учитываемых функциональных параметров с изменением плотности сосудов как в ПКС, так и в ГКС (табл. 2). При сопоставлении изменения показателей за весь период наблюдения (от предоперационного до значений через 6 мес. после лечения) значимая корреляция выявлена между плотностью сосудов в ГКС и изменением МКОЗ (r = 0,38, p = 0,001), изменением СЧ (r = 0, 18, p = 0, 01), а также изменением амплитуды P1 (*r* = 0,32, *p* = 0,001). Кроме того, изменение плотности сосудов в ПКС также коррелировало с изменением МКОЗ в течение полугода после закрытия разрыва (r = 0,32, р = 0,002; табл. 2).

ОБСУЖДЕНИЕ

Изменение перфузии сетчатки играет важную роль в патогенезе различных сосудистых заболеваний, вовлекающих макулу, например при диабетической ретинопатии или сосудистых окклюзиях, при этом количественные показатели перфузии, определяемые при проведении ОКТА, могут иметь прогностическое значение для восстановления функций сетчатки в ходе проводимого лечения [13]. Ранее было показано, что при СМР также происходит изменение перфузии сетчатки вокруг зоны разрыва: наблюдается увеличение площади ФАЗ, снижение плотности сосудов как в ПКС, так и в ГКС [10, 14]. Считается, что в основе этих изменений лежит не только механический дефект ткани, но и развитие отёка с формированием интраретинальных кистозных полостей, которые смещают и сдавливают сосуды в капиллярных сплетениях, при этом более выраженные изменения происходят на уровне глубокого сплетения [10, 15, 16].

Функциональные результаты хирургического закрытия макулярного разрыва зависят от степени восстановления нормальной анатомической структуры сетчатки. В частности, установлена важная роль исходной сохранности и послеоперационного восстановления эллипсоидной зоны фоторецепторов, наружной пограничной мембраны и комплекса ганглиозных клеток сетчатки [17, 18]. Ранее в отдельных работах также выявлено наличие корреляции между показателями плотности сосудов в ПКС и ГКС и значениями СЧ и биоэлектрической активности сетчатки, при этом корреляция была более выраженной в зонах кистозных изменений и в проекции отслоённой нейроретины [9, 12, 19].

В отличие от предыдущих исследований, в настоящей работе мы изучили характер влияния изменения перфузии сетчатки на её функциональное восстановление в разные промежутки послеоперационного периода: ранний — до 1 мес. после закрытия разрыва и поздний — от 1 до 6 мес. после проведения хирургического лечения.

В исследовании в 67 случаях из 93 наблюдали I тип закрытия разрыва, при котором в зоне фовеа происходит послойная реконструкция сетчатки [5], при этом в течение первого месяца после закрытия разрыва происходило значимое уменьшение площади ФАЗ с увеличением плотности сосудов как в ПКС, так и в ГКС, что было обусловлено как механическим смещением краёв разрыва с соответствующим перемещением всех сосудистых структур к его центру, так и регрессом интраретинальных кистозных полостей вокруг разрыва в ближайшее время после его закрытия. В отдалённом послеоперационном периоде в сравнении со значениями через 1 мес. после закрытия СМР площадь ФАЗ увеличилась, а значения плотности сосудов в ПКС и ГКС значимо не изменились, что свидетельствует о стабилизации гисто- и ангиоархитектоники нейроретины в зоне макулы. Таким образом, в послеоперационном периоде происходит восстановление сосудистых сплетений в фовеа, при этом наиболее активные процессы ремоделирования и восстановления перфузии в них наблюдаются в раннем послеоперационном периоде, а в дальнейшем они мало изменяются, но степень их восстановления влияет на гомеостаз и функциональное состояние нейроретины.

При обследовании пациентов значимое увеличение MK03, СЧ и амплитуды компонента Р1 в зоне фовеа происходило и через 1 и 6 мес. после закрытия разрыва, при этом наличие корреляции с изменением плотности сосудов преимущественно в ГКС обосновывает выдвинутое ранее предположение, что сохранение кровотока в капиллярных сплетениях вокруг зоны разрыва в предоперационном периоде, а также реперфузия сдавленных кистозными полостями капилляров могут быть прогностически благоприятными маркерами функционального восстановления сетчатки [10].

При анализе взаимосвязи показателей перфузии и функциональных показателей была выявлена значимая корреляция и более высокие значения коэффициента корреляции уже в отдалённом послеоперационном периоде — от 1 до 6 мес. после закрытия разрыва, что может быть связано как с длительно протекающими процессами восстановления сетчатки, так и с увеличением значимости повышения перфузии тканей в отдалённом периоде, когда значение прочих факторов (например, механический дефект ткани), влияющих на прогноз, снижается. Кроме того, наблюдаемая корреляция изменения амплитуды компонента Р1 при проведении мультифокальной ЭРГ с изменением плотности сосудов в ГКС демонстрирует влияние кровоснабжения на субстрат показателя — биоэлектрическую активность биполярных клеток в комплексе с мюллеровскими клетками сетчатки [20].

Важно отметить, что ограничением в исследовании было последовательное включение всех случаев СМР, соответствующих критериям включения и исключения, независимо от типа закрытия разрыва. Отдельное изучение групп с разными типами закрытия разрыва в дальнейшем может дать больше информации о роли перфузии в процессах восстановления сетчатки. Кроме того, ограничением исследования стало отсутствие учёта других структурных изменений в сетчатке, в том числе связанных с самим хирургическим вмешательством.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, при лечении СМР между изменением перфузии сетчатки и восстановлением остроты зрения, СЧ и биоэлектрической активности в зоне фовеа существует значимая взаимосвязь, при этом она более выраженная в период от 1 до 6 мес. после закрытия разрыва. Полученные результаты свидетельствуют о возможной прогностической роли результатов ОКТА при проведении хирургического лечения СМР.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией. Личный вклад каждого автора: Э.В. Бойко — концепция и дизайн работы, редактирование текста и окончательное утверждение версии статьи; Т.А. Докторова — концепция и дизайн работы, сбор, анализ и обработка материала, статистическая обработка данных, написание текста; А.А. Суетов — сбор, анализ и обработка материала, написание текста; С.В. Сосновский — существенный вклад в редактирование текста и окончательное утверждение версии, подлежащей публикации.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Этический комитет. Протокол исследования одобрен локальным этическим комитетом Санкт-Петербургского филиала ФГАУ НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Фёдорова» Минздрава России 08.02.2022 (№ 11).

ADDITIONAL INFO

Authors' contribution. All authors made a substantial contribution to the conception of the study, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the article, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the study. Personal contribution of each author: E.V. Boiko, significant contribution to the concept and design of the work, editing, final approval of the version to be published; T.A. Doktorova, significant contribution to the concept and design of the work, collection, analysis and processing of material, statistical data processing, writing; A.A. Suetov, significant contribution to the collection, analysis and processing of material, statistical data processing, writing; S.V. Sosnovskii, significant contribution to the editing, final approval of the version to be published.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Forsaa V.A., Lindtjørn B., Kvaløy J.T., et al. Epidemiology and morphology of full-thickness macular holes // Acta Ophthalmol. 2018. Vol. 96, N 4. P. 397–404. doi: 10.1111/aos.13618

2. Shpak A.A., Shkvorchenko D.O., Krupina E.A. Surgical treatment of macular holes with and without the use of autologous platelet-rich plasma // Int Ophthalmol. 2021. Vol. 41. P. 1043–1052. doi: 10.1007/s10792-020-01662-4

3. Арсютов Д.Г., Паштаев Н.П. Современные подходы хирургии центральной отслойки сетчатки с макулярным разрывом у пациентов с критически высокой миопией // Вестник НМХЦ им. Н.И. Пирогова. 2022. Т. 17, № S4. С. 31–33. EDN: NABTLY doi: 10.25881/20728255_2022_17_4_S1_31

4. Байбородов Я.В., Жоголев К.С., Хижняк И.В. Темпы восстановления остроты зрения после хирургического лечения макулярных разрывов с интраоперационным применением оптической когерентной томографии и различных методов визуализации внутренней пограничной мембраны // Вестник офтальмологии. 2017. Т. 133, № 6. С. 90–98. EDN: YLJGYD doi: 10.17116/OFTALMA2017133690-98

5. Rossi T., Bacherini D., Caporossi T., et al. Macular hole closure patterns: an updated classification // Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol. 2020. Vol. 258. P. 2629–2638. doi: 10.1007/S00417-020-04920-4

6. Шпак А.А., Шкворченко Д.О., Шарафетдинов И.Х., Юханова О.А. Функциональные результаты хирургического лечения идиопатических макулярных разрывов // Вестник офтальмологии. 2016. Т. 132, № 2. С. 14–20. EDN: VTIJNT doi: 10.17116/OFTALMA2016132214-20

7. Steel D.H.W., Lotery A.J. Idiopathic vitreomacular traction and macular hole: A comprehensive review of pathophysiology, diagnosis, and treatment // Eye. 2013. Vol. 27. P. S1–S21. doi: 10.1038/eye.2013.212

8. Liu L., Enkh-Amgalan I., Wang N.-K., et al. Results of macular hole surgery: Evaluation based on the international vitreomacular traction study classification // Retina. 2018. Vol. 38, N 5. P. 900–906. doi: 10.1097/IAE.000000000001647

9. 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. С. 76–85. EDN: UJIBAO doi: 10.25276/0235-4160-2023-4-76-85

10. Rizzo S., Savastano A., Bacherini D., Savastano M.C. Vascular features of full-thickness macular hole by OCT angiography // Oph-

Funding source. The study was not supported by any external sources of funding.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Ethics approval. This study was approved by the local ethical committee of S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, Saint Petersburg Branch (Protocol No. 11 dated 2022 Feb. 08).

thalmic Surg Lasers Imaging Retin. 2017. Vol. 48. N 1, P. 62–68. doi: 10.3928/23258160-20161219-09

11. Shahlaee A., Rahimy E., Hsu J., et al. Preoperative and postoperative features of macular holes on en face imaging and optical coherence tomography angiography // Am J Ophthalmol Case Rep. 2017. Vol. 5. P. 20–25. doi: 10.1016/j.ajoc.2016.10.008

12. Kim Y.J., Jo J., Lee J.Y., et al. Macular capillary plexuses after macular hole surgery: An optical coherence tomography angiography study // Br J Ophthalmol. 2018. Vol. 102, N 7. P. 966–970. doi: 10.1136/bjophthalmol-2017-311132

13. Spaide R.F., Fujimoto J.G., Waheed N.K., et al. Optical coherence tomography angiography // Prog Retin Eye Res. 2018. Vol. 64. P. 1–55. doi: 10.1016/J.PRETEYERES.2017.11.003

14. Teng Y., Yu M., Wang Y., et al. OCT angiography quantifying choriocapillary circulation in idiopathic macular hole before and after surgery // Graefe's Arch Clin Exp Ophthalmol. 2017. Vol. 255. P. 893–902. doi: 10.1007/s00417-017-3586-0

15. Michalewska Z., Michalewski J., Cisiecki S., et al. Correlation between foveal structure and visual outcome following macular hole surgery: A spectral optical coherence tomography study // Graefe's Arch Clin Exp Ophthalmol. 2008. Vol. 246. P. 823–830. doi: 10.1007/s00417-007-0764-5

16. Spaide R.F. Retinal vascular cystoid macular Edema: Review and new theory // Retina. 2016. Vol. 36, N 10. P. 1823–1842. doi: 10.1097/IAE.00000000001158

17. Baumann C., Iannetta D., Sultan Z., et al. Predictive Association of pre-operative defect areas in the outer retinal layers with visual acuity in macular hole surgery // Transl Vis Sci Technol. 2021. Vol. 10, N 4. P. 7–7. doi: 10.1167/TVST.10.4.7

18. Baba T., Yamamoto S., Kimoto R., et al. Reduction of thickness of ganglion cell complex after internal limiting membrane peeling during vitrectomy for idiopathic macular hole // Eye. 2012. Vol. 26. P. 1173–1180. doi: 10.1038/eye.2012.170

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. Т. 17, № 4. С. 65–68. EDN: DXWXIU doi: 10.25881/20728255_2022_17_4_2_65

20. Hoffmann M.B., Bach M., Kondo M., et al. ISCEV standard for clinical multifocal electroretinography (mfERG) (2021 update) // Doc Ophthalmol. 2021. Vol. 142. P. 5–16. doi: 10.1007/s10633-020-09812-w

REFERENCES

1. Forsaa VA, Lindtjørn B, Kvaløy JT, et al. Epidemiology and morphology of full-thickness macular holes. *Acta Ophthalmol.* 2018;96(4):397–404. doi: 10.1111/aos.13618

2. Shpak AA, Shkvorchenko DO, Krupina EA. Surgical treatment of macular holes with and without the use of autologous platelet-rich plasma. *Int Ophthalmol.* 2021;41:1043–1052. doi: 10.1007/s10792-020-01662-4

3. Arsiutov DG, Pashtaev NP. Modern technologies of surgery of central retinal detachment with macular hole in patients with critically high myopia. *Bulletin of Pirogov national medical and surgical center*. 2022;17(S4): 31–33. EDN: NABTLY doi: 10.25881/20728255 2022 17 4 S1 31

4. Bayborodov YaV, Zhogolev KS, Khiznyak IV. Rate of visual recovery after macular hole surgery with intraoperative optical coherence tomography and visualization of the internal limiting membrane. *Russian annals of ophthalmology*. 2017;133(6):90–98. EDN: YLJGYD doi: 10.17116/OFTALMA2017133690-98

5. Rossi T, Bacherini D, Caporossi T, et al. Macular hole closure patterns: an updated classification. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.* 2020;258:2629–2638. doi: 10.1007/S00417-020-04920-4

6. Shpak AA, Shkvorchenko DO, Sharafetdinov IKh, Yukhanova OA. Functional outcomes of idiopathic macular hole surgeries. *Russian annals of ophthalmology.* 2016;132(2):14–20. EDN: VTIJNT doi: 10.17116/0FTALMA2016132214-20

7. Steel DHW, Lotery AJ. Idiopathic vitreomacular traction and macular hole: A comprehensive review of pathophysiology, diagnosis, and treatment. *Eye.* 2013;27: S1–S21. doi: 10.1038/eye.2013.212

8. Liu L, Enkh-Amgalan I, Wang N-K, et al. Results of macular hole surgery: Evaluation based on the international vitreomacular traction study classification. *Retina*. 2018;38(5):900–906. doi: 10.1097/IAE.000000000001647

9. Doktorova TA, Suetov AA, Boiko EV. 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. EDN: UJIBAO doi: 10.25276/0235-4160-2023-4-76-85 **10.** Rizzo S, Savastano A, Bacherini D, Savastano MC. Vascular features of full-thickness macular hole by OCT angiography. *Ophthalmic Surg Lasers Imaging Retin*. 2017;48(1):62–68. doi: 10.3928/23258160-20161219-09

11. Shahlaee A, Rahimy E, Hsu J, et al. Preoperative and postoperative features of macular holes on en face imaging and optical coherence tomography angiography. *Am J Ophthalmol Case Rep.* 2017;5:20–25. doi: 10.1016/j.ajoc.2016.10.008

12. Kim YJ, Jo J, Lee JY, et al. Macular capillary plexuses after macular hole surgery: An optical coherence tomography angiography study. *Br J Ophthalmol.* 2018;102(7):966–970. doi: 10.1136/bjophthalmol-2017-311132

13. Spaide RF, Fujimoto JG, Waheed NK, et al. Optical coherence tomography angiography. *Prog Retin Eye Res.* 2018;64:1–55. doi: 10.1016/J.PRETEYERES.2017.11.003

14. Teng Y, Yu M, Wang Y, et al. OCT angiography quantifying choriocapillary circulation in idiopathic macular hole before and after surgery. *Graefe's Arch Clin Exp Ophthalmol.* 2017;255:893–902. doi: 10.1007/s00417-017-3586-0

15. Michalewska Z, Michalewski J, Cisiecki S, et al. Correlation between foveal structure and visual outcome following macular hole surgery: A spectral optical coherence tomography study. *Graefe's Arch Clin Exp Ophthalmol.* 2008;246:823–830. doi: 10.1007/s00417-007-0764-5 **16.** Spaide RF. Retinal vascular cystoid macular Edema: Review and new theory. *Retina.* 2016;36(10):1823–1842. doi: 10.1097/IAE.00000000001158

17. Baumann C, Iannetta D, Sultan Z, et al. Predictive Association of pre-operative defect areas in the outer retinal layers with visual acuity in macular hole surgery. *Transl Vis Sci Technol.* 2021;10(4):7–7. doi: 10.1167/TVST.10.4.7

18. Baba T, Yamamoto S, Kimoto R, et al. Reduction of thickness of ganglion cell complex after internal limiting membrane peeling during vitrectomy for idiopathic macular hole. *Eye.* 2012;26:1173–1180. doi: 10.1038/eye.2012.170

19. Doktorova TA, Suetov AA, Boiko EV, Sosnovskiy SV. Funduscontrolled microperimetry and multifocal electroretinography for idiopathic full-thickness macular holes. *Bulletin of Pirogov national medical and surgical center*. 2022;17(4):65–68. EDN: DXWXIU doi: 10.25881/20728255_2022_17_4_2_65

20. Hoffmann MB, Bach M, Kondo M, et al. ISCEV standard for clinical multifocal electroretinography (mfERG) (2021 update). *Doc Ophthalmol.* 2021;142:5–16. doi: 10.1007/s10633-020-09812-w

ОБ АВТОРАХ

Эрнест Витальевич Бойко, д-р мед. наук, профессор, Заслуженный врач Российской Федерации; ORCID: 0000-0002-7413-7478; eLibrary SPIN: 7589-2512; e-mail: boiko111@list.ru

Таисия Александровна Докторова;

ORCID: 0000-0003-2162-4018; eLibrary SPIN: 8921-9738; e-mail: taisiiadok@mail.ru

AUTHORS' INFO

Ernest V. Boiko, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor, Honored Doctor of the Russian Federation; ORCID: 0000-0002-7413-7478; eLibrary SPIN: 7589-2512; e-mail: boiko111@list.ru

Taisiia A. Doktorova, MD;

ORCID: 0000-0003-2162-4018; eLibrary SPIN: 8921-9738; e-mail: taisiiadok@mail.ru

ОБ АВТОРАХ

*Алексей Александрович Суетов, канд. мед. наук; адрес: Россия, 192283, Санкт-Петербург, ул. Ярослава Гашека, д. 21; ORCID: 0000-0002-8670-2964; eLibrary SPIN: 4286-6100; e-mail: ophtalm@mail.ru

Сергей Викторович Сосновский, канд. мед. наук, доцент; ORCID: 0000-0002-1745-5146; eLibrary SPIN: 3058-7913; e-mail: svsosnovsky@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

AUTHORS' INFO

*Alexey A. Suetov, MD, Cand. Sci. (Medicine); address; 21 Yaroslava Gasheka st., Saint Petersburg, 192283, Russia; ORCID: 0000-0002-8670-2964; eLibrary SPIN: 4286-6100; e-mail: ophtalm@mail.ru

Sergey V. Sosnovskii, MD, Cand. Sci. (Medicine); Assistant Professor; ORCID: 0000-0002-1745-5146; eLibrary SPIN: 3058-7913; e-mail: svsosnovsky@mail.ru