

ПЕРФУЗИЯ В МАКУЛЕ ПРИ ЗАКРЫТИИ СКВОЗНЫХ МАКУЛЯРНЫХ РАЗРЫВОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИЛИКОНОВОЙ ТАМПОНАДЫ

Докторова Т.А.*¹, Суев А.А.¹, Бойко Э.В.¹⁻³, Сосновский С.В.¹

DOI: 10.25881/20728255_2025_20_4_S1_101

¹ ФГАУ НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза»

им. акад. С.Н. Федорова»

Минздрава России, Санкт-Петербургский филиал, Санкт-Петербург

² ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский

университет им. И.И. Мечникова» Минздрава России, Санкт-Петербург

³ ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет»,

Санкт-Петербург

Резюме. Обоснование. Несмотря на разработку новых хирургических техник, применение силиконовой тампонады остается важной составляющей при хирургическом закрытии сквозных макулярных разрывов (СМР). Тем не менее, малоизучено возможное влияние нахождения силиконового масла в витреальной полости на перфузию сетчатки в макуле и функциональное восстановление в послеоперационном периоде.

Цель. Изучить изменение ретиальной перфузии в послеоперационном периоде при закрытии СМР с использованием силиконовой тампонады.

Методы. В проспективное исследование включили 40 пациентов (40 глаз) с оперированными идиопатическими СМР 4 стадии по D. Gass, выделив две подгруппы: 20 глаз с силиконовой тампонадой и 20 глаз с газовой тампонадой. Методом ОКТ-ангиографии изучали показатели площадь фовеальной аваскулярной зоны (ФАЗ), плотность сосудов в поверхностном и глубоком капиллярном сплетении (ПКС и ГКС) в зоне фовеа и парафовеа, а также учитывали апикальный (минимальный) диаметр разрыва, площадь кистозных изменений на уровне внутреннего ядерного слоя и наружного плексиформного слоя, изменение МКОЗ и СЧ в фовеа и парафовеа. Исследования выполняли до операции, через 2 и 6 месяцев после.

Результаты. В группе с силиконовой тампонадой через 2 месяца после закрытия разрыва выявлены значимо меньшие показатели плотности сосудов в ПКС и ГКС в фовеа ($p = 0,032$ и $p = 0,034$ соответственно), уменьшение плотности сосудов в ПКС и ГКС в парафовеа ($p = 0,04$ и $p = 0,029$ соответственно) и более низкие показатели средней СЧ в фовеа и парафовеа ($p = 0,029$ и $p = 0,031$ соответственно). Изменение средней СЧ в фовеа и парафовеа коррелирует с изменением плотности сосудов в ГКС в фовеа и парафовеа ($R = 0,34$ и $R = 0,29$, $p < 0,05$), а также плотностью сосудов в ПКС в фовеа ($R = 0,33$, $p = 0,01$).

Заключение. Силиконовая тампонада при лечении сквозных макулярных разрывов может оказывать негативное влияние на перфузию макулы с возможным замедлением или более низким функциональным восстановлением сетчатки в раннем послеоперационном периоде.

Ключевые слова: сквозной макулярный разрыв, оптическая когерентная томография-ангиография, силиконовая тампонада, перфузия, фовеальная аваскулярная зона, сетчатка

Актуальность

Сквозные макулярные разрывы (СМР) являются одной из частых причин значительного снижения центрального зрения у людей в возрасте старше 50 лет [1]. Современные хирургические технологии значительно повысили эффективность лечения как в части анатомического успеха, так и функциональных результатов закрытия разрывов, при этом выбор наиболее оптимального способа закрытия зависит от структурных параметров, определяе-

PERFUSION IN THE MACULA DURING CLOSURE OF FULL-THICKNESS MACULAR HOLE WITH SILICONE TAMPONADE

Doktorova T.A.*¹, Suetov A.A.¹, Bojko E.V.¹⁻³, Sosnovskij S.V.¹

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

² Department of Ophthalmology Mechnikov North-West State Medical University, St. Petersburg

³ Department of Otorhinolaryngology and Ophthalmology, St. Petersburg State University, St. Petersburg

Abstract. Background. Despite the development of new surgical techniques, silicone tamponade continues to be an important part of the surgical treatment for full-thickness macular hole (FTMH). However, there has been little research into the potential effect of silicone oil in the vitreous cavity on retinal blood flow in the macular area and functional recovery after surgery.

Aim. To study changes in retinal blood flow in the postoperative period following closure of the FTMH using silicone tamponade.

Materials and methods. The study included 40 patients (40 eyes) with stage 4 idiopathic FTMH, according to the classification of D. Gass. The patients were divided into two subgroups: 20 patients with silicone tamponade and 20 with gas tamponade. The OCT angiography method was used to study the area of the foveal avascular zone (FAZ), vascular density in the superficial and deep capillary plexus (SCP and DCP) in the fovea and parafovea, as well as the apical (minimum) diameter of the macular hole, the area of cystic changes in the inner nuclear and outer plexiform layers, and changes BCVA and retinal sensitivity (RS) at the fovea and parafovea levels. The studies were conducted before surgery and 2 and 6 months afterwards.

Results. In the subgroup with silicone tamponade, two months after macular hole closure, there was a significantly lower vascular density in the SCP and the DCP in the fovea ($p = 0.032$ and $p = 0.034$, respectively), as well as a decrease in vascular density in these regions in the parafovea ($p = 0.04$ and $p = 0.029$, respectively). Additionally, there were lower mean values for the RS in both the fovea and the parafovea ($p = 0.029$ and $p = 0.031$, respectively). The change in the mean foveal and parafoveal RS correlates with changes in the vessel density in the DCP fovea and parafovea ($r = 0.34$ and $r = 0.29$ respectively, $p < 0.05$) and with the vessel density in the SCP in the fovea ($r = 0.33$, $p = 0.01$), respectively.

Conclusion. Silicone tamponade used in the treatment of FTMH may have a negative impact on macular perfusion, potentially slowing down or reducing the functional recovery of the retina during the early postoperative period.

Keywords: full-thickness macular hole, optical coherence tomography-angiography, silicone tamponade, perfusion, foveal avascular zone, retina.

мых при предоперационном обследовании с использованием оптической когерентной томографии (ОКТ) [2–5]. Ранее в ряде работ была показана прогностическая значимость ряда показателей, в частности размеров разрыва, наличия интратетинальных кистозных изменений, дефектов наружной пограничной мембраны и эллипсоидной зоны фоторецепторов [6–8]. Также нами было выявлено значение перфузии и ее изменения в послеоперационном периоде на отдаленные функциональные результаты хирургиче-

* e-mail: taisiadok@mail.ru

ского лечения макулярных разрывов с использованием газовоздушной смеси для временной тампонады [9]. В то же время, остается малоизученной роль многих интра- и послеоперационных аспектов в восстановлении функций макулы после закрытия разрыва, в частности влияние силиконовой тампонады на перфузию сетчатки.

Цель

Изучить изменение перфузии сетчатки в макуле при закрытии сквозных макулярных разрывов с использованием силиконовой тампонады.

Материалы и методы

В проспективное исследование включили две группы пациентов (всего 40 пациентов, 40 глаз) с СМР, которым проводили хирургическое лечение впервые: группа 1 (20 глаз) с выполнением силиконовой тампонады и группа 2 (20 глаз) с выполнением газовоздушной тампонады. Критерии включения: средние и большие разрывы с минимальным диаметром разрыва от 250 до 600 мкм и полной задней отслойкой стекловидного тела, возраст старше 50 лет, прозрачные оптические среды, не препятствующие выполнению обследования (качество сигнала при выполнении ОКТ-ангиографии не ниже Q8) в течение всего периода наблюдения. Критерии исключения: воспалительные заболевания органа зрения, глаукома, сосудистые заболевания сетчатки, дистрофические заболевания макулы, макулярная неоваскуляризация, миопическая рефракция более 6 дптр, а также наличие атрофии пигментного эпителия в фовеа перед проведением лечения, отсутствие закрытия разрыва после лечения, требующее проведения повторных вмешательств.

Хирургическое лечение проводилось по стандартному протоколу с удалением внутренней пограничной мембраны, закрытием дефекта обогащенной тромбоцитами плазмой (PRP) или аутологичной кондиционированной плазмой (АСР) и тампонадой силиконовым маслом в группе 1 и газовоздушной тампонадой в группе 2. Через 3 месяца в группе 1 проводили ревизию витреальной полости с удалением силиконового масла.

При предоперационном осмотре, через 2 и 6 месяцев после хирургического лечения всем пациентам проводили комплексное офтальмологическое обследование, а также оптическую когерентную томографию (ОКТ) и ОКТ в режиме ангиографии (ОКТА).

Структурные показатели и перфузию оценивали по данным ОКТ и ОКТА на приборе Solix (Optovue, США), используя протоколы Radial lines и AngioVue Retina (6,4x6,4 мм). Учитывали на анфас-изображениях и линейных структурных сканах минимальный и базальный диаметр разрыва, площадь кистозных изменений на уровне внутреннего ядерного (ВЯС) и наружного плексиформного слоя – слоя Генле (НПС+СГ), площадь фовеальной аваскулярной зоны (ФАЗ), плотность сосудов в поверхностном и глубоком капиллярных сплетениях (ПКС и ГКС) в зоне фовеа и парафовеа в соответствии со схемой ETDRS. Кроме того, учитывали

тип закрытия разрыва по данным послеоперационного ОКТ-контроля: 1 тип – с полным восстановлением анатомической структуры нейроретины в фовеа, 2 тип – в фовеа закрытие разрыва достигнуто, но нормальная структура нейроретины не восстановлена [10]. При анализе использовали изображения с качеством не ниже Q8, сегментация слоев сетчатки проводилась прибором автоматически. Морфометрические показатели анализировали с помощью программы Image J по описанному ранее протоколу [11]. Показатели перфузии учитывали по результатам автоматического анализа в программном обеспечении прибора (AngioVue Analysis SW Ver: 11.0.0.29946).

При функциональном тестировании определяли максимально скорректированную остроту зрения (МКОЗ) с помощью проектора знаков Huvitz CCR-3100 (Huvitz, Корея). Среднюю световую чувствительность (СЧ) в фовеа и парафовеа исследовали 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), при этом результаты тестирования принимали для анализа при частоте ложноположительных и ложноотрицательных результатов менее 20%.

Статистический анализ выполнен в Numiqo: On-line Statistics Calculator (DATAtab e.U. Graz, Австрия). Количественные результаты представлены в формате $M \pm SD$. Оценку нормальности распределения в анализируемых выборках проводили с помощью теста Колмогорова-Смирнова. Сравнение показателей до и после хирургического лечения внутри групп и между группами проводили с помощью t-критерия Стьюдента для связанных и несвязанных выборок. Для определения связи между изменением показателей перфузии и функциональными показателями использовали расчет коэффициента корреляции Пирсона. Статистически значимыми считали результаты с уровнем значимости $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение

Общая характеристика пациентов, включенных в исследование, представлена в таблице 1. Исходные показатели в набранных группах значимо не отличались, в том числе параметры разрыва, структурные изменения и показатели перфузии в макуле, регистрируемые при ОКТ и ОКТА. После проведения хирургического лечения группы также значимо не отличались по соотношению случаев с 1 и 2 типом закрытия разрыва, таким образом, группа с силиконовой тампонадой была полностью сопоставима с группой с газовоздушной тампонадой (Таблица 1).

Анализ показателей перфузии выявил значимое снижение площади ФАЗ в обеих группах через 2 месяца после закрытия разрыва ($p < 0,001$, Рис.1), при этом значения площади ФАЗ между группами в

Табл. 1. Общая характеристика пациентов с СМР в исследовании

Показатель	Общая выборка (N = 40)	Силиконовая тампонада (N = 20)	Газовоздушная тампонада (N = 20)	p-уровень
Возраст, лет	65,6 ± 6,6	64,9 ± 6,8	66,2 ± 6,5	0,571
Пол, женщины/мужчины (N)	26/14	12/8	14/6	0,507
Ср. рефракция, дптр	0,01 ± 1,31	0,02 ± 1,21	-0,02 ± 1,37	0,920
ПЗО, мм	23,5 ± 0,9	23,6 ± 0,9	23,4 ± 0,8	0,472
МКОЗ	0,19 ± 0,10	0,19 ± 0,10	0,19 ± 0,11	0,903
СЧ в фовеа, дБ	11,9 ± 7,2	10,5 ± 6,5	13,4 ± 7,8	0,217
СЧ в парафовеа, дБ	31,0 ± 1,8	30,9 ± 1,8	31,1 ± 1,8	0,726
ВГД, мм рт.ст.	19,4 ± 1,9	19,2 ± 2,0	19,6 ± 1,8	0,513
Артифакция / Катаракта (N)	18/22	10/10	8/12	0,525
Длительность симптомов, месяцев	7,5 ± 4,5	7,7 ± 5,0	7,3 ± 4,2	0,785
ОКТ-характеристики СМР				
Тип закрытия разрыва: 1/2 (N)	23/17	9/11	14/6	0,110
Апикальный диаметр, мкм	418,1 ± 119,4	425,2 ± 118,3	412,1 ± 122,4	0,725
Базальный диаметр, мкм	864,1 ± 331,0	914,3 ± 318,1	815,0 ± 344,2	0,351
Площадь кистозных изменений, мм ²				
на уровне ВЯС	0,87 ± 0,55	0,88 ± 0,58	0,86 ± 0,52	0,887
на уровне НПС+слой Генле	2,11 ± 0,86	2,16 ± 0,89	2,07 ± 0,85	0,765
Показатели перфузии макулы до хирургического лечения				
Площадь ФАЗ, мм ²	0,44 ± 0,1	0,43 ± 0,1	0,45 ± 0,1	0,402
Плотность сосудов в фовеа, %				
ПКС	19,0 ± 3,1	18,6 ± 3,0	19,4 ± 3,2	0,459
ГКС	864,1 ± 331,0	20,1 ± 2,7	20,3 ± 2,8	0,816
Плотность сосудов в парафовеа, %				
ПКС	48,6 ± 1,1	48,5 ± 1,2	48,6 ± 1,0	0,673
ГКС	49,1 ± 1,2	49,0 ± 1,3	49,2 ± 1,2	0,597

каждый период обследования значимо не отличались. Плотность сосудов в зоне фовеа как в ПКС, так и в ГКС значимо увеличилась через 2 месяца после закрытия разрыва ($p < 0,001$, Рис.1) и при контрольном осмотре через 6 месяцев значимо не изменилась. При сравнении между группами выявлены значимо более низкие показатели плотности сосудов в ПКС и в ГКС через 2 месяца в группе с силиконовой тампонадой ($p = 0,032$ и $p = 0,034$ соответственно; Рис.1). В обеих группах плотность сосудов в капиллярных сплетениях в парафовеа в послеоперационном периоде значимо не изменялась, но при сравнении между группами при обследовании через 2 месяца после хирургии СМР наблюдали значимо более низкие показатели в группе с силиконовой тампонадой ($p = 0,04$ и $p = 0,029$ соответственно; Рис.1).

При анализе функциональных показателей выявлено значимое увеличение МКОЗ и СЧ в фовеа

в послеоперационном периоде через 2 и 6 месяцев ($p < 0,001$, Рис.2). В группе с силиконовой тампонадой повышение МКОЗ было несколько меньшим, но не имело статистически значимого отличия от группы с газовоздушной тампонадой. Одновременно, в группе с силиконовой тампонадой через 2 месяца после закрытия разрыва показатели средней СЧ в фовеа и парафовеа были значимо ниже ($p = 0,029$ и $p = 0,031$ соответственно; Рис.2), хотя в парафовеа средняя СЧ значимо не менялась в течение всего периода обследования пациентов.

При анализе взаимосвязи изменения показателей перфузии и изменения функциональных показателей через 2 месяца после хирургического лечения выявлена значимая корреляция между изменением средней СЧ и изменением плотности сосудов в ГКС в фовеа и парафовеа ($R = 0,34$ и $R = 0,29$, $p < 0,05$), а также плотности сосудов в ПКС в фовеа ($R = 0,33$, $p = 0,01$).

Силиконовая тампонада остается важным инструментом в практике витреоретинальных хирургов при самых разнообразных клинических ситуациях. При хирургии макулярных разрывов, несмотря на общую тенденцию к снижению травматичности самого вмешательства, например внедрение методов закрытия с сохранением ВПМ, без удаления стекловидного тела, использование специальных инструментов и фармакологических препаратов, силиконовая тампонада по-прежнему используется, особенно в случаях больших разрывов, рефрактерных и рецидивирующих разрывов [3; 5; 12; 13].

Ранее было показано, что на фоне силиконовой тампонады по поводу регматогенной отслойки сетчатки снижается перфузия макулы: снижение было выявлено как в ПКС, так и в ГКС, а также в хориокапиллярисе [14; 15]. В проведенном исследовании также было обнаружено как снижение плотности сосудов в парафовеа в послеоперационном периоде на фоне тампонады, так и меньшее увеличение плотности сосудов в зоне фовеа после закрытия в сравнении с группой контроля. Важно, что после удаления силикона показатели значимо не отличались от группы с газовоздушной тампонадой, что может свидетельствовать о транзитном характере изменения перфузии на фоне временной силиконовой тампонады.

Полученные в исследовании функциональные результаты также могут указывать на возможное негативное влияние силиконового масла на функционирование нейроретины посредством снижения ее перфузии. Тем не менее, не исключены и другие механизмы воздействия.

Заключение

Таким образом, силиконовая тампонада при лечении сквозных макулярных разрывов может оказывать негативное влияние на перфузию макулы с возможным замедлением или более низким функциональным вос-

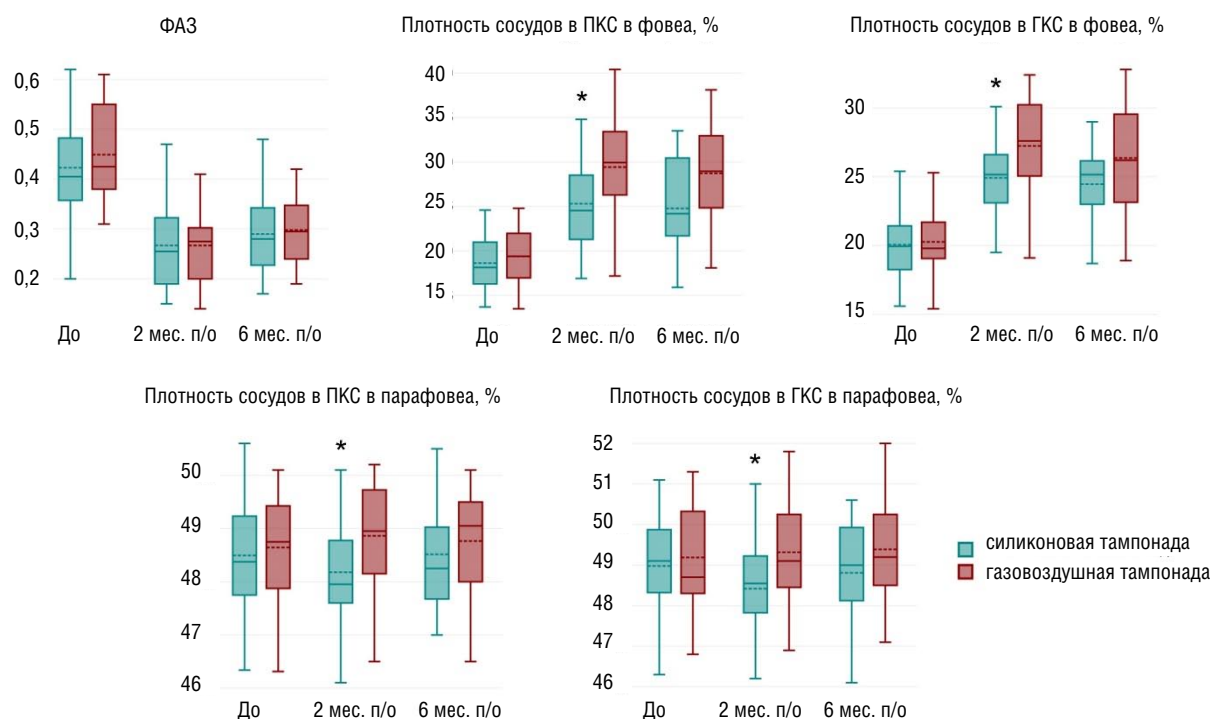


Рис. 1. Показатели перфузии макулы в различные сроки обследования. Примечание: * – $p < 0,05$ при сравнении с помощью t-критерия Стьюдента.

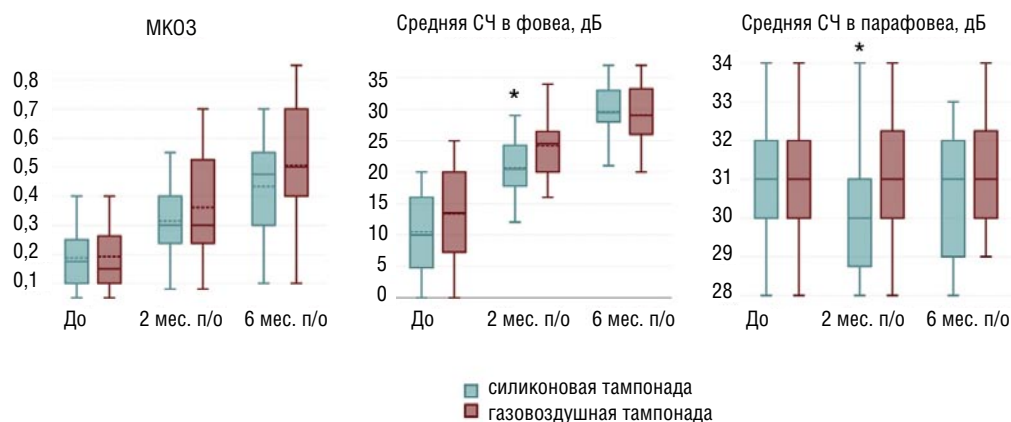


Рис. 2. Изменение уровня МКОЗ и СЧ в фовеа и парафовеа в группах в различные сроки обследования. Примечание: * – $p < 0,05$ при сравнении с помощью t-критерия Стьюдента.

становлением сетчатки в раннем послеоперационном периоде.

Источник финансирования: исследовательская работа проведена на личные средства авторского коллектива.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов (The authors declare no conflict of interest).

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Gass JDM. Idiopathic senile macular hole: Its early stages and pathogenesis. Arch Ophthalmol 1988;106:629–39. <https://doi.org/10.1001/archophth.1988.01060130683026>.

- Liu L, Enkh-Amgalan I, Wang NK, Chuang LH, Chen YP, Hwang YS, et al. Results of macular hole surgery: Evaluation based on the international vitreomacular traction study classification. Retina 2018;38:900–6. <https://doi.org/10.1097/IAE.0000000000001647>.
- Лыскин П.В., Володин П.Л., Макаренко И.Р. Функциональные результаты хирургического лечения макулярных отверстий с полным сохранением внутренней пограничной мембраны в сравнении с традиционной методикой. Российский офтальмологический журнал. 2023. – Т.16. – №4. – С.44–49. [Lyskin P.V., Volodin P.L., Makarenko I.R. Functional results of surgical treatment of macular holes fully preserving the internal limiting membrane as compared with the traditional method. Russian Ophthalmological Journal. 2023;16(4):44–49. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2023-16-4-44-49>.
- Rossi T, Bacherini D, Caporossi T, Telani S, Iannetta D, Rizzo S, et al. Macular hole closure patterns: an updated classification. Graefes Arch Clin

- Exp Ophthalmol 2020;258:2629–38. <https://doi.org/10.1007/S00417-020-04920-4>.
5. 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. — №4с. — С.31–33. [Arsiutov DG, Pashtayev NP. Modern technologies of surgery of central retinal detachment with macular hole in patients with critically high myopia. Bull Pirogov Natl Med Surg Cent 2022;17:31–3. (In Russ.)] https://doi.org/10.25881/20728255_2022_17_4_S1_31.
 6. Gümüş G, Demir G, Tülü Aygün B, Demircan A, Alkin Z, Öztornacı O. Prognostic factors affecting macular hole closure types. Ther Adv Ophthalmol 2021;13. <https://doi.org/10.1177/25158414211009007>.
 7. Baumann C, Iannetta D, Sultan Z, Pearce IA, Lohmann CP, Zheng Y, 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;10:7–7. <https://doi.org/10.1167/TVST.10.4.7>.
 8. Joo JH, Nam WH, Joo T, Moon SW. Role of intraretinal cysts in the prediction of postoperative closure and photoreceptor damages of the idiopathic full-thickness macular hole. BMC Ophthalmol 2022;22:1–10. <https://doi.org/10.1186/S12886-021-02204-X/FIGURES/3>.
 9. Бойко ЭВ, Докторова ТА, Суев АА, Сосновский СВ. Влияние изменения перфузии сетчатки на послеоперационное восстановление функций фовеа при сквозных макулярных разрывах. Офтальмологические ведомости. 2025;18(1):7–16. [Boiko E V., Doktorova TA, Suetov AA, Sosnovskii S V. The effect of changes in retinal perfusion on postoperative recovery of foveal function in full-thickness macular holes. Ophthalmol J 2025;18:7–16. (In Russ.)] <https://doi.org/10.17816/OV634854>.
 10. Baba T, Yamamoto S, Kimoto R, Oshitari T, Sato E. Reduction of thickness of ganglion cell complex after internal limiting membrane peeling during vitrectomy for idiopathic macular hole. Eye 2012 269 2012;26:1173–80. <https://doi.org/10.1038/eye.2012.170>.
 11. Shahlaee A, Rahimy E, Hsu J, Gupta OP, Ho AC. Preoperative and postoperative features of macular holes on en face imaging and optical coherence tomography angiography. Am J Ophthalmol Case Reports 2017;5:20–5. <https://doi.org/10.1016/j.ajoc.2016.10.008>.
 12. 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. [Bayborodov Y.V., Zhogolev K.S., Khiznyak I.V. Rate of visual recovery after macular hole surgery with intraoperative optical coherence tomography and visualization of the internal limiting membrane. Vestn Oftalmol 2017;133:90–8. (In Russ.)] <https://doi.org/10.17116/OFTALMA2017133690-98>.
 13. Петрачков Д.В., Алхарки Л., Матющенко А.Г., Филиппов В.М., Дудиева Ф.К. Сравнение ранних результатов лечения больших сквозных макулярных разрывов при использовании различных хирургических методик. Офтальмология. 2021;18(3S):681–687. [Petrachkov D.V., Alkharki L., Matyushchenko A.G., Filippov V.M., Dudieva F.K. Comparison of Early Treatment Outcomes for Large Macular Hole Using Various Surgical Techniques. Ophthalmology in Russia. 2021;18(3S):681–687. (In Russ.)] <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2021-3S-681-687>.
 14. Zhang Z, Zhang X, Yao T, Chen J, Huang L, Qiu C, et al. Effect of long-term silicone oil tamponade on the density of blood vessels in the macular and peripapillary region in patients with rhegmatogenous retinal detachment. Int Ophthalmol 2025;45. <https://doi.org/10.1007/s10792-025-03460-2>.
 15. Wang H, Xu X, Sun X, Ma Y, Sun T. Macular perfusion changes assessed with optical coherence tomography angiography after vitrectomy for rhegmatogenous retinal detachment. Graefes's Arch Clin Exp Ophthalmol 2019;257:733–40. <https://doi.org/10.1007/s00417-019-04273-7>.