

Динамика перфузионных и морфологических параметров макулярной зоны при силиконовой тампонаде витреальной полости

© Р.Р. ФАЙЗРАХМАНОВ, А.В. СУХАНОВА, М.М. ШИШКИН, Е.А. КРУПИНА, О.А. ПАВЛОВСКИЙ, Е.А. ЛАРИНА, Г.О. КАРПОВ

ФГБУ «Национальный медико-хирургический центр им. Н.И. Пирогова» Минздрава России, Москва, Россия

РЕЗЮМЕ

Цель исследования. Сравнить изменение морфофункциональных показателей макулярной зоны в послеоперационном периоде у пациентов с силиконовой тампонадой (СТ) после успешного хирургического лечения macula-on ретинальной отслойки сетчатки (РОС).

Материал и методы. В исследование включено 20 пациентов (20 глаз), прооперированных по поводу macula-on РОС. Прооперированные глаза составили 1-ю группу, которая сравнивалась с группой контроля (2-я группа; 20 парных глаз без офтальмопатологии). На всех глазах 1-й группы выполнена витрэктомия с использованием СТ. Стандартное офтальмологическое обследование выполнялось на 3-и (ранний послеоперационный период) и 14-е сутки (поздний послеоперационный период); кроме того, для оценки морфофункциональных изменений использовали оптическую когерентную томографию, в том числе в режиме ангиографии.

Результаты. На 3-и сутки после операции с использованием СТ выявлено достоверное снижение остроты зрения в сравнении с показателем на 14-е сутки ($p=0,0237$) и с группой контроля ($p=0,0001$). На 3-и сутки обнаружено снижение показателя FD ($p=0,045$), а также снижение сосудистой плотности в зоне фовеа ($p=0,020$) и парафовеа ($p=0,024$) в SCP в сравнении с контролем. На 14-е сутки послеоперационного наблюдения выявлены тенденция к восстановлению хориоидальной перфузии, достоверное увеличение FD ($p=0,016$), увеличение сосудистой плотности в парафовеа ($p=0,01$) в сравнении с ранним послеоперационным периодом. Статистически значимых изменений зоны FAZ и Vessel density DCP выявлено не было ($p>0,05$).

Ключевые слова: отслойка сетчатки, перфузия, сосудистое сплетение, витрэктомия.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ:

Файзрахманов Р.Р. — <https://orcid.org/0000-0002-4341-3572>

Суханова А.В. — <https://orcid.org/0000-0002-8482-5637>

Шишкин М.М. — <https://orcid.org/0000-0002-5917-6153>

Крупина Е.А. — <https://orcid.org/0000-0002-0099-4549>

Павловский О.А. — <https://orcid.org/0000-0003-3470-6282>

Ларина Е.А. — <https://orcid.org/0000-0001-5343-3350>

Карпов Г.О. — <https://orcid.org/0000-0003-3231-8593>

Автор, ответственный за переписку: Суханова А.В. — e-mail: anna.sukhanova.as@gmail.com

КАК ЦИТИРОВАТЬ:

Файзрахманов Р.Р., Суханова А.В., Шишкин М.М., Крупина Е.А., Павловский О.А., Ларина Е.А., Карпов Г.О. Динамика перфузионных и морфологических параметров макулярной зоны при силиконовой тампонаде витреальной полости. *Вестник офтальмологии*. 2020;136(5):46–51. <https://doi.org/10.17116/oftalma202013605146>

Changes in perfusional and morphological parameters of the macular area after silicone oil tamponade of the vitreous cavity

© R.R. FAYZRAKHMANOV, A.V. SUKHANOVA, M.M. SHISHKIN, E.A. KRUPINA, O.A. PAVLOVSKY, E.A. LARINA, G.O. KARPOV

Pirogov National Medical and Surgical Center, Moscow, Russia

ABSTRACT

Purpose — to compare the changes of the macular morphological and functional parameters in the postoperative period in patients with silicone oil tamponade after successful surgery of the macula-on RRD.

Material and methods. The study included 20 eyes operated on for macula-on RRD, which made up the first group, and the control group (20 eyes) for comparison. All patients of the study group underwent vitrectomy using silicone oil tamponade. Standard ophthalmological examination was performed on the 3rd day (early postoperative period) and the 14th day (late postoperative period), including OCT and OCT-A that were used to assess morphological and functional changes.

Results. A significant decrease in visual acuity was seen on the 3rd day after surgery involving the use of silicone oil tamponade, in comparison with the 14th day ($p=0.0237$) and the control group ($p=0.0001$). A decrease in the FD parameter ($p=0.045$), a decrease in vascular density in the fovea ($p=0.020$) and parafovea ($p=0.024$) in SCP were found on the 3rd day in comparison with control. On the 14th day of postoperative observation, a tendency was detected for choroidal perfusion to restore, as well as sig-

nificant increase in FD ($p=0.016$), and an increase in vascular density in parafovea ($p=0.01$) compared with the early postoperative period. No statistically significant changes were seen in the FAZ area and vessel density DCP ($p>0.05$).

Keywords: retinal detachment, perfusion, vascular plexus, vitrectomy.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

Fayzrakhmanov R.R. — <https://orcid.org/0000-0002-4341-3572>

Sukhanova A.V. — <https://orcid.org/0000-0002-8482-5637>

Shishkin M.M. — <https://orcid.org/0000-0002-5917-6153>

Krupina E.A. — <https://orcid.org/0000-0002-0099-4549>

Pavlovsky O.A. — <https://orcid.org/0000-0003-3470-6282>

Larina E.A. — <https://orcid.org/0000-0001-5343-3350>

Karpov G.O. — <https://orcid.org/0000-0003-3231-8593>

Corresponding author: Sukhanova A.V. — e-mail: anna.sukhanova.as@gmail.com

TO CITE THIS ARTICLE:

Fayzrakhmanov RR, Sukhanova AV, Shishkin MM, Krupina EA, Pavlovsky OA, Larina EA, Karpov GO. Changes of perfusional and morphological parameters of the macular area after silicone oil tamponade of the vitreous cavity. *The Russian Annals of Ophthalmology = Vestnik oftalmologii*. 2020;136(5):46–51. (In Russ.). <https://doi.org/10.17116/oftalma202013605146>

Самым часто встречающимся видом отслойки сетчатки является регматогенная отслойка сетчатки (РОС). По данным метаанализа [1], среднегодовая распространенность РОС в Европе составляет 13,3 случая на 100 тыс. жителей. Единственным эффективным способом терапии является оперативное лечение. Среди современных подходов к хирургическому лечению выделяют эписклеральное пломбирование, эндовитреальную хирургию с использованием различных видов тампонады, пневморетинопексию с лазер- и криокоагуляцией [2].

При оценке зрительных функций выявлена прямая корреляционная взаимосвязь между сохранностью эллипсоидной зоны в макуле (макулярная зона — МЗ) и зрительными функциями после эндовитреальной хирургии по поводу РОС [3, 4]. При этом, несмотря на отсутствие дефектов в нейрорхитектонике центральной зоны сетчатки, ряд исследователей описывали снижение зрительных функций на фоне силиконовой тампонады (СТ) после витрэктомии [5–7].

На сегодняшний день в мировой офтальмологической литературе можно выделить научные работы, посвященные изменению морфофункциональных показателей сетчатки при патологии МЗ [8–10]. Существует ряд исследований, направленных на изучение перфузии ретиальной ткани при РОС и ее участие в прогнозировании зрительных функций. С. Riccolino [11], изучая кровоснабжение сетчатки путем флюоресцентной ангиографии при РОС, выявил повышенную проницаемость и дилатацию сосудистой стенки капилляров сетчатки. По мнению автора, данное явление должно рассматриваться как ответ на ишемию и возникающий ацидоз в наружных слоях сетчатки, которые являются следствием нарушения адгезии между нейроэпителием и пигментным эпителием сетчатки. Группой авторов (V. Vonfiglio и соавт. [12]) было обнаружено, что при использовании там-

понады SF6 в глазах при отслойке сетчатки без фoveальной отслойки (macula-on) финальная максимальная корригируемая острота зрения (МКОЗ) имеет прямую корреляцию с такими показателями, как фoveальная аваскулярная зона (foveal avascular zone — FAZ) и плотность глубокого капиллярного сплетения (vessel density deep capillary plexus — VD DCP) в парафовеальной зоне; финальная МКОЗ в случае с отслойкой с вовлечением МЗ (macula-off) зависит от FAZ и фoveальной плотности поверхностного сосудистого сплетения (vessel density superficial capillary plexus — VD SCP) и парафовеальной VD DCP. J.M. Woo и соавт. [13] отмечают, что FAZ глубокого и поверхностного сосудистого сплетения имеет отрицательную корреляцию с МКОЗ в послеоперационном периоде при использовании газовой тампонады только при macula-off РОС.

Е. Hong и соавт. [14] показали, что при использовании тампонады C3F8 на 6-й месяц после операции достоверная прямая корреляция присутствует только между МКОЗ и субфовеальной хориоидальной плотностью.

В работе W. Xiang и соавт. [15] сделан вывод о том, что VD DCP, VD SCP и FAZ сохранялись на стабильном уровне в срок до 6 мес после СТ, а также после удаления силиконового масла.

Таким образом, влияние изменения перфузионных параметров, по данным оптической когерентной томографии (ОКТ), остается мало изученной темой и характеризуется противоречивыми результатами, по данным существующих исследований. В данной работе проведен сравнительный анализ изменения морфофункциональных особенностей сетчатки после витрэктомии с использованием СТ по поводу РОС в раннем и позднем послеоперационном периоде.

Цель исследования — сравнить в послеоперационном периоде изменение морфофункциональных по-

казателей МЗ у пациентов с СТ после успешной хирургии РОС без вовлечения МЗ (macula-on).

признак статистически достоверной разницы между группами.

Материал и методы

Данное исследование представляет собой ретроспективный анализ морфофункциональных показателей МЗ сетчатки 20 пациентов (20 глаз), прооперированных в ФГБУ НМХЦ им. Н.И. Пирогова по поводу РОС с использованием СТ. В исследовании включены случаи первичной РОС, при которых была проведена витрэктомия через плоскую часть цилиарного тела с использованием СТ (1300 сСт). Всем пациентам было выполнено стандартное офтальмологическое обследование на 3-и и 14-е сутки послеоперационного периода, включающее визометрию, биомикроскопию, офтальмоскопию в условиях медикаментозного мидриаза, измерение внутриглазного давления; кроме того, была выполнена ОКТ и ОКТ в ангиорежиме (ОКТА).

Критерием исключения была сопутствующая офтальмопатология. Случаи рецидивов отслойки сетчатки также были исключены. Критерием исключения по данным ОКТА при просмотре в режиме en-face были существенные артефакты, не компенсируемые программным обеспечением. Все снимки, выполненные в качестве менее 7/10, были исключены, выявленные ошибки сегментации слоев сетчатки исправлены в ручном режиме. Глаза с первичной РОС без вовлечения макулярной зоны (macula-on) составили 1-ю группу (20 глаз). Контрольную группу (2-я группа; 20 глаз) составили парные глаза без офтальмопатологии.

ОКТ и ОКТА проводили, используя томограф Optovue RTVue XR (2018.1.0.43; Optovue, США) в режимах Retina Map, HD Angio Retina [6.0]. При проведении ОКТА анализировали площадь и периметр FAZ, плотность фовеальных капилляров в зоне 300 мкм вокруг FAZ (foveal density), сосудистую плотность (vessel density — VD) в 1-миллиметровой и 3-миллиметровой зонах для SCP и DCP, показатель площади потока в слое хориокапилляров (Flow Index — Flow Choriocapillaris; радиус — 1 мм, выделенная площадь — 3,142 мм²). Статистический анализ был проведен в программе Windows Excel 2020, версия 2020.1 от 03.03.20, с использованием *t*-теста парных образцов; $p < 0,05$ рассматривался как

Результаты

Средний возраст пациентов составил $47,54 \pm 12,87$ года. Продолжительность отслойки сетчатки с момента возникновения симптомов до хирургического вмешательства была $13,2 \pm 11,43$ сут.

На 3-и сутки после оперативного лечения острота зрения была ниже показателей группы контроля в 2,72 раза ($p=0,01$). В послеоперационном периоде, на 14-е сутки, острота зрения увеличилась в 2,03 раза в сравнении с данными на 3-и сутки после операции ($p=0,024$), что определило тенденцию повышения МКОЗ до уровня контроля ($p=0,072$ в сравнении с группой контроля). Внутриглазное давление на протяжении всего периода наблюдения достоверно не отличалось от такового в группе контроля (табл. 1).

При анализе показателя площади FAZ выявлена тенденция к увеличению данного показателя на 14-е сутки послеоперационного периода в сравнении с ранним послеоперационным периодом ($p=0,343$), при этом достоверного увеличения как в сравнении с ранним послеоперационным периодом, так и с группой контроля выявлено не было ($p=0,221$). При анализе показателя периметра FAZ определяется подобная тенденция. Однотипный вектор направленности динамики данных показателей демонстрирует корреляцию между площадью и периметром FAZ, косвенно определяя результативность (табл. 2). Показатель хориокапиллярного кровотока Flow Index в зоне 3,142 мм² субфовеально на 3-и сутки после введения СТ был снижен в сравнении с группой контроля ($p=0,163$), при этом выявлены нормализация кровотока в сосудистой оболочке в фовеальной области в позднем послеоперационном периоде и приближение показателя Flow Index к физиологическим нормам.

На 3-и сутки после оперативного лечения в группе macula-on выявлено достоверное снижение капиллярной плотности в зоне 300 мкм вокруг FAZ (foveal density — FD) в сравнении как с группой контроля ($p=0,045$), так и с поздним послеоперационным периодом ($p=0,016$). Нормализация капиллярной перфузии в зоне вокруг FAZ в послеоперационном периоде является необходимым фактором

Таблица 1. Результаты стандартного офтальмологического обследования и другие базовые характеристики

Table 1. Results of standard ophthalmological examination and other base characteristics

Параметр	Macula-on		Контроль
	3-и сутки	14-е сутки	
Внутриглазное давление, мм рт.ст	$15,40 \pm 3,85$	$19,6 \pm 4,62$	$17,3 \pm 2,90$
Острота зрения	$0,36 \pm 0,13^*$	$0,73 \pm 0,26^{\#}$	$0,98 \pm 0,05$

Примечание. Здесь и в табл. 2, 3: * — статистическая разница в сравнении с группой контроля ($p < 0,05$), # — статистическая разница с показателями на 3-и сутки ($p < 0,05$).

для обеспечения высокой метаболической активности фовеолярной зоны и также должна рассматриваться при прогнозировании зрительных функций после проведения хирургического вмешательства по поводу РОС. Так, на 14-е сутки после оперативного лечения определяются повышение параметров FD и отсутствие статистической разницы с показателями группы контроля.

При анализе параметра сосудистой плотности сетчатки в фовеа и парафовеа обнаружен ряд закономерностей. Сводные данные показателей VD с картированием по секторам ETDRS представлены в табл. 3.

Так, при оценке Fovea VD SCP было выявлено статистически значимое снижение сосудистой плотности только на 3-и сутки в сравнении с группой контроля ($p=0,021$); при сравнении данного показателя на 3-и и 14-е сутки после оперативного лечения достоверной разницы выявлено не было ($p=0,277$). В то же время при анализе Fovea VD DCP достоверной разницы между показателями различных групп не было обнаружено ($p>0,05$), но наблюдалась тенденция к снижению Fovea VD DCP на 14-е сутки послеоперационного наблюдения. Показатель Parafovea VD SCP был достоверно снижен на 3-и сутки послеоперационного наблюдения в сравнении с группой контроля ($p=0,024$) и в сравнении с параметрами VD на 14-е сутки послеоперационного наблюдения ($p=0,01$). При этом статистически достоверной разницы между поздним послеоперационным периодом и группой контроля вы-

явлено не было ($p=0,305$). В зоне Parafovea VD DCP статистически значимой разницы между группами не определялось ($p>0,05$).

Снижение показателей Fovea VD SCP и Parafovea VD SCP после оперативного лечения (на 3-и сутки) определяется тем, что любое эндовитреальное вмешательство, сопровождающееся перепадом давления и сменой физико-химического равновесия, приводит к острому гипоксическому стрессу, что обуславливает вазоконстрикцию наиболее уязвимой сосудистой сети в слое ганглиозных клеток (ganglion cell complex, GCC). При этом площадь и периметр FAZ достоверно не отличаются в послеоперационном периоде от показателей группы контроля. При расчете площади FAZ учитываются все капиллярные сплетения сетчатки, таким образом, аваскулярная зона глубжележащих капиллярных сплетений менее подвержена смещению физико-химического равновесия.

Обсуждение

Таким образом, при хирургическом лечении РОС определяется динамическое повышение функциональных показателей, в частности, МКОЗ. Тем не менее определяется влияние смены внутриглазной среды на морфологические параметры ретиальной ткани, в частности, достоверное снижение капиллярной плотности в зоне 300 мкм вокруг FAZ, на 3-и сутки после оперативного лечения. Учитывая со-

Таблица 2. Показатели фовеолярной перфузии

Table 2. Foveolar perfusion measures

Параметр	Macula-on		Группа контроля
	3-и сутки	14-е сутки	
FAZ площадь, мм ²	0,16±0,07	0,17±0,10	0,17±0,10
FAZ периметр, мм	1,58±0,29	1,59±0,50	1,52±0,43
FD, %	47,46±3,30*	53,80±2,28*	52,34±2,58
Flow Index площадь, мм ²	1,91±0,50	2,18±0,10	2,13±0,09

Таблица 3. Показатели сосудистой плотности сетчатки (в %) по данным ОКТ

Table 3. Vascular density of the retina (in %) measured with OCT

Параметр	Macula-on				Группа контроля	
	3-и сутки		14-е сутки			
	капиллярное сплетение		капиллярное сплетение		капиллярное сплетение	
Уровень измерения	поверхностное	глубокое	поверхностное	глубокое	поверхностное	глубокое
Фовеа	26,46±3,58*	43,82±10,65	27,44±8,42	40,6±6,17	29,12±4,22	43,72±5,89
Парафовеа	44,54±3,53*	47,00±3,69	50,52±1,23*	48,58±4,53	51,18±3,28	48,26±3,54
Сегментация зоны парафовеа ETDRS						
верхняя половина	44,92±3,58*	47,02±2,78	51,16±1,78*	49,40±4,47	51,88±3,34	49,12±4,06
нижняя половина	44,16±4,16*	46,98±4,66	49,88±0,98*	47,80±4,74	50,46±3,48	47,42±3,17
темпоральный сектор	45,36±4,12*	49,62±4,06	50,02±3,14*	50,46±4,38	50,76±3,95	50,44±3,16
верхний сектор	45,68±3,32*	43,84±3,39	51,36±1,81*	46,62±6,50	52,14±3,36	47,86±5,46
назальный сектор	43,34±5,39	50,02±4,09	51,14±1,99*	51,1±3,97	50,56±3,78	50,00±2,89
нижний сектор	43,74±4,23*	44,56±5,66	49,56±1,44*	46,06±5,99	51,26±2,41	44,82±3,43

хранность комплекса «нейросенсорный эпителий — пигментный эпителий сетчатки», а также нейроархитектоники центральной зоны сетчатки в 1-й группе, выявленная тенденция является компенсаторной реакцией в ответ на возникающие электролитные нарушения в наружных слоях сетчатки, которые обусловлены сменой внутриглазной среды и нарушением физико-химического равновесия. Подобное явление с нарушением физико-химического равновесия водной среды (калий, глюкоза, деполаризационные молекулы-передатчики и рН) также возникает при удалении силиконового масла и приводит к нарушению буферизации ионов K^+ [16–18].

Е.Н. Hong и соавт. [14], проведя сравнительный анализ, выявили, что субфовеальная плотность сосудов имеет достоверную корреляцию со зрительным прогнозом на 6-м месяце послеоперационного наблюдения в случае macula-of POC после витрэктомии с использованием газоздушной тампонады. Так, исследователями было обнаружено, что центральная плотность хориокапиллярного сплетения значительно меньше в случае с дефектом наружных слоев сетчатки в сравнении с группой контроля ($56,4 \pm 4,8$ и $60,2 \pm 4,0\%$; $p=0,026$). Сосудистая оболочка представляется основным источником кислорода для фоторецепторов сетчатки [19, 20]. Таким образом, приближение субфовеальной хориоидальной перфузии к физиологическим нормам в послеоперационном периоде должно быть рассмотрено как прогностически благоприятный фактор в прогнозировании зрительных функций после витреоретинальной хирургии по поводу POC с использованием различных видов тампонады.

Снижение показателей Fovea VD SCP и Parafovea VD SCP после оперативного лечения (на 3-и сутки) определяется тем, что любое эндовитреальное вмешательство, сопровождающееся перепадом давления и сменой физико-химического равновесия, приводит к острому гипоксическому стрессу, что обуславливает вазоконстрикцию наиболее уязвимой сосудистой сети в слое GCC. Распределение кислорода в различных слоях сетчатки не является равномерным [21]. Известны четыре сосудистые сети центральной зоны сетчатки. Эти сети имеют морфологически разное расположение [22]. SCP располагается в слое GCC. Промежуточная сеть (intermediate capillary plexus, ICP) и DCP располагаются соответственно выше и ниже внутреннего ядерного слоя (inner nuclear layer, INL). Четвертая сеть — радиальное перипапиллярное капиллярное сплетение (radial peripapillary capillary plexus, RPCP). Капилляры этого сплетения идут параллельно аксонам слоя нервных волокон [23, 24]. При этом в ОКТА используется метод сегментации капиллярной сосудистой сети на два крупных сплетения — SCP и DCP [25]. По данным Р.Е.З. Тап и соавт. [24], плотность поверхностной капиллярной сети в слое GCC ($26,74\%$) значи-

тельно превышает этот показатель в других капиллярных сетях: слое нервных волокон (retinal nerve fiber layer, RNFL; $13,69\%$), внутреннем плексиформном слое (inner plexiform layer, IPL; $11,28\%$) и внутреннем ядерном слое (inner nuclear layer, INL; $16,12\%$); кроме того, диаметр капилляров в сетях GCC и IPL значительно меньше, чем в других. В отличие от глубокой сети в INL и капиллярной сети в слое RNFL, имеющих плоскую конфигурацию, сеть в ганглионарном слое обладает трехмерной структурой [23, 26, 27]. Меньший диаметр капилляров, высокая плотность капиллярной сети и трехмерная структура указывают на высокую скорость обмена кислорода и метаболическую активность в слое GCC. Таким образом, эти зоны могут быть особенно уязвимы при остром, преходящем и умеренном гипоксическом стрессе [23].

Заключение

В ходе данного исследования выявлено, что на 3-и сутки после оперативного лечения по поводу POC с использованием силиконового масла отмечается достоверное снижение зрительных функций в сравнении как с данными на 14-е сутки после операции, так и с таковыми показателями контрольной группы. Значительную роль в снижении МКОЗ в раннем послеоперационном периоде играет изменение перфузии.

Выявлено достоверное снижение капиллярной плотности в зоне 300 мкм вокруг FAZ, а также снижение сосудистой плотности в зоне фовеа и парафовеа в поверхностном капиллярном сплетении в раннем послеоперационном периоде. С учетом особенности структуры сосудистой сети в слое GCC поверхностное капиллярное сплетение (SCP) наиболее подвержено острому гипоксическому стрессу, возникающему при изменении физико-химического равновесия в ходе витреоретинальной хирургии.

Кроме того, тенденция к восстановлению хориоидальной перфузии, достоверное увеличение сосудистой плотности в зоне 300 мкм вокруг аваскулярной зоны, а также достоверное увеличение сосудистой плотности в сравнении с ранним послеоперационным периодом в парафовеа на 14-е сутки послеоперационного наблюдения являются прогностически благоприятными факторами.

Участие авторов:

Концепция и дизайн исследования: Р.Ф., М.Ш., А.С.
Сбор и обработка материала: А.С., Е.К., О.П., Е.Л., Г.К.
Статистическая обработка: А.С.

Написание текста: А.С., Р.Ф.

Редактирование: Р.Ф.

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflicts of interest.**

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

- Li JQ, Welchowski T, Schmid M, Holz FG, Finger RP. Incidence of rhegmatogenous retinal detachment in Europe. A systematic review and meta-analysis. *Ophthalmologica*. 2019;242(2):81-86. <https://doi.org/10.1159/000499489>
- Nemet A, Moshiri A, Yiu G, Loewenstein A, Moisseiev E. A review of innovations in rhegmatogenous retinal detachment surgical techniques. *J Ophthalmol*. 2017;4310643. <https://doi.org/10.1155/2017/4310643>
- Kang HM, Lee SC, Lee CS. Association of spectral-domain optical coherence tomography findings with visual outcome of macula-off rhegmatogenous retinal detachment surgery. *Ophthalmologica*. 2015;234:83-90. <https://doi.org/10.1159/000381786>
- Park DH, Choi KS, Sun HJ, Lee SJ. Factors associated with visual outcome after macula-off rhegmatogenous retinal detachment surgery. *Retina*. 2018;38:137-147. <https://doi.org/10.1097/IAE.0000000000001512>
- Herbert EN, Habib M, Steel D, Williamson TH. Central scotoma associated with intraocular silicone oil tamponade develops before oil removal. *Graefes Arch Clin Exper Ophthalmol*. 2005;244(2):248-252. <https://doi.org/10.1007/s000417-005-0076-6>
- Newsom RSB, Johnston R, Sullivan PM, et al. Sudden visual loss after removal of silicone oil. *Retina*. 2004;24:871-877. <https://doi.org/10.1097/00006982-200412000-00005>
- Файзрахманов Р.Р., Павловский О.А., Ларина Е.А. Метод закрытия макулярного разрыва с частичным сохранением внутренней пограничной мембраны: сравнительный анализ микропериметрических данных. *Биомедицинский журнал Medline.ru*. 2019;20(17):187-200. Fayzrahmanov RR, Pavlovskiy OA, Larina EA. The method of closure of macular holes with a partial peeling of the internal limiting membrane: comparative analysis. *Biomeditsinskij zhurnal Medline.ru*. 2019;20(17):187-200. (In Russ.).
- Файзрахманов Р.Р. Режимы назначения анти-VEGF-препаратов при терапии неоваскулярной возрастной макулярной дегенерации. *Вестник офтальмологии*. 2018;134(6):107-115. Fayzrahmanov RR. Anti-VEGF dosing regimen for neovascular age-related macular degeneration treatment. *Vestnik oftal'mologii*. 2018;134(6):107-115. (In Russ.). <https://doi.org/10.17116/oftalma2018134061107>
- Файзрахманов Р.Р. Анти-VEGF терапия неоваскулярной возрастной макулярной дегенерации: от рандомизированных исследований к реальной клинической практике. *Российский офтальмологический журнал*. 2019;12(2):97-105. Fayzrahmanov RR. Anti-VEGF therapy of neovascular age-related macular degeneration: from randomized trials to routine clinical practice. *Rossiiskii oftal'mologicheskii zhurnal*. 2019;12(2):97-105. (In Russ.). <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2019-12-2-97-105>
- Файзрахманов Р.Р. Озурдекс в терапии диабетического макулярного отека. Когда назначать? *Вестник офтальмологии*. 2019;135(4):121-127. Fayzrahmanov RR. Ozurdex in the treatment of diabetic macular edema. When to prescribe? *Vestnik oftal'mologii*. 2019;135(4):121-127. (In Russ.). <https://doi.org/10.17116/oftalma2019135041121>
- Piccolino C. Vascular changes in rhegmatogenous retinal detachment. *Ophthalmologica*. 1983;186(1):17-24. <https://doi.org/10.1159/000309255>
- Bonfiglio V, Ortisi E, Scollo D, Reibaldi M, Russo A, Pizzo A, Faro G, Macchi I, Fallico M, Toro MD, Rejdak R, Nowomiejska K, Toto L, Rinaldi M, Cillino S, Avitabile T, Longo A. Vascular changes after vitrectomy for rhegmatogenous retinal detachment: optical coherence tomography angiography study [published online ahead of print, 2019 Nov 26]. *Acta Ophthalmol*. 2019;10.1111/aos.14315. <https://doi.org/10.1111/aos.14315>
- Woo JM, Yoon YS, Woo JE, Min JK. Foveal avascular zone area changes analyzed using OCT angiography after successful rhegmatogenous retinal detachment repair. *Curr Eye Res*. 2018;43(5):674-678. <https://doi.org/10.1080/02713683.2018.1437922>
- Hong EH, Cho H, Kim DR, Kang MH, Shin YU, Seong M. Changes in retinal vessel and retinal layer thickness after vitrectomy in retinal detachment via swept-source OCT angiography. *Investig Ophthalmol Visual Sci*. 2020;61(2):35. <https://doi.org/10.1167/iovs.61.2.35>
- Xiang W, Wei Y, Chi W, Zhang Z, Zhong L, Liu R, Zhang S. Effect of silicone oil on macular capillary vessel density and thickness. *Exp Ther*. 2019. <https://doi.org/10.3892/etm.2019.8243>
- Newman EA, Frambach DA, Odette LL. Control of extracellular potassium levels by retinal glial cell K+ siphoning. *Science*. 1984;225:1174-1175. <https://doi.org/10.1126/science.6474173>
- Oakley B, Katz BJ, Xu Z, et al. Spatial buffering of extracellular potassium by Müller (glial) cells in the toad retina. *Exp Eye Res*. 1992;55:539-550. [https://doi.org/10.1016/s0014-4835\(05\)80166-6](https://doi.org/10.1016/s0014-4835(05)80166-6)
- Cazabon S. Visual loss following removal of intraocular silicone oil. *Brit J Ophthalmol*. 2005;89(7):799-802. <https://doi.org/10.1136/bjo.2004.053561>
- Ahmed J, Braun RD, Dunn R, Linsenmeier RA. Oxygen distribution in the Macaque retina. *Invest Ophthalmol Vision Sci*. 1993;34(3):516-521.
- Diffusion of O₂ in normal and ischemic retinas of anesthetized miniature pigs in normoxia and hyperoxia. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 1989;49(3):347-360. <https://doi.org/10.1007/bf00935723>
- Yu DY, Cringle SJ. Oxygen distribution and consumption within the retina in vascularised and avascular retinas and in animal models of retinal disease. *Prog Retin Eye Res*. 2001;20:175-208. [https://doi.org/10.1016/S1350-9462\(00\)00027-6](https://doi.org/10.1016/S1350-9462(00)00027-6)
- Provis JM. Development of the primate retinal vasculature. *Progr Retin Eye Res*. 2001;20(6):799-821. [https://doi.org/10.1016/s1350-9462\(01\)00012-x](https://doi.org/10.1016/s1350-9462(01)00012-x)
- Tan PEZ, Yu PK, Balaratnasingam C, Cringle SJ, Morgan WH, McAllister IL, Yu D-Y. Quantitative confocal imaging of the retinal microvasculature in the human retina. *Investig Ophthalmol Visual Sci*. 2012;53(9):5728. <https://doi.org/10.1167/iovs.12-10017>
- Campbell JP, Zhang M, Hwang TS, Bailey ST, Wilson DJ, Jia Y, Huang D. Detailed vascular anatomy of the human retina by projection-resolved optical coherence tomography angiography. *Scient Rep*. 2017;7:42201. <https://doi.org/10.1038/srep42201>
- Garrity ST, Iafe NA, Phasukkijwatana N, Chen X, Sarraf D. Quantitative analysis of three distinct retinal capillary plexuses in healthy eyes using optical coherence tomography angiography. *Investig Ophthalmol Visual Sci*. 2017;58(12):5548-5555. <https://doi.org/10.1167/iovs.17-22036>
- Snodderly DM, Weinhaus RS. Retinal vasculature of the fovea of the squirrel monkey, *Saimiri sciureus*: three-dimensional architecture, visual screening, and relationships to the neuronal layers. *J Comp Neurol*. 1990;297:145-163. <https://doi.org/10.1002/cne.902970111>
- Snodderly DM, Weinhaus RS, Choi JC. Neural-vascular relationships in central retina of macaque monkeys (*Macaca fascicularis*). *J Neurosci*. 1992;12:1169-1193. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.12-04-01169.1992>

Поступила 17.04.2020

Received 17.04.2020

Принята к печати 27.05.2020

Accepted 27.05.2020