

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЦЕНТРАЛЬНОГО ОТДЕЛА ЗРИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗАТОРА (ОБЗОР)

А. Д. Чупров — ФГАУ «НМИЦ “МНТК ‘Микрохирургия глаза’ им. акад. С. Н. Федорова”» Минздрава России, директор Оренбургского филиала, профессор, доктор медицинских наук; **Н. А. Жедяле** — офтальмологическая клиника «Созвездие», заместитель главного врача; **А. Е. Воронина** — ФГАУ «НМИЦ “МНТК ‘Микрохирургия глаза’ им. акад. С. Н. Федорова”» Минздрава России, Оренбургский филиал, заведующая научно-образовательным отделением, врач-офтальмолог, кандидат медицинских наук.

METHODS FOR INVESTIGATION OF CENTRAL DEPARTMENT OF A VISUAL ANALYZER

A. D. Chuprov — S. Fedorov Eye Microsurgery Federal State Institution, Director of Orenburg branch, Professor, DSc; **N. A. Zhe-diale** — Ophthalmology clinic “Sozvezdie”, Deputy Head Physician; **A. E. Voronina** — S. Fedorov Eye Microsurgery Federal State Institution, Orenburg branch, Head of Research and Educational Department, Head of Research and Educational Department, Ophthalmologist, PhD.

Дата поступления — 01.04.2021 г.

Дата принятия в печать — 26.05.2021 г.

Чупров А. Д., Жедяле Н. А., Воронина А. Е. Методы исследования центрального отдела зрительного анализатора (обзор). Саратовский научно-медицинский журнал 2021; 17 (2): 396–400.

Сложность организации зрительного анализатора является стимулом для поиска и совершенствования методов его диагностики, позволяющих качественно оценить зрительное восприятие и эффективность переработки информации, полученной в результате работы зрительного пути. В обзоре подробно рассмотрены методы исследования центральных отделов зрительного анализатора, которые предположительно играют ключевую роль в процессах нейроадаптации. Проведен обзор русской и англоязычной научно-медицинской литературы с использованием баз данных: PubMed, Elibrary и Ciberleninka; электронной библиотеки диссертаций и авторефератов disserCat; архивов журналов, таких как «Вестник Российской военно-медицинской академии», «Авиакосмическая и экологическая медицина», «Сенсорные системы», «Вестник РАМН», «Клиническая офтальмология», «Российский офтальмологический журнал», «Российский физиологический журнал им. И. М. Сеченова» и другие. Последний поисковый запрос датирован 14 апреля 2021 г. По изучаемому вопросу отобрано 63 медицинские публикации, из которых выделено 47 наиболее содержательных работ (1965–2021), отвечающих цели обзора.

Ключевые слова: зрительный анализатор, патология хрусталика, методы исследования зрительного анализатора, функциональная магнитно-резонансная томография.

Chuprov AD, Zhe-diale NA, Voronina AE. Methods for investigation of central department of a visual analyzer. *Saratov Journal of Medical Scientific Research* 2021; 17 (2): 396–400.

The complexity of the visual analyzer organization is an incentive for the search and improvement of its diagnostic methods, which allow us to assess visual perception and the effectiveness of processing information obtained as a result of the visual pathway. The review considers in detail the methods of studying the central departments of the visual analyzer, which presumably are crucial in the processes of neuroadaptation. A review of Russian and English-language scientific medical literature was carried out using databases of medical and biological publications: PubMed, Russian scientific electronic libraries Elibrary and Ciberleninka; the electronic library of dissertations and abstracts disserCat; the archives of the journals: *Bulletin of the Russian Military Medical Academy; Aerospace and Environmental Medicine; Sensory Systems Journal; Annals of the Russian Academy of Medical Sciences; Russian Ophthalmological Journal; Russian Journal of Clinical Ophthalmology; Ophthalmology in Russia; Russian Journal of Physiology* and others. The last search query was dated April 14, 2021. On the issue under study, 63 medical publications were selected, of which 47 works (1965–2021) were identified as the most informative publications that meet the purpose of the review.

Key words: visual analyzer, lens pathology, visual analyzer research methods, functional magnetic resonance imaging.

Зрительный анализатор (ЗА) является важной сенсорной системой организма, это комплекс сложных оптических центров, их нейронных связей, обеспечивающий четкое восприятие, интеграцию и анализ имеющихся зрительных сигналов.

Зрительный анализатор можно условно разделить на две части: периферический и центральный отделы. Периферический отдел включает фоторецепторный аппарат сетчатки, зрительный нерв и зрительный тракт, а центральный вмещает подкорковые и корковые центры головного мозга [1]. Зрительная область объединяет первичную воспринимающую зрительную кору, или поле 17 (area striata), и вторичную экстрастриарную кору, или поля 18 и 19 [2].

Зрительный анализатор, особенно его центральные отделы, очень сложно устроен, что является стимулом для продолжения поиска и совершенствования методов его диагностики, позволяющих

качественно оценить зрительное восприятие и эффективность переработки информации, полученной в результате работы зрительного пути. Причина в том, что часть современных методик основывается на данных, полученных при субъективном обследовании, а это не всегда отражает реальное состояние зрительной системы; другая же часть исследований может иметь ограничения в проведении из-за низкого зрения по разным причинам, в том числе в связи с патологией оптических сред [3–4].

Рассмотрим методы исследования центрального отдела зрительного анализатора, который предположительно играет ключевую роль в процессах нейроадаптации после различных хирургических вмешательств, в том числе после хирургии катаракты [4–5].

Первым и одним из наиболее рутинных и распространенных методов исследования считается проверка остроты зрения или способности органа зрения различать два объекта раздельно при наименьшем расстоянии между ними [6]. Острота зрения является частью более широкого понятия «разрешающая способность глаза» и дает возможность оценить

способность зрительной системы к анализу форм, размеров, структуры и ориентации объектов в пространстве. Фактически наше зрение определяется тем, как мозг преобразует приходящие от сетчатки импульсы, поскольку зрение включает «конструктивное» восприятие, а не просто анализ оптически идеальной картинки [4].

Много работ посвящено созданию идеальных оптопиков для проверки остроты зрения до и после хирургических вмешательств [7–12].

В настоящее время остроту зрения измеряют в основном при помощи таблиц с различными тестовыми изображениями или оптопиками (буквы, цифры, кольца Ландольта, вращающиеся знаки E и др.). Согласно международным правилам, величина отдельных элементов любого оптопика различима при угле зрения в 1', при этом весь оптопик — при величине угла в 5' [6]. Принцип измерения остроты зрения заключается в определении наименьшего размера оптопика, при котором испытуемый еще может правильно распознать предъявляемые стимулы [7]. Важным критерием достоверности и точности оптопика является «одинаковая различимость на пороге узнавания», т.е. схожесть формы при размытии и равновероятность распознавания [13].

У всех оптопиков в ряду должен быть только один отличительный признак, но при наличии большего количества таковых признаков результаты измерений будут меняться и напрямую зависеть от того, сколько признаков использовал испытуемый для распознавания. В итоге человек после тренировки будет давать высокий результат, а впервые обследованный с таким же зрением — более низкий [5, 11]. Следовательно, буквенные и цифровые оптопики не являются оптимальными по точности тестами, хотя они наиболее удобны в проведении для большинства категорий пациентов, а также для анализа полученных результатов, почему и получили широкое мировое распространение [7–13].

На результат обследования при проверке зрения могут оказывать влияние количество предъявляемых объектов в ряду и расстояние между ними. В литературе описан краудинг-эффект, или взаимодействие контуров, близкорасположенных оптопиков [14].

Некоторые преимущества имеют так называемые исчезающие оптопики (*vanishing optotypes*), созданные при помощи цифровой обработки изображений [15–17]. В литературе описано, что исчезающая разновидность оптопиков обеспечивает лучшую повторяемость в сравнении с обычными [11, 17]. Кроме того, их можно использовать для измерения остроты зрения у пациентов с нарушениями когнитивных функций, детей, при проведении врачебной экспертизы [9, 18]. Самыми распространенными исчезающими оптопиками считаются Cardiff optotypes (Кардифф оптопики) [19].

Теоретически идеальными оптопиками для оценки ОЗ являются протяженные (математически бесконечные) синусоидальные решетки [5].

Начиная с научных трудов Ф.В. Кэмпбелла с соавт. (1965, 1968) в теоретических научных исследованиях используются в основном синусоидальные решетки и элементы Габора [20–22]. Элемент Габора как оптопик своим более высоким качеством обязан плавному спадающему контраста на краях и в меньшей степени зависит от процессов обучения и высших когнитивных механизмов, однако использовать элементы Габора для массового применения технически не всегда представляется возможным.

Несмотря на такое разнообразие существующих таблиц для оценки остроты зрения, исследования в данной области продолжают в поиске более точных и надежных методов проверки ОЗ.

Единственным информативным методом оценки состояния исследования поля зрения является периметрия. Она позволяет оценить тенденции распределения световой чувствительности по площади фоторецепторного слоя в каждом глазу отдельно, а также уровень нарушения зрительных путей по сочетанию изменений в обоих глазах [23].

Общепринятым стандартом оценки зрительных функций в настоящее время являются стандартная автоматическая или компьютерная периметрия (SAP) и ее модификации: стандартная автоматическая коротковолновая (синее-на-желтом) периметрия и периметрия с удвоением частоты (*frequency doubling technology perimetry*) [24].

Для получения наибольшей точности исследования компьютерная периметрия чаще исследуется в центральной зоне, а именно до 25–30° от точки фиксации, так как в периферических отделах отмечается нестабильность показателей и вариативность конечных результатов [25, 26].

Важными факторами для проведения периметрии также являются время и условия тестирования. По данным исследований в данной области выявлено оптимальное время проведения теста, не превышающее 7 минут. Далее, из-за утомления, способность к восприятию снижается, пациент перестает четко фиксировать взор, что влечет за собой появление ложноположительных и ложноотрицательных результатов и, как следствие, неточности в интерпретации [27, 28]. Если говорить об условиях, более всего на конечный результат влияют яркость стимула и фона периметра, их цвет, размер стимула. Кроме того, компьютерная периметрия обычно проводится в затемненном помещении, соответственно перед обследованием необходима адаптация пациента к пониженной освещенности [29].

Проведение данной методики не всегда представляется возможным при помутнении оптического сред из-за поглощения ими коротковолнового излучения. Необходимо отметить, что метод считается субъективным, а следовательно, существенным фактором, влияющим на результаты обследования, является «эффект обучения». По мере того как пациент знакомится с методом и делает его повторно, достоверность результатов повышается, что было неоднократно подтверждено в исследованиях [29–31].

По мнению некоторых авторов, более точным является результат второго теста, так как «эффект обучения» наиболее выражен между первым и вторым обследованием [32, 33].

Способность электрофизиологических методов исследования (ЭФИ) исключать из диагностического процесса влияние испытуемого звена, его универсальность, направленность на топический и функциональный анализ привели к активному использованию ЭФИ в научной практике. Несомненные преимущества ЭФИ заключаются в том, что из диагностического процесса исключается субъективное влияние обследуемого, при этом функциональная оценка часто может коррелировать с результатами ряда диагностических методик или опровергать их [34].

В сравнении с электроэнцефалографией (ЭЭГ), отражающей активность коры больших полушарий, зрительные вызванные корковые потенциалы (ЗВКП) показывают общую ответную реакцию нейронов коры

и подкорковых образований при раздражении фоторецепторов сетчатки световыми стимулами [23, 35]. ЗВКП регистрируются с затылочной области испытуемого для оценки функционального состояния зрительного нерва и зрительной коры головного мозга.

Центральная зона сетчатки проецируется в зрительной коре в гораздо большей области, чем периферическая, а следовательно, зрительные вызванные потенциалы (ЗВП) отражают главным образом центральную зрительную функцию [36].

Недостаток обследования заключается в том, что, поскольку он отражает весь зрительный путь, ненормальный тест не позволяет точно определить место дисфункции [37]. Другим недостатком является тот факт, что из-за чрезмерной представленности макулы в зрительной коре любые макулярные поражения сверхэкспрессируются в результатах ЗВП. Кроме того, результаты интерпретируются как аномальные при непрозрачности глазных сред, при амблиопии и при неисправленных рефракционных ошибках [38].

Важным событием для ЭФИ является появление мультифокальных зрительных вызванных потенциалов. Н.А. Baseler et al. (1994) были первыми, кто записал мультифокальные ЗВП [39]. Е.Е. Sutter адаптировал математические последовательности, называемые бинарными m -последовательностями, создав программу, которая может извлекать сотни биосигналов из затылочной области головы [40]. Традиционные ЗВП оценивают зрительные нервы и центральные пути в целом. Часто небольшая или локализованная дисфункция зрительного пути не обнаруживается. Используя мультифокальный анализ ЗВП, можно выделить меньшие дисфункциональные области, используя сотни стимуляций, представленных за то же время, которое требуется для регистрации одного ЗВП всего нерва с помощью традиционных методов [41]. Мультифокальные ЗВП лучше всего позволяют оценивать асимметрию зрительной функции, вызванную дисфункцией зрительного нерва. Иногда возможно обнаружить патологию, которую можно пропустить с помощью традиционно одиночного ЗВП [42].

Одним из наиболее молодых и перспективных методов исследования зрительного анализатора является функциональная магнитно-резонансная томография (фМРТ). По своей разрешающей способности она значительно превосходит другие методы нейровизуализации и позволяет собирать данные не только о структурной организации головного мозга, но и о метаболизме и кровотоке в изучаемых структурах [3].

В период нейрональной активности в ответ на тест-задания происходит повышение региональной перфузии определенного участка мозга и соответственно концентрации кислорода и оксигемоглобина в крови. фМРТ фиксирует появляющееся в данный момент относительное снижение концентрации дезоксигемоглобина, который относится к парамагнетикам. В этом и состоит суть метода фМРТ, а именно: регистрация изменений гемодинамики и степени оксигенации крови и, как следствие, тканей мозга, эффект BOLD (blood oxygenation level dependent) [43].

фМРТ является неинвазивной высокочувствительной методикой, что определяет ее возможное применение в клинической практике и в научно-исследовательской работе. Особое место в диагностике офтальмопатологии занимает метод фМРТ, который позволяет установить взаимосвязь между

вовлеченными участками затылочного отдела головного мозга и определенными когнитивными функциями. Выполнение фМРТ при различных патологических состояниях до и после хирургических вмешательств позволяет оценить организацию и функциональную специализацию зрительной коры. Однако данный метод пока не дает возможность определять механизмы функционирования на уровне отдельных нервных клеток [44].

Имеются исследования, в которых фМРТ использовалась в целях объективного определения остроты зрения, а также для решения спорных случаев, требующих экспертной оценки [3, 45]. Для определения остроты зрения с помощью данного метода в качестве зрительных стимулов применяются изображения с элементами Габора в различных комбинациях.

Многие авторы исследовали фМРТ для объективной оценки полей зрения [46, 47]. В качестве зрительной стимуляции в таком случае используется система черно-белых паттернов, расположенных в шахматном порядке по концентрическим окружностям вокруг точки фиксации [44]. Очевидно, что фМРТ в таких случаях может использоваться только как вспомогательный метод исследования, однако при сравнении полей зрения, полученных с помощью фМРТ и компьютерной периметрии, наблюдается высокое соответствие полученных результатов [29].

Ряд авторов использовали фМРТ для изучения нейропластичности зрительной коры для оценки процессов нейроадаптации после хирургических вмешательств. В зависимости от увеличения или снижения уровня активации зон зрительной коры делали выводы о функциональном состоянии ЗА [44].

Минусами метода являются отсутствие общепринятых протоколов проведения обследования, а также сложность интерпретации результатов.

В заключение следует подчеркнуть, что большинство существующих методик в определенной мере позволяют оценить состояние зрительной системы, но практически не изучены вопросы функционирования зрительного анализатора в целом и влияния патологии того или иного отдела зрительного анализатора на зрительные функции.

Конфликт интересов отсутствует.

References (Литература)

1. Kolesnikov AV, Sokolov VA, Kolesnikova MA, et al. Anatomy of the organ of vision. Ryazan: OTS i OP, 2018; 70 p. Russian (Колесников А.В., Соколов В.А., Колесникова М.А. и др. Анатомия органа зрения. Рязань: ОТС и ОП, 2018; 70 с.).
2. Schmidt RF, Thews G. General and special sensory physiology. In: Human physiology. 2nd ed. Moscow: Mir, 1996; vol. 1, p. 178–321. Russian (Шмидт Р.Ф., Тевс Г. Общая и специальная сенсорная физиология. В кн.: Физиология человека. М.: Мир, 1996; т. 1, с. 178–321).
3. Koskin SA. Modern objective methods of visometry for the purpose of medical examination. Bulletin of the Russian Military Medical Academy 2007; 20 (4): 53–60. Russian (Коскин С.А. Современные объективные методы визометрии в целях врачебной экспертизы. Вестник Российской военно-медицинской академии 2007; 20 (4): 53–60).
4. Rosa AFM. Neuroadaptation after cataract and refractive surgery: DSc diss. Coimbra, 2017; 158 p.
5. Fomina OV. A new method for assessing the visual functions of patients after implantation of multifocal intraocular lenses: PhD diss. Moscow, 2021; 218 p. Russian (Фомина О.В. Новый метод оценки зрительных функций пациентов после имплантации мультифокальных интраокулярных линз: дис. ... канд. мед. наук. М., 2021; 218 с.).

6. Копалева В.Г. Eye diseases: Textbook. Moscow: Meditsina, 2008; 249 p. Russian (Копалева В.Г. Глазные болезни: учебник. М.: Медицина, 2008; 249 с.).
7. Rozhkova GI, Belozerov AE, Lebedev DS. Measurement of visual acuity: ambiguity of the influence of low-frequency components of the Fourier spectrum of optotypes. *Sensory Systems Journal* 2012; 26 (2): 160–71. Russian (Рожкова Г.И., Белозеров А.Е., Лебедев Д.С. Измерение остроты зрения: неоднозначность влияния низкочастотных составляющих спектра Фурье опотипов. *Сенсорные системы* 2012; 26 (2): 160–71).
8. Volkov VV, Kolesnikova LN, Shelepin YuE. Frequency contrast characteristics and visual acuity in ophthalmic practice. *Russian Ophthalmological Journal* 1983; (3): 148–51. Russian (Волков В.В., Колесникова Л.Н., Шелепин Ю.Е. Частотно-контрастные характеристики и острота зрения в офтальмологической практике. *Офтальмологический журнал* 1983; (3): 148–51).
9. Anstice NS, Thompson B. The measurement of visual acuity in children: an evidence-based update. *Clin Exp Optometry* 2014; 97 (1): 3–11.
10. Shah N, Dakin SC, Dobinson S, et al. Visual acuity loss in patients with age-related macular degeneration measured using a novel high-pass letter chart. *Br J Ophthalmol* 2016; 100 (10): 1346–52.
11. Rozhkova G, Lebedev D, Gracheva M, Rychkova S. Optimal optotype structure for monitoring visual acuity. *J Latvian Acad Sci* 2017; 71 (5): 20–30.
12. Rozhkova GI, Malykh TB. Modern aspects of visometry standardization. *Aerospace and Environmental Medicine* 2017; 51 (6): 5–16. Russian (Рожкова Г.И., Мальных Т.Б. Современные аспекты стандартизации визометрии. *Авиакосмическая и экологическая медицина* 2017; 51 (6): 5–16).
13. Gracheva MA, Kazakova AA, Pokrovskiy DF, Medvedev IB. Tables for assessing visual acuity: analytical overview, basic terms. *Annals of the Russian Academy of Medical Sciences* 2019; 74 (3): 176–83. Russian (Грачева М.А., Казакова А.А., Покровский Д.Ф., Медведев И.Б. Таблицы для оценки остроты зрения: аналитический обзор, основные термины. *Вестник РАМН* 2019; 74 (3): 176–83).
14. Bondarko VM. Visual acuity and crowding effect in adults and children of different ages. In: *Neurotechnologies: collective monograph*. St. Petersburg: Izd-vo VVM, 2018; p. 46–116. Russian (Бондарко В.М. Острота зрения и краудинг-эффект у взрослых и детей различного возраста. В кн: *Нейротехнологии: коллективная монография*. Санкт-Петербург: Изд-во ВВМ, 2018; с. 46–116).
15. Frisen L. Vanishing optotypes: New type of acuity test letters. *Arch Ophthalmol* 1986; 104 (8): 1194–8.
16. Frisen L. *Clinical Tests of Vision*. New York: NY Raven Press, 1990; 222 p.
17. Hamm LM, Yeoman JP, Anstice NS, et al. The Auckland optotypes: an open-access pictogram set for measuring recognition acuity. *J Vis* 2018; 18 (3): 13.
18. Koskin SA. System for determining visual acuity for the purpose of medical examination: DSc abstract. St. Petersburg, 2009; 48 p. Russian (Коскин С.А. Система определения остроты зрения в целях врачебной экспертизы: автореф. дис. ... д-ра мед. наук. СПб., 2009; 48 с.).
19. Adoh TO, Woodhouse JM. The Cardiff acuity test used for measuring visual acuity development in toddlers. *Vision Res* 2003; 34 (4): 555–60.
20. Campbell FW, Green DG. Optical and retinal factors affecting visual resolution. *J Physiol Lond* 1965; 181: 576–93.
21. Campbell FW, Robson JC. Application of Fourier analysis to the visibility of gratings. *J Physiol* 1968; 197: 551–66.
22. Belozerov AE. Theoretical evaluation of three-band stimuli as optotypes for measuring visual acuity in comparison with Gabor elements. *Sensory Systems Journal* 2013; 27 (2): 108–21. Russian (Белозеров А.Е. Теоретическая оценка трехполосных стимулов как опотипов для измерения остроты зрения в сравнении с элементами Габора. *Сенсорные системы* 2013; 27 (2): 108–21).
23. Shamshinova AM, Volkov VV. Functional research methods in ophthalmology. Moscow: Meditsina, 2004; 432 p. Russian (Шамшинова А.М., Волков В.В. Функциональные методы исследования в офтальмологии. М.: Медицина, 2004; 432 с.).
24. Slobodyanyk SB. Automated Static Perimetry for diagnostics of visual field defects in glaucoma. *J Ophthalmol (Ukraine)* 2019; (1): 65–72.
25. Kolbanov VV. Dynamic characteristics of the field of view. St. Petersburg: DEAN, 2010; 288 p. Russian (Колбанов В.В. Динамические характеристики поля зрения. СПб.: ДЕАН, 2010; 288 с.).
26. Weinreb R, Greve E. Progression of Glaucoma: the 8th consensus report of the world glaucoma association. Amsterdam, the Netherlands: Kugler Publications, 2011; 170 p.
27. Stoyanova SG, Egorova EL, Gurov AS. Comparative characteristics of kinetic and static perimetry in inpatient and outpatient practice in patients with glaucoma. *Russian Journal of Clinical Ophthalmology* 2002; 3 (2): 65–7. Russian (Стоянова С.Г., Егорова Е.Л., Гуров А.С. Сравнительная характеристика кинетической и статической периметрии в стационарной и амбулаторной практике у больных глаукомой. *Клиническая офтальмология* 2002; 3 (2): 65–7).
28. Johnson CA. Psychophysical factors that have been applied to clinical perimetry. *Vision Res* 2013; 90: 25–31.
29. Serdyukova SA. Comparative characteristics of computer perimetry methods for the diagnosis and monitoring of glaucoma: PhD abstract. St. Petersburg, 2018; 23 p. Russian (Сердюкова С.А. Сравнительная характеристика методов компьютерной периметрии для диагностики и мониторинга глаукомы: автореф. дис. ... канд. мед. наук. СПб., 2018; 23 с.).
30. Simakova IL, Serdyukova SA. Some aspects of the comparative characteristics of different methods of computer perimetry. *Ophthalmology Journal* 2015; 8 (2): 5–9. Russian (Симакова И.Л., Сердюкова С.А. Некоторые аспекты сравнительной характеристики разных методов компьютерной периметрии. *Офтальмологические ведомости* 2015; 8 (2): 5–9).
31. Simakova IL. Perimetry with doubled spatial frequency as the basis for glaucoma screening and monitoring of the glaucomatous process: DSc abstract. St. Petersburg, 2010; 46 p. Russian (Симакова И.Л. Периметрия с удвоенной пространственной частотой как основа скрининга на глаукому и мониторинга глаукоматозного процесса: автореф. дис. ... д-ра мед. наук. СПб., 2010; 46 с.).
32. Hirasawa K, Shoji N. Learning effect and repeatability of automated kinetic perimetry in healthy participants. *Curr Eye Res* 2014; 39 (9): 928–37.
33. Centofanti M, Fogagnolo P, Oddone F. Learning effect of Humphrey Matrix Frequency Doubling Technology perimetry in patients with ocular hypertension. *Glaucoma* 2008; 17 (6): 436–41.
34. Kazaykin VN. The current role and prospects of electrophysiological research methods in ophthalmology: Literature review. *Ophthalmology in Russia* 2020; 17 (4): 669–75. Russian (Казайкин В.Н. Современная роль и перспективы электрофизиологических методов исследования в офтальмологии: обзор лит-ры. *Офтальмология* 2020; 17 (4): 669–75).
35. Zolnikova IV, Chudin AV, Egorova IV. Multifocal visual evoked potentials in diagnostic practice. *Russian Ophthalmological Journal* 2013; 6 (3): 99–105. Russian (Зольникова И.В., Чудин А.В., Егорова И.В. Мультифокальные зрительные вызванные потенциалы в диагностической практике. *Российский офтальмологический журнал* 2013; 6 (3): 99–105).
36. Rosolen SG, Kolomiets B, Varela O, Picaud S. Retinal electrophysiology for toxicology studies: applications and limits of ERG in animals and ex vivo recordings. *Exp Toxicol Pathol* 2008; 60: 17–32.
37. Marmor MF, Kellner U, Lai TY, et al. Revised recommendations on screening for chloroquine and hydroxychloroquine retinopathy. *Ophthalmology* 2011; 118 (2): 415–22.
38. Michaelides M, Stover NB, Francis PJ, Weleber RG. Retinal toxicity associated with hydroxychloroquine and chloroquine: risk factors, screening, and progression despite cessation of therapy. *Arch Ophthalmol* 2011; 129 (1): 30–9.
39. Baseler HA, Sutter EE, Klein SA, et al. The topography of visual evoked response properties across the visual field. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1994; 90: 65–81.
40. Sutter EE. Noninvasive Testing Methods: Multifocal Electrophysiology. In: Dartt DA, ed. *Encyclopedia of the Eye*. Oxford: Academic Press, 2010; vol. 3, p. 142–60.

41. Renner AB, Kellner U, Tillack H, et al. Recording of both VEP and multifocal ERG for evaluation of unexplained visual loss. *Doc Ophthalmol* 2005; 111: 149–57.

42. Klistorner A, Fraser C, Garrick R, et al. Correlation between full-field and multifocal VEPs in optic neuritis. *Doc Ophthalmol* 2008; 116: 19–27.

43. Ogawa S, Tank DW, Menon R, et al. Intrinsic signal changes accompanying sensory stimulation: functional brain mapping with magnetic resonance imaging. *Proc Natl Acad Sci USA* 1992; 89: 5951–5.

44. Menshikova SV, Trufanov GE, Fokin VA, et al. Functional state of visual analyzer current understanding of methods of its evaluation and application of functional magnetic resonance imaging. *Bulletin of the Russian Military Medical Academy* 2013; 44 (4): 236–40. Russian (Меньшикова С.В., Труфанов Г.Е., Фокин В.А. и др. Функциональное состояние зрительного анализатора: современные представления о методиках его

оценки и применении функциональной магнитно-резонансной томографии. *Вестник Российской военно-медицинской академии* 2013; 44 (4): 236–40).

45. Fokin VA. Localization of areas of the human cerebral cortex activated during the perception of ordered and chaotic images. *Russian Journal of Physiology* 2007; 93 (10): 1089–100. Russian (Фокин В.А. Локализация областей коры головного мозга человека, активируемых при восприятии упорядоченных и хаотичных изображений. *Рос. физиол. журн. им. И.М. Сеченова* 2007; 93 (10): 1089–100).

46. Yucel YH, Zhang Q, Weinreb RN, et al. Effects of retinal ganglion cell loss on magno-, parvo-, koniocellular pathways in the lateral geniculate nucleus and visual cortex in glaucoma. *Prog Retin Eye Res* 2003; 22: 465–81.

47. Crawford ML, Harwerth RS, Smith EL, et al. Experimental glaucoma in primates: changes in cytochrome oxidase blobs in V1. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2000; 42: 358–64.

УДК 617.735–001.48–089.8

Оригинальная статья

ОПЫТ ХИРУРГИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ РЕЦИДИВА ОПЕРИРОВАННОГО МАКУЛЯРНОГО РАЗРЫВА

А.Д. Чупров — ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России, директор Оренбургского филиала, профессор, доктор медицинских наук; **А.Н. Казеннов** — ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России, Оренбургский филиал, заведующий операционным блоком, кандидат медицинских наук; **Е.А. Бажитова** — ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России, Оренбургский филиал, врач-офтальмолог.

EXPERIENCE OF SURGICAL TREATMENT OF RECURRENT MACULAR RUPTURE DEVELOPED IN POST-OPERATION PERIOD

A. D. Chuprov — S. Fedorov Eye Microsurgery Federal State Institution, Director of Orenburg branch, Professor, DSc; **A. N. Kazennov** — S. Fedorov Eye Microsurgery Federal State Institution, Orenburg branch, Head of Surgery Block, PhD; **E. A. Bazhitova** — S. Fedorov Eye Microsurgery Federal State Institution, Orenburg branch, Ophthalmologist.

Дата поступления — 01.04.2021 г.

Дата принятия в печать — 26.05.2021 г.

Чупров А.Д., Казеннов А.Н., Бажитова Е.А. Опыт хирургического лечения рецидива оперированного макулярного разрыва. *Саратовский научно-медицинский журнал* 2021; 17 (2): 400–402.

Цель: повысить эффективность хирургического лечения рецидива оперированного макулярного разрыва. **Материал и методы.** Под наблюдением находилось 10 пациентов (10 глаз) с рецидивом макулярного разрыва. В 8 из 10 случаев макулярное отверстие закрыли с использованием методики инвертированного лоскута внутренней пограничной мембраны (ВПМ) на ножке; в 2 случаях — с использованием механического сближения краев разрыва. Зрение до операции варьировалось от 0,05 до 0,1–0,2. По данным оптической когерентной томографии, средний диаметр разрыва колебался от 600 до 800 мкм и в 1 случае составил 1144 мкм. **Результаты.** Во всех случаях удалось получить анатомический результат. При применении лоскута ВПМ получен максимально эффективный анатомический результат в 5 случаях с сохранением нейроэпителия; в 2 случаях сетчатка в фовеа была истончена. В этих случаях отмечалось улучшение зрительных функций через 1–3 месяца. В 3 случаях было неполное закрытие макулярного отверстия; в одном сохранялся дефект на уровне эллипсоидной зоны фоторецепторов сетчатки; в 2 случаях отмечалась деформация фовеа сетчатки с разрушением эллипсоидной зоны фоторецепторов. Зрительные функции остались без изменений. **Заключение.** Использование описанной технологии инвертированного лоскута ВПМ в хирургии рецидива оперированного макулярного разрыва позволяет повысить эффективность лечения.

Ключевые слова: макулярный разрыв; методика «свободного лоскута»; внутренняя пограничная мембрана; силиконовая тампонада.

Chuprov AD, Kazennov AN, Bazhitova EA. Experience of surgical treatment of recurrent macular rupture developed in post-operation period. *Saratov Journal of Medical Scientific Research* 2021; 17 (2): 400–402.

Purpose: evaluate the effectiveness of surgical treatment of recurrent operated macular rupture. **Material and Methods.** The study included 10 patients (10 eyes) with recurrent macular rupture. In 8 out of 10 cases, the macular hole was closed using the inverted internal limiting membrane (ILM) flap technique; in 2 cases — using mechanical convergence of the edges of the rupture. Preoperative vision varied from 0.05 to 0.1–0.2. According to optical coherent tomography, the average rupture diameter ranged from 600 to 800 μm and in one case was 1144 μm. **Results.** In all cases, an anatomical result was obtained. During ILM application, the most effective anatomical result was obtained in 5 cases with preservation of the neuroepithelium; in 2 cases the retina in the fovea was thinned. In these cases, there was an improvement in visual functions 1–3 months after the surgery. In 3 cases, there was an incomplete closure of the macular hole. In 1 case, the defect remained at the level of ellipsoid zone of retinal photoreceptors; in 2 cases, there was a deformation of the retinal fovea with the destruction of photoreceptor ellipsoid zone. Visual functions remained unchanged. **Conclusion.** The use of the described inverted ILM flap technique in surgery of recurrent operated macular rupture serves to increase the effectiveness of treatment.

Key words: macular rupture; free flap technique; internal bordering membrane; silicone tamponade.