ВОСПРОИЗВОДИМОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ТОПОГРАФИЧЕСКИ-ОРИЕНТИРОВАННЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИ МУЛЬТИМОДАЛЬНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ СКВОЗНЫХ МАКУЛЯРНЫХ РАЗРЫВОВ

Докторова Т.А.*[1], Суетов А.А.[1], Бойко Э.В.[1,2,3], Сосновский С.В.[1]

[1] *ФГАУ НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова», Санкт-Петербургский филиал, Санкт-Петербург*

[2] *ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И. И. Мечникова», Санкт-Петербург*

[3] *ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет», Санкт-Петербург*

DOI: 10.25881/20728255_2026_21_4_S1_14

Резюме. Обоснование. Ограниченные сведения о влиянии внутрисессионной вариабельности показателей на результаты анализа при использовании инструментов мультимодальной визуализации в процессе изучения структурного и функционального состояния макулы при сквозных макулярных разрывах (СМР).

Цель. Изучить внутрисессионную вариабельность показателей мультифокальной электроретинографии (мфЭРГ) и микропериметрии (МП) при обследовании пациентов с СМР.

Методы. У 45 пациентов (36 женщин и 9 мужчин, возраст 67,2±5,8 года) с СМР было выполнено 5 повторных исследования мфЭРГ с интервалом 15-20 минут и 4 повторных исследования МП с интервалом между сессиями от 30 минут до суток. Анализировали латентность и амплитуду Р1 в кольцах паттерна R1-R3, при МП значения световой чувствительности (СЧ) в точке фиксации и точках колец R2 и R3, а также площадь фиксации. Изучили различия показателей и коэффициентов вариации показателей между сессиями, а также взаимосвязь с минимальным и базальным диаметром разрыва.

Результаты. При мфЭРГ значения латентности и амплитуды Р1 в кольцах R1-R3 не отличались между сессиями (p>0,05), коэффициент вариации составил для латентности Р1 от 3,8 до 5,1%, для амплитуды Р1 от 4,2 до 5,5%. При МП показатели СЧ в точке фиксации и кольцах R2 и R3 значимо не отличались между сессиями (p>0,05), коэффициент вариации составил от 2,3 до 4,7%. Площадь фиксации не отличалась между сессиями (p>0,05), коэффициент вариации составил 8,8%. Минимальный и базальный диаметр разрыва не коррелировал с коэффициентами вариации исследуемых показателей (R<0,17, p>0,05).

Заключение. Количественные показатели функциональных топографически-ориентированных исследований при повторных тестированиях могут изменяться, тем не менее, внутрисессионная вариабельность не влияет на проведение комплексного анализа состояния макулы при СМР.

Ключевые слова: макула, сквозной макулярный разрыв, микропериметрия, мультифокальная электроретинография, мультимодальная визуализация.

REPRODUCIBILITY OF RESULTS FROM TOPOGRAPHY-ORIENTED FUNCTIONAL METHODS OF EXAMINATION IN MULTIMODAL IMAGING OF FULL-THICKNESS MACULAR HOLES

Doktorova T.A.*[1], Suetov A.A.[1], Boiko E.V.[1,2,3], Sosnovskiy S.V.[1]

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

[2] *Mechnikov North-West State Medical University, St. Petersburg*

[3] *St. Petersburg State University, St. Petersburg*

Abstract. Background. There is limited data on the effect of intrasession variability in parameters on the results of the analysis when multimodal imaging tools are used to study the structural and functional state of the macula in cases of full-thickness macular holes (FTMH).

Aim. To study intrasession variability in multifocal electroretinography (mfERG) and microperimetry (MP) parameters during the examination of patients with FTMH.

Materials and methods. Forty-five patients (36 women and 9 men, with a mean age of 67.2 ± 5.8 years) with FTMH underwent five repeated mfERG studies at 15- to 20-minute intervals, and four repeated MP studies were performed with intervals between sessions ranging from 30 minutes to 24 hours. The implicit time and amplitude of P1 in the R1–R3 rings, as well as the retinal sensitivity (RS) values at the fixation point and at points R2 and R3 rings, and the fixation area were analyzed. The differences in parameters and their variation coefficients across sessions were examined, as well as their correlation with the minimum and basal diameters of the macular hole.

Result. During mfERG testing, there were no differences in the P1 implicit time and amplitude values in rings R1–R3 between sessions ($p > 0.05$). The coefficient of variation ranged from 3.8% to 5.1% for P1 implicit time and from 4.2% to 5.5% for P1 amplitude. During the MP testing, there was no significant difference in the RS values at the fixation point and at rings R2 and R3 between sessions ($p > 0.05$), with the coefficient of variation ranging from 2.3% to 4.7%. The fixation area did not differ between sessions ($p > 0.05$), with the coefficient of variation measuring 8.8%. The minimum and basal diameters of the FTMH did not correlate with the coefficients of variation for the studied parameters ($R < 0.17$, $p > 0.05$).

Conclusion. Although quantitative parameters of topography-oriented functional methods of examination may vary during repeat testing, intrasession variability does not affect the comprehensive analysis of macular status in FTMH.

Keywords: macula, full-thickness macular hole, microperimetry, multifocal electroretinography, multimodal imaging.

Актуальность

Сквозные макулярные разрывы (СМР) – одно из наиболее распространенных заболеваний макулы в практике витреоретинального хирурга [1; 2]. Несмотря на разработку и внедрение новых методов хирургического закрытия СМР, позволивших повысить эффективность лечения, продолжаются исследования, направленные как на изучение особенностей патогенеза СМР, так и на выявление новых предикторов функционального восстановления макулы в послеоперационном периоде [3–6].

Нами разработан и используется мультимодальный топографически-ориентированный подход, включающий такие методы структурного и функционального анализа состояния сетчатки в макулярной области в отдельных ее участках, как оптическая когерентная томография сетчатки (ОКТ), ОКТ в ангиорежиме, мультифокальная

* e-mail: taisiiadok@mail.ru

электроретинография (мфЭРГ) и фундус-контролируемая микропериметрия (МП) [7]. В то же время, в условиях обследования пациентов с СМР с помощью мультимодального топографически-ориентированного подхода на анализ данных, получаемых при каждом из диагностических обследований, могут влиять различные факторы. Например, при проведении ОКТ качество визуализации может зависеть от изменения прозрачности оптических сред, нарушения стабильности слезной пленки, аномалий рефракции и других факторов [8]. Функциональные методы исследования мфЭРГ и МП, в отличие от ОКТ, являются более трудоемкими и требуют тщательного соблюдения условий проведения тестирования для снижения вероятности получения искаженных результатов, при этом в исследованиях малоизученной остается внутрисессионная вариабельность регистрируемых показателей.

Цель

Изучить внутрисессионную вариабельность показателей мфЭРГ и МП при обследовании пациентов с СМР.

Материалы и методы

В исследование включили 45 пациентов (45 глаз), поступивших в клинику для оперативного лечения с СМР. Критериями включения являлись наличие СМР, по поводу которого ранее не проводилось хирургического лечения, и достаточная прозрачность оптических сред, не препятствующая проведению функционального обследования (с качеством сканирования при ОКТ не менее Q7). Критерии исключения: воспалительные заболевания органа зрения, глаукома, сосудистые заболевания сетчатки, дистрофические заболевания макулы, макулярная неоваскуляризация, миопическая рефракция более 6 дптр.

При комплексном офтальмологическом обследовании с помощью мультимодального топографически-ориентированного подхода структурные параметры макулярного разрыва (минимальный и базальный диаметр разрыва, стадия СМР) исследовали с помощью ОКТ на приборе Solix (Optovue, США).

Регистрацию мфЭРГ проводили с помощью электроретинографа «Нейро-ЭРГ» (Нейрософт, Россия) в соответствии со стандартом ISCEV [8], при этом использовали паттерн из 61 гексагона с угловыми размерами на сетчатке 19,70. В ответе первого порядка анализировали латентность и амплитуду Р1 в кольцах R1-R3, при этом для исследования внутрисессионной вариабельности учитываемых показателей регистрацию мфЭРГ проводили 5 раз с интервалом 15–20 минут между сессиями.

Световую чувствительность (СЧ) в макуле изучали с помощью МП на микропериметре Compass (CenterVue, Италия), при этом использовали программу тестирования 10–2 (68 точек и 1 точка фиксации) с пороговой стратегией 4-2, ахроматическим объектом III по Гольдманну и временем предъявления стимула 200 мс. Значения СЧ оценивали в 17 точках, сгруппированных в три кольца - МП1 (точка фиксации), МП2 и МП3 и расположенных на удалении 0-2,50, 2,5-5,00 и 5,0-10,00 от точки фиксации, при этом анализировали среднюю СЧ в кольцах МП1-МП3, а также автоматически вычисляемое прибором значение площади области фиксации. Для исследования внутрисессионной вариабельности учитываемых показателей МП проводили с четырехкратным повторением тестирования с интервалом между сессиями в течение от 30 минут до суток, при этом подготовка к МП и условия проведения были одинаковыми.

Дополнительно изучали взаимосвязь показателей коэффициента вариации каждого из учитываемых параметров и размеров СМР.

Статистическая обработка результатов исследования проводилась с использованием программы Numiqo: Online Statistics Calculator (DATAtab e.U. Graz, Австрия). Все количественные данные представлены в формате M±m. Сравнение показателей между группами выполнялось с помощью дисперсионного анализа ANOVA. Для определения связи между параметрами в группах использовали расчет коэффициента корреляции. Статистически значимыми считали результаты с уровнем значимости $p<0,05$.

Результаты

В исследование включено 45 пациентов (36 женщин и 9 мужчин) в возрасте 67,2±5,8 года (диапазон от 53 до 75 лет). Среднее значение МКОЗ составило 0,32±0,15 при средней рефракции (сфероэквивалент) -0,24±2,17 дптр и аксиальном размере глазного яблока, по данным биометрии, 23,48±1,02 мм. В 37 глазах был нативный хрусталик, в 8 глазах ранее была проведена хирургия катаракты с имплантацией ИОЛ. При проведении ОКТ в 7 случаях СМР соответствовал 3 стадии по D. Gass, в 38 случаях 4 стадии. Минимальный и базальный диаметр разрыва составил 382,01±126,34 мкм и 802,41±287,14 мкм соответственно.

При повторных сессиях регистрации мфЭРГ у каждого пациента, включенного в исследование, наблюдали различия в показателях (Рис. 1).

При анализе результатов 5 сессий среднее значение латентности Р1 в кольце паттерна R1 составило 51,6±5,18 мс, кольце R2 49,16±6,69 мс и кольце R3 46,28±6,75 мс, при этом средние значения латентности Р1 отдельных сессий значимо не отличались между собой: при проведении анализа ANOVA для показателей в кольце R1 $F = 1,73$, $p = 0,64$, в кольце R2 $F=0,946$, $p = 0,585$ и в кольце R3 $F = 1,14$, $p = 0,533$. Для каждого из колец R1-R3 значение внутрисессионной вариабельности (коэффициент вариации) латентности Р1 составило 4,1%, 3,8% и 5,1% соответственно (Рис.2). Анализ взаимосвязи коэффициентов вариации латентности Р1 в кольцах и минимального и базального диаметров разрыва не выявил значимой корреляции ($R<0,17$, $p>0,05$).

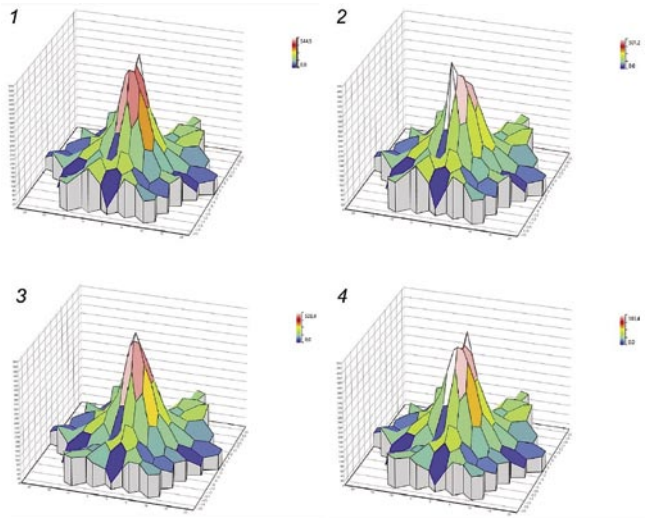


Рис. 1. Пример внутрисессионной вариабельности амплитуды P1 на топографических картах мфЭРГ у пациента с СМР.

Среднее значение амплитуды P1, по данным пяти сессий мфЭРГ, в кольце R1 составило 0,17±0,06 мкВ, кольце R2 0,28±0,19 мкВ и кольце R3 0,38±0,24 мкВ, при этом средние значения амплитуды P1 отдельных сессий значимо не отличались между собой, при проведении анализа ANOVA для показателей в кольце R1 F = 1,847, p = 0,125, в кольце R2 F=1,133, p = 0,348 и в кольце R3 F = 1,516, p = 0,261. Для каждого из колец R1-R3 значение внутрисессионной вариабельности составило 5,5%, 4,2% и 4,9% соответственно (Рис. 3). Анализ взаимосвязи коэффициентов вариабельности латентности P1 в кольцах и минимального и базального диаметров разрыва не выявил значимой корреляции (R <0,17, p > 0,05).

При проведении фундус-контролируемой МП также наблюдали различия в регистрируемых значениях СЧ в разных точках предъявляемого паттерна (Рис. 4).

При четырехкратном проведении МП среднее значение СЧ в точке фиксации составило 15,96±3,3 дБ, при этом отличий между сессиями не выявлено (F=0,619, p = 0,825), а внутрисессионная вариабельность показателя составила 4,7% (Рис. 5). В кольце R2 среднее значение СЧ составило 23,85±5,99 дБ, показатели между сессиями значимо не отличались (F=0,114, p = 0,502), внутрисессионная вариабельность составила 3,5%. Среднее значение СЧ в кольце R3 составило 28,36±4,15 дБ, показатели между сессиями также значимо не отличались (F=0,896, p = 0,771), внутрисессионная вариабельность составила 2,3%. Анализ взаимосвязи коэффициентов вариабельности СЧ в кольцах и минимального и базального диаметров разрыва не выявил значимой корреляции (R <0,14, p > 0,05).

Среднее значение площади зоны фиксации, по данным 4 сессий, составило 13,3±7,1о2, между сессиями не было выявлено значимых различий (F = 1,015, p = 0,752), а внутрисессионная вариабельность составила 8,8%, при этом также не было выявлено значимой корреляции значений коэффициента вариации с минимальным и базальным диаметром разрыва (R = 0,11 и R = 0,08, p >0,05).

Наблюдаемые при проведении повторных исследований различия показателей могут быть связаны с различными факторами. При проведении мфЭРГ, например, оказывать влияние может изменение положения электродов или неодинаковое время адаптации, а при МП эффект обучения или функциональное состояние обследуемого в момент тестирования. Внутри каждого из методов исследования уже заложены приемы для снижения влияния различных факторов на результаты, в частности при об-

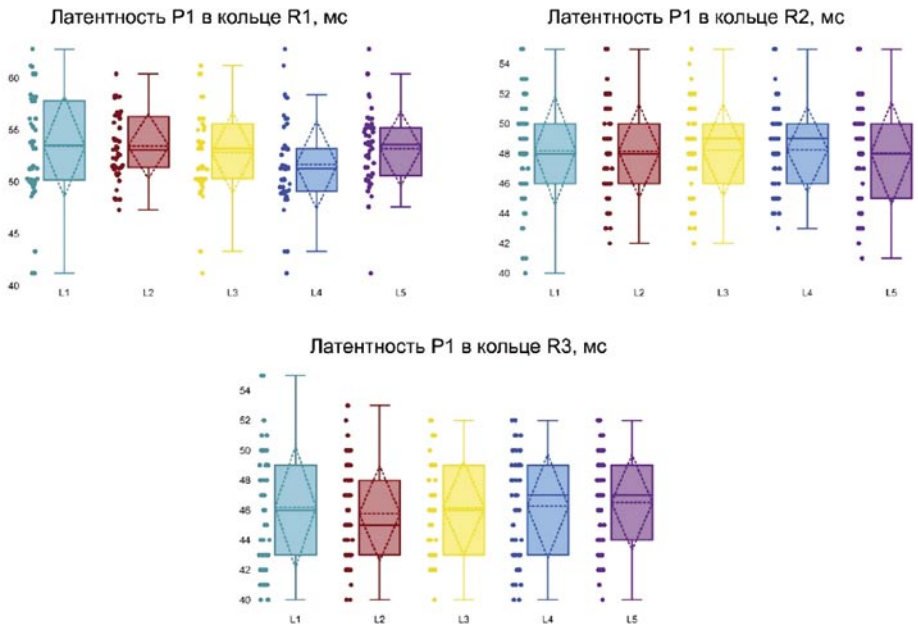


Рис. 2. Средние значения латентности P1 в кольцах R1-R3 при повторных исследованиях внутри сессии при проведении мфЭРГ у пациентов с СМР.

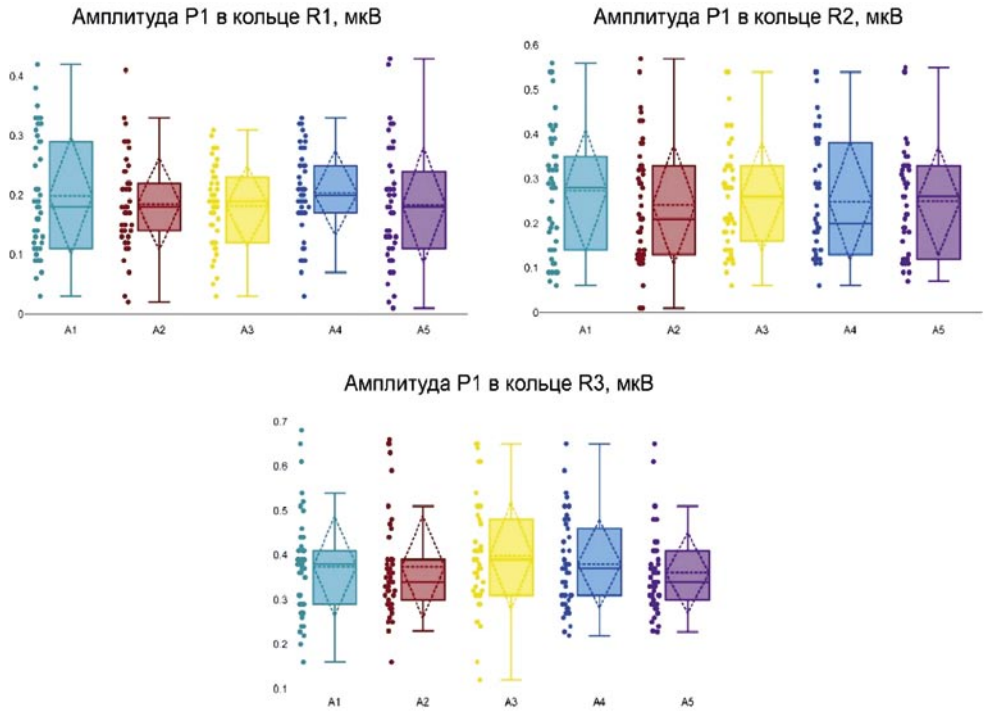


Рис. 3. Средние значения амплитуды P1 в кольцах R1-R3 при повторных исследованиях внутри сессии при проведении мфЭРГ у пациентов с СМР.

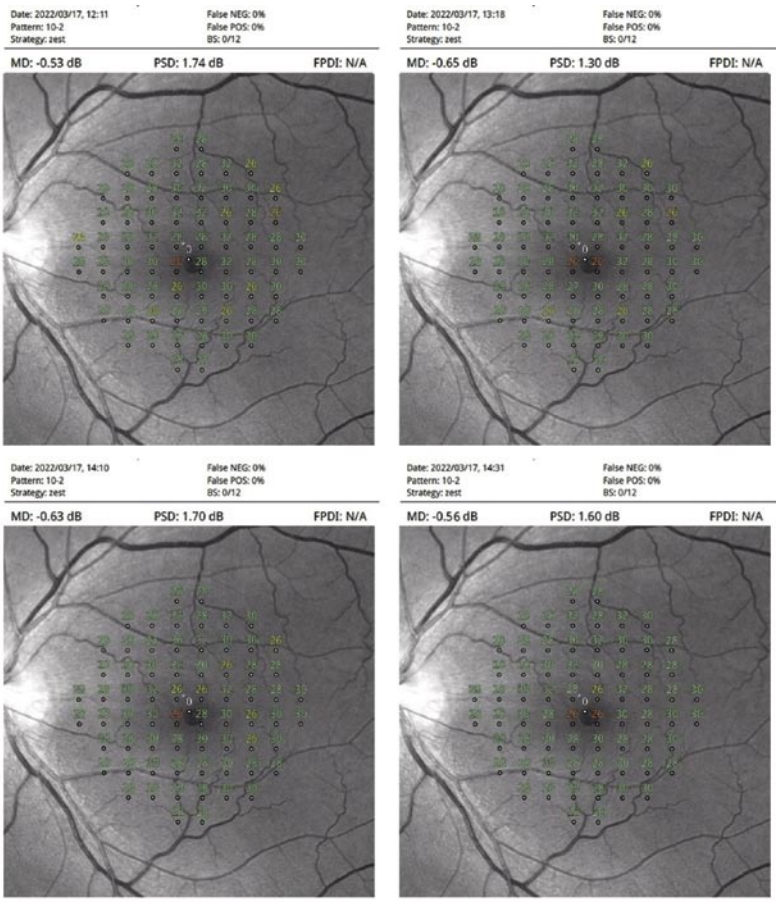


Рис. 4. Пример внутрисессионной вариабельности результатов фундус-контролируемой МП у пациента с СМР.

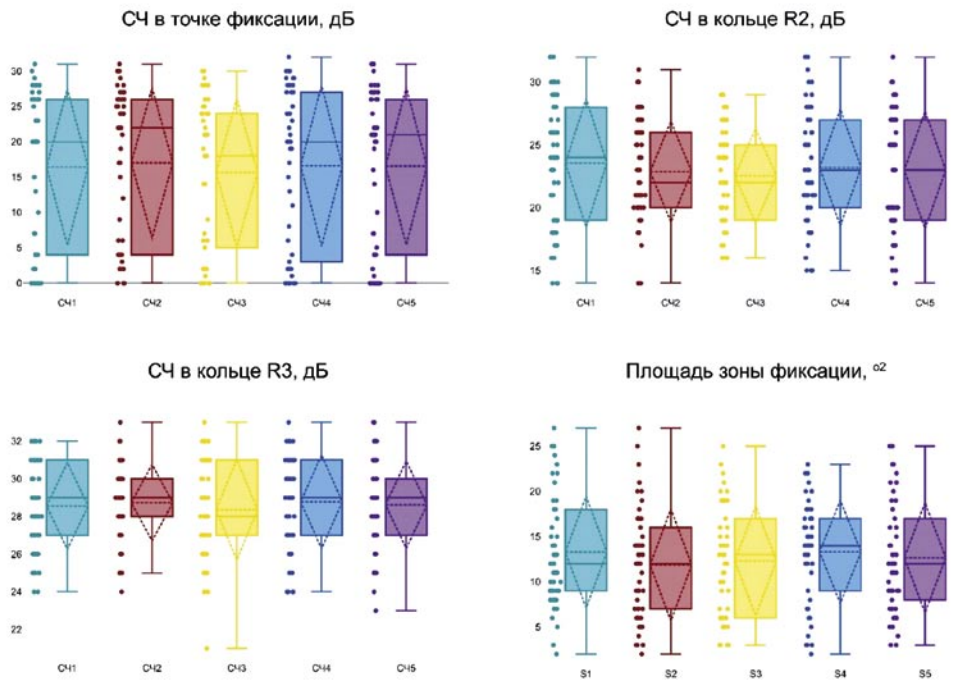


Рис. 5. Средние значения СЧ в тестируемых зонах и площади зоны фиксации при повторных тестированиях внутри сессии у пациентов с СМР.

работке и анализе результатов записи мфЭРГ используется усреднение многократно регистрируемого сигнала, а при МП повторное измерение СЧ в каждой точке и анализ ложноположительных и ложноотрицательных результатов. Полученные результаты свидетельствуют, что проведение исследований в рамках мультимодального топографически-ориентированного подхода на использованном нами оборудовании позволяет получать достаточно точные данные с низкой вариабельностью при повторных тестированиях, при этом отмеченная в исследовании вариабельность не связана со структурными параметрами СМР.

Заключение

Количественные показатели функциональных топографически-ориентированных исследований при повторных тестированиях могут изменяться, тем не менее, внутрисессионная вариабельность не влияет на проведение комплексного анализа состояния макулы при СМР.

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

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Куликов А.Н., Чурашов С.В., Попов Е.М. Методы лечения макулярного разрыва – история и перспективы // Вестник НМХЦ им. Н.И. Пирогова. – 2021. – №16(1). – С.135-138. [Kulikov AN, Churashov SV, Popov EV. Methods of treatment of macular hole: history and prospects. Bull Pirogov Natl Med Surg Cent. 2021; 16(1): 135-138. (In Russ.)] doi: 10.25881/BPNMSC.2021.14.53.026.
2. Самойлов А.Н., Хайбрахманов Т.Р., Фазлеева Г.А., Самойлова П.А. Идиопатический макулярный разрыв: история и современное состояние проблемы // Вестник офтальмологии. – 2017. – №133(6). – С.133-137. [Samoylov AN, Khaibrakhmanov TR, Fazleeva GA, Samoylova PA. Idiopathic macular hole: history and status quo review. Vestnik oftal'mologii. 2017; 133(6): 131-137. (In Russ.)] doi: 10.17116/oftalma20171336131-137.
3. Steel DHW, Lotery AJ. Idiopathic vitreomacular traction and macular hole: A comprehensive review of pathophysiology, diagnosis, and treatment. Eye. 2013; 27: S1-21. doi: 10.1038/eye.2013.212.
4. 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: 1043-52. doi: 10.1007/s10792-020-01662-4.
5. Шпак А.А., Шкворченко Д.О., Шарафетдинов И.Х., Юханова О.А. Функциональные результаты хирургического лечения идиопатических макулярных разрывов // Вестник офтальмологии. – 2016. – №132(2). – С.14-20. [Shpak AA, Shkvorchenko DO, Sharafetdinov IK, Yukhanova OA. Functional outcomes of idiopathic macular hole surgeries. Vestn Oftalmol. 2016; 132(2): 14-20. (In Russ.)] doi:10.17116/OFTALMA2016132214-20.
6. 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. – №16(4). – С.44-49. [Lyskin PV, Volodin PL, Makarenko IR. 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.)] doi:10.21516/2072-0076-2023-16-4-44-49.
7. Докторова Т.А., Суетов А.А., Бойко Э.В., Сосновский С.В. Мультимодальный топографически ориентированный подход к изучению сквозных макулярных разрывов // Вестник офтальмологии. – 2024. – №140(2). – С.14-23. [Doktorova TA, Suetov AA, Boiko E V., Sosnovskii S V. Multimodal topographically oriented approach to the study of full-thickness macular holes. Vestn Oftalmol. 2024; 140(2): 14-23. (In Russ.)] doi:10.17116/OFTALMA202414002114.
8. Hoffmann MB, Bach M, Kondo M, Li S, Walker S, Holopigian K, et al. ISCEV standard for clinical multifocal electroretinography (mfERG) (2021 update). Doc Ophthalmol. 2021; 142: 5-16. doi: 10.1007/s10633-020-09812-w.