



DOI 10.22363/2313-0245-2022-26-1-62-68

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ  
ORIGINAL ARTICLE

## Функциональное состояние сетчатки кроликов после воздействия низкочастотного ультразвука: анализ показателей электроретинограммы

А.С. Вафиев 

Башкирский государственный медицинский университет, г. Уфа, Российская Федерация  
ЗАО «Оптимедсервис», г. Уфа, Российская Федерация  
✉ [a.s.vafiev@gmail.com](mailto:a.s.vafiev@gmail.com)

**Аннотация.** *Актуальность.* В настоящее время несколькими группами ученых ведутся разработки по внедрению низкочастотного ультразвука в хирургию сетчатки и стекловидного тела, но нет достаточного количества работ по изучению функциональной активности сетчатки при воздействии данного вида энергии. Электрофизиологические методы исследования позволяют анализировать и оценивать безопасность, эффективность хирургических вмешательств, действие новых лекарственных средств на уровне нейронов и проводящих путей. Метод электроретинографии позволяет регистрировать биоэлектрическую активность нейронов сетчатки во время стимуляции светом при темновой и световой адаптации. *Цель.* Провести сравнительный анализ показателей а- и b- волны электроретинограммы кролика после экспериментального удаления стекловидного тела с помощью низкочастотного ультразвука и механического воздействия. *Материал и методы.* Были проведены эксперименты в двух группах кроликов породы Шиншилла (n=40). В экспериментальной группе хирургическое вмешательство по удалению стекловидного тела проводилось с помощью низкочастотного ультразвука, в контрольной группе применялся фрагментатор с гильотинным механизмом. До и после операции (1, 7, 14, 30 суток) проводилась запись электроретинограммы, измерялись параметры амплитуды и латентности а- и b- волны. *Результаты и обсуждение.* В обеих группах на 1 сутки наблюдалось резкое снижение всех параметров. В дальнейшем, на 7 сутки динамика латентности а- и b- волн несколько снижалась по сравнению с дооперационными значениями. На 14 сутках после воздействия амплитуда и пиковая латентность а- и b- волн в обеих группах оставалось на том же уровне что и на 7 сутки. На 30 сутки показатели возрастали, что говорит о восстановлении функций фоторецепторов и клеток Мюллера в обеих группах. Статистических значимых различий между исследуемыми группами на всех сроках исследования не выявлено. *Выводы.* Применение низкочастотного ультразвука для удаления стекловидного тела может считаться безопасным и имеет перспективы для дальнейшего развития и применения.

**Ключевые слова:** электроретинограмма, низкочастотный ультразвук, сетчатка

© Вафиев А.С., 2022



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License  
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

**Вклад авторов.** А.С. Вафиев — сбор и обработка материалов, анализ полученных данных, написание текста.

**Информация о конфликте интересов.** Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Поступила 10.12.2021. Принята 24.01.2022.

**Для цитирования:** Вафиев А.С. Функциональное состояние сетчатки кроликов после воздействия низкочастотного ультразвука: анализ показателей электроретинограммы // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Медицина. 2022. Т. 26. № 1. С. 62–68. doi: 10.22363/2313-0245-2022-26-1-62-68

## The rabbits retina functional state after exposure to low-frequency ultrasound: electroretinogram indicators analysis

Aleksander S. Vafiev 

Bashkir State Medical University, Ufa, Russian Federation  
CJSC «Optimedservice», Ufa, Russian Federation  
✉ a.s.vafiev@gmail.com

**Abstract. Relevance.** Currently, several groups of scientists are working on the implementation of low-frequency ultrasound in surgery of the retina and vitreous body. But there are not enough articles on the study of the functional activity of the retina when exposed to this type of energy. Electrophysiological research methods make it possible to analyze and evaluate the safety, effectiveness of surgical interventions, the effect of new drugs at the level of neurons and visual pathways. The electroretinography method makes it possible to record the bioelectrical activity of retinal neurons during light stimulation during dark and light adaptation. *The aim* of the study is to carry out a comparative analysis of the a- and b-wave indices of the rabbit electroretinogram after experimental removal of the vitreous body using low-frequency ultrasound and mechanical action. *Materials and Methods.* Experiments were carried out in two groups of Chinchilla rabbits (n = 40). In the experimental group, surgery to remove the vitreous body was performed using low-frequency ultrasound, in the control group a fragmentator with guillotine mechanism was used. Before and after the surgery (1, 7, 14, 30 days) an electroretinogram was recorded, the parameters of the amplitude and latency of the a- and b-waves were measured. *Results and Discussion.* In both groups, a sharp decrease in all parameters was observed on day 1. Later, on the 7th day, the dynamics of the latency of a- and b-waves slightly decreased than the preoperative values. On the 14th day after the exposure, the amplitude and peak latency of the a- and b- waves in both groups remained at the same level as on the 7th day. On the 30th day, the indicators increased, which indicates the restoration of the functions of photoreceptors and Mueller cells in both groups. There were no statistically significant differences between the study groups at all periods of the study. *Conclusion.* The use of low-frequency ultrasound for vitreous removal can be considered safe and has prospects for further development and application.

**Keywords:** electroretinogram, low-frequency ultrasound, retina

**Author contributions.** Vafiev A.S. — collecting and processing materials, analyzing the data obtained, writing text.

**Conflict of interest statement.** The author declares no conflict of interest.

Received 10.12.2021. Accepted 24.01.2022.

**For citation:** Vafiev AS. The rabbits retina functional state after exposure to low-frequency ultrasound: electroretinogram indicators analysis. *RUDN Journal of Medicine*. 2022;26(1):62–68. doi: 10.22363/2313-0245-2022-26-1-62-68

## Введение

На сегодняшний день самым распространенным методом хирургического лечения заболеваний сетчатки является удаление стекловидного тела с помощью механического воздействия [1–4]. Данный способ имеет определенные ограничения, например, уменьшение калибра фрагментатора ведет к снижению производительности системы. Однако технологии не стоят на месте, продолжается поиск медико-технических решений, направленных на уменьшение травматизации, повышение эффективности и безопасности хирургического лечения [5–7]. Актуальным является использование новых высокоэнергетических технологий, в частности перспективным методом является применение низкочастотного ультразвука.

Несколькими группами ученых предложено использование данного вида энергии, под воздействием которого стекловидное тело превращается в легкоудаляемую эмульсию [8–10]. Сотрудники кафедры офтальмологии с курсом ИДПО БГМУ и отдел микрохирургического оборудования ЗАО «Оптимедсервис» на базе отечественной офтальмохирургической системы «Оптимед Профи» разработали фрагментатор на основе ультразвуковых колебаний 32 кГц (РУ № ФСР 2011/11396 от 13.11.2013 г.), позволяющий проводить витрэктомии — удаление стекловидного тела [11–12]. Актуальным является проведение экспериментальных исследований для понимания характера воздействия низкочастотного ультразвука при интравитреальном воздействии на функциональное состояние сетчатки.

В настоящее время электрофизиологические исследования, в частности метод электроретинографии, являются одним из объективных методов оценки функционального состояния сетчатки, в частности фоторецепторов, нейронов первого и второго порядка, а также отражают биохимические и функциональные нарушения [13–17].

*Цель исследования* — провести сравнительный анализ показателей а- и в- волны электроретинограммы кролика после экспериментального удаления

стекловидного тела с помощью низкочастотного ультразвука и механического воздействия.

## Материал и методы

Эксперименты были проведены на 40 кроликах породы Шиншилла (средний возраст  $5 \pm 0,5$  месяцев). Опыты выполнялись в соответствии с правилами проведения работ с использованием экспериментальных животных (приказ Минвуза от 13 ноября 1984 г. № 724), «Европейской конвенцией о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях» от 18 марта 1986 г., также получено разрешение ЛЭК ФГБОУ ВО БГМУ МФ РФ от 18 октября 2017 г. Кроликов содержали в стандартных условиях вивария, на обычном пищевом рационе.

Все кролики были разделены на 2 группы. В экспериментальной группе ( $n=20$ ) была проведено вмешательство с помощью низкочастотного ультразвука (УЗ), рабочая частота инструмента имела составляла 32 кГц, в контрольной группе ( $n=20$ ) — гильотинный механизм (ГМ), частота резов составляла 6000 рез/мин.

Были проведены однотипные операции на оба глаза. Операции были выполнены одним хирургом на универсальной офтальмологической микрохирургической системе «Оптимед Профи» (ЗАО «Оптимедсервис», Россия).

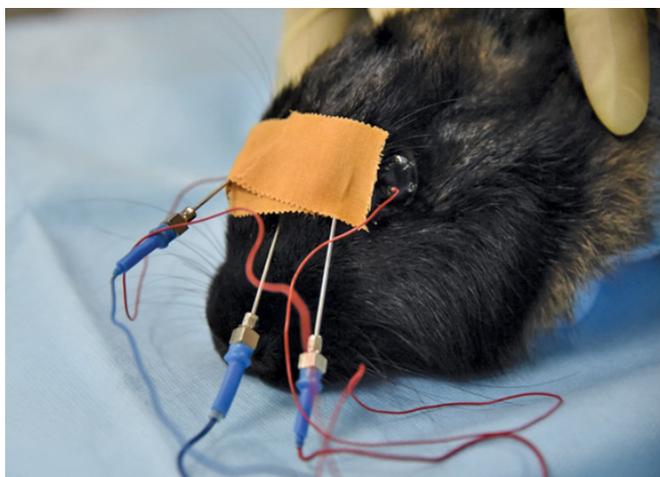
В полость глаза вводили фрагментатор калибра 25G (500 мкм) для удаления стекловидного тела (рис. 1). Самогерметизирующиеся порты устанавливались на 10, 12 и 14 часах. В обеих группах работали в течение 300 секунд. Выполняли удаление стекловидного тела с помощью ультразвука и механического воздействия.

До и после операции (1, 7, 14, и 30 сутки) в обеих группах кроликов проводилась запись электроретинограммы (ЭРГ) с помощью комплекса для электрофизиологических исследований Tomey ER-1000 (Япония). Все исследования проводились в стандартных условиях регистрации. Для записи и оценки палочковой, колбочковой системы и получения максимальных амплитуд и стабильных параметров латентности измерение проводили при

темновой и световой адаптации. Кроликам накладывались 3 электрода: заземляющий, референтный и линза-присоска на роговицу глаза (рис. 2). Импеданс на обоих глазах не превышал 4 кОм. Измерялась динамика и латентность а- и b- волн.



**Рис. 1.** Общий вид хирургического вмешательства  
**Fig. 1.** General view of the surgical intervention



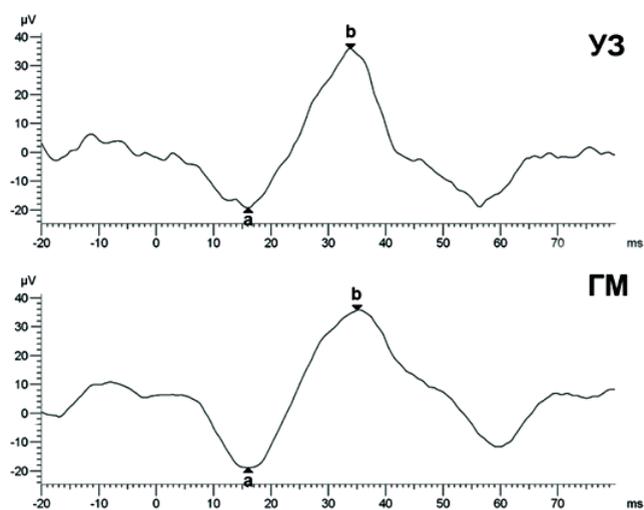
**Рис. 2.** Пример наложения электродов  
**Fig. 2.** Example of applying electrodes

Для статистической обработки использовался пакет Statistica v. 11, Statsoft (США). Результаты

представлены в виде  $M \pm Sd$ , где  $M$  — выборочное среднее,  $Sd$  — стандартное отклонение. Сравнение количественных показателей между группами проводилось с помощью непараметрического критерия Манна-Уитни, статистически значимыми различия считались при  $p < 0,05$ .

## Результаты и обсуждение

До вмешательства с помощью ультразвука и механического воздействия амплитудно-временные характеристики и форма электроретинограммы экспериментальной и контрольной групп кроликов обладали схожими параметрами и имели классический вид. Наблюдались хорошо выраженные а- и b- волны (рис. 3).



**Рис. 3.** Пример электроретинограммы кроликов в экспериментальной (УЗ) и контрольной (ГМ) группах до вмешательства

**Fig. 3.** An example of an electroretinogram of rabbits in the experimental (УЗ) and control (ГМ) groups before intervention

Значения амплитуды и латентности а- и b- волн в экспериментальной (УЗ) и контрольных группах (ГМ) представлены ниже.

Таблица 1

Показатели амплитуды и латентности а- и b- волн на всех сроках исследования (M±Sd)

		До операции	1 сутки	7 сутки	14 сутки	30 сутки
Амплитуда а- волны, мкВ	Экспериментальная группа (УЗ)	31,4±8,0	20,7±6,3	27,3±6,2	30,0±6,5	33,7±6,3
	Контрольная группа (ГМ)	32,3±7,2	21,6±5,8	27,3±5,7	33,2±5,5	34,4±6,2
Латентность а- волны, мс	Экспериментальная группа (УЗ)	15,5±1,3	16,2±1,9	11,9±1,2	14,9±1,1	14,6±1,5
	Контрольная группа (ГМ)	15,9±1,3	15,4±2,2	13,2±1,2	14,8±1,2	14,9±1,2
Амплитуда b- волны, мкВ	Экспериментальная группа (УЗ)	100,2±7,4	69,4±7,2	84,8±6,8	88,8±6,4	89,9±5,6
	Контрольная группа (ГМ)	101,0±7,0	71,2±6,3	85,7±6,6	89,9±6,2	90,9±6,1
Латентность b- волны, мс	Экспериментальная группа (УЗ)	42,8±8,3	32,5±6,4	33,2±6	34,9±6,1	44,8± 4,0
	Контрольная группа (ГМ)	45,2±6,8	34,2±6,2	34,1±5,7	34,9±6,4	44,8± 4,1

Table 1

Amplitude and latency of a- and b-waves at all periods of the study (M±Sd)

		Before surgery	1 day	7 day	14 day	30 day
a- waves amplitude, mKV	Experimental group (US)	31,4±8,0	20,7±6,3	27,3±6,2	30,0±6,5	33,7±6,3
	Control group (GM)	32,3±7,2	21,6±5,8	27,3±5,7	33,2±5,5	34,4±6,2
a- wave latency, ms	Experimental group (US)	15,5±1,3	16,2±1,9	11,9±1,2	14,9±1,1	14,6±1,5
	Control group (GM)	15,9±1,3	15,4±2,2	13,2±1,2	14,8±1,2	14,9±1,2
b- waves amplitude, mKW	Experimental group (US)	100,2±7,4	69,4±7,2	84,8±6,8	88,8±6,4	89,9±5,6
	Control group (GM)	101,0±7,0	71,2±6,3	85,7±6,6	89,9±6,2	90,9±6,1
b- wave latency, ms	Experimental group (US)	42,8±8,3	32,5±6,4	33,2±6	34,9±6,1	44,8± 4,0
	Control group (GM)	45,2±6,8	34,2±6,2	34,1±5,7	34,9±6,4	44,8± 4,1

Спустя сутки после воздействия в обеих группах исследования происходило уменьшение амплитуды и удлинение пиковой латентности а- и b- волн, что свидетельствовало о ухудшении функционального состояния колбочковых и палочковых фоторецепторов.

К 7 после воздействия амплитуда а- и b- волн в обеих группах исследования имела тенденцию к возрастанию, в свою очередь, пиковая латентность волн сохранялась, что говорит о незначительном восстановлении функциональных свойств фоторецепторов.

К 14 суткам после воздействия амплитуда и пиковая латентность а- и b- волн в обеих группах оставалось на том же уровне что и на 7 сутки.

На 30 сутки после воздействия амплитуда и пиковая латентность а- и b- волн электроретинограммы восстановились до уровня дооперационных значений как в группе экспериментальных животных, так и в контрольной. Это может говорить о функциональном восстановлении фоторецепторов и клеток Мюллера.

В результате сравнения амплитуды и латентности а- и b- волн на 1, 7, 14, 30 сутки между двумя группами не было выявлено статистических значимых различий ( $p < 0,05$ ).

Таким образом, после проведения вмешательства с помощью низкочастотного ультразвука и гильотинного механизма отмечалось снижение амплитудно-временных характеристик на 1 сутки с последующим постепенным восстановлением к 30 суткам. Статистически значимых различий между группами на всех сроках исследования не наблюдалось.

## Выводы

Исходя из сравнительного анализа показателей а- и b- волн электроретинограммы кролика после экспериментального удаления стекловидного тела с помощью низкочастотного ультразвука и механического воздействия не выявлено статистических различий. Таким образом, основываясь на проведенной электрофизиологической оценке, можно заключить, что применение низкочастотного ультразвука для удаления стекловидного тела может считаться безопасным и имеет перспективы для дальнейшего развития и применения.

## Библиографический список

1. Charles S., Calzada J., Wood B. *Vitreous Microsurgery* // Lippincott Williams & Wilkins, a Wolters Kluwer business. 2011. 259 p.
2. Saxena S., Meyer C.H., Ohji M., Akduman L. *Vitreoretinal surgery* // London: Jaypee Brothers Medical Publishers. 2012. 442 p.
3. Ильюхин О.Е., Фролов М.А., Игнатенко К.В. Функциональные результаты хирургического лечения отслойки сетчатки // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Медицина. 2020. Т. 24. № 2. С. 156—162. doi: 10.22363/2313-0245-2020-24-2-156-162

4. Халимов Т.А. Особенности ангиогенеза при заболеваниях глаз // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Медицина. 2021. Т. 25. № 2. С. 106—113. doi: 10.22363/2313-0245-2021-25-2-106-113
5. Pavlidis M. Two-Dimensional Cutting (TDC) Vitrectome: In vitro flow assessment and prospective clinical study evaluating core vitrectomy efficiency versus standard vitrectome // *Hindawi Journal of Ophthalmology*. 2016. P. 1—6. doi: 10.1155/2016/3849316
6. Mohamed S., Claes C., Tsang C.W. Review of Small Gauge Vitrectomy: Progress and Innovations // *Hindawi Journal of Ophthalmology*. 2017. P. 1—9. doi: 10.1155/2017/6285869
7. Pastor-Idoate S., Bonshek R., Irion L., Zambrano I., Carlin P., Mironov A. et al. Ultrastructural and histopathologic findings after pars plana vitrectomy with a new hypersonic vitrector system. Qualitative preliminary report // *PLOS one*. 2017. № 4. P. 1—16. doi: 10.1371/journal.pone.0173883
8. Aznabaev B.M., Dibaev T.I., Mukhamadeev T.R., Vafiev A.S., Shavaliyev I. Kh. Twenty-five gauge ultrasonic vitrectomy: experimental and clinical performance analysis // *Retina*. 2020. № 7. P. 1443—1450. doi: 10.1097/IAE.0000000000002863
9. Stanga P.E., Pastor-Idoate S., Zambrano I., Carlin P., McLeod D. Performance analysis of a new hypersonic vitrector system // *Plos One*. 2017. № 12. P. 1—15. doi: 10.1371/journal.pone.0178462
10. Wuchinich D. Ultrasonic vitrectomy instrument // *Physics Procedia*. 2015. № 63. P. 217—222. doi: 10.1016/j.phpro.2015.03.035
11. Азнабаев Б.М., Дибаяев Т.И., Мухамадеев Т.Р., Вафиев А.С., Шавалиев И.Х. Ультразвуковая витрэктомия: исследование скорости удаления стекловидного тела в эксперименте и клинике // *Практическая медицина*. Т. 16. № 4. С. 56.
12. Азнабаев Б.М., Дибаяев Т.И., Мухамадеев Т.Р., Рахимов А.Ф. Экспериментальное исследование производительности ультразвукового витреотома // *Катарактальная и рефракционная хирургия*. 2017. Т. 17. № 2. С. 48—51.
13. Зуева М.В. Фундаментальная офтальмология: роль электрофизиологических исследований // *Вестник офтальмологии*. 2014. № 6. С. 28—29.
14. Мухамадеев Т.Р., Ахмадеев Р.Р. Светоиндуцированная суммарная электрическая активность сетчатки при моделировании некоторых патологических процессов in vivo и in vitro // *Саратовский научно-медицинский журнал*. 2018. Т. 14. № 4. С. 903—909.
15. Кошелев Д.И. Корреляции параметров электроретинограммы, аксиальной длины глаза и остроты зрения при эмметропии у человека // Автореф. дис. канд. биол. наук. — Санкт-Петербург. 2004. 20 с.
16. Куликов А.Н., Сосновский С.В., Николаенко Е.Н. Анализ динамики электрогенеза сетчатки и зрительного нерва после витрэктомии по поводу осложнённой хирургии катаракты // *Офтальмологические ведомости*. 2018. Т. 11. № 3. С. 34—47. doi: 10.17816/OV11334-47
17. Ахмадеев Р.Р., Тимербулатов И.Ф., Кошелев Д.И., Евтушенко Е.М., Тимербулатова М.Ф. Критическая частота слияния мельканий и зрительные вызванные потенциалы при компьютерной нагрузке // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Медицина*. 2019. Т. 23. № 2. С. 178—186. doi: 10.22363/2313-0245-2019-23-2-178-186

## References

1. Charles S, Calzada J, Wood B. Vitreous Microsurgery. *Lippincott Williams & Wilkins, a Wolters Kluwer business*. 2011. 259 p.
2. Saxena S, Meyer CH, Ohji M, Akduman L. Vitreoretinal surgery. *London: Jaypee Brothers Medical Publishers*. 2012. 442 p.
3. Ilyukhin OE, Frolov MA, Ignatenko KV. Functional results of surgical treatment of retinal detachment. *RUDN Journal of Medicine*. 2020;24(2):156—162. doi: 10.22363/2313-0245-2020-24-2-156-162
4. Khalimov TA. Features of angiogenesis in eye diseases. *RUDN Journal of Medicine*. 2021;25(2):106—113. doi: 10.22363/2313-0245-2021-25-2-106-113
5. Pavlidis M. Two-Dimensional Cutting (TDC) Vitrectome: In vitro flow assessment and prospective clinical study evaluating core vitrectomy efficiency versus standard vitrectome. *Hindawi Journal of Ophthalmology*. 2016;1—6. doi: 10.1155/2016/3849316
6. Mohamed S, Claes C, Tsang CW. Review of Small Gauge Vitrectomy: Progress and Innovations. *Hindawi Journal of Ophthalmology*. 2017;1—9. doi: 10.1155/2017/6285869
7. Pastor-Idoate S, Bonshek R, Irion L, Zambrano I, Carlin P, Mironov A. et al. Ultrastructural and histopathologic findings after pars plana vitrectomy with a new hypersonic vitrector system. Qualitative preliminary report. *PLOS one*. 2017;4:1—16. doi: 10.1371/journal.pone.0173883
8. Aznabaev BM, Dibaev TI, Mukhamadeev TR, Vafiev AS, Shavaliyev IKh. Twenty-five gauge ultrasonic vitrectomy: experimental and clinical performance analysis. *Retina*. 2020;7:1443—1450. doi: 10.1097/IAE.0000000000002863
9. Stanga PE, Pastor-Idoate S, Zambrano I, Carlin P, McLeod D. Performance analysis of a new hypersonic vitrector system. *Plos One*. 2017;12:1—15. doi: 10.1371/journal.pone.0178462
10. Wuchinich D. Ultrasonic vitrectomy instrument. *Physics Procedia*. 2015;63:217—222. doi: 10.1016/j.phpro.2015.03.035
11. Aznabaev BM, Dibaev TI, Mukhamadeev TR, Vafiev AS, Shavaliyev IKh. Ultrasonic vitrectomy: performance evaluation in experimental and clinical conditions. *Practical Medicine*. 2018; 6(4):56—62.
12. Aznabaev BM, Dibaev TI, Mukhamadeev TR, Rakhimov AF. Experimental study of the performance of an ultrasound vitrectome. *Cataract and refractive surgery*. 2017;17(2):48—51.
13. Zueva MV. Fundamental ophthalmology: the role of electrophysiological research. *Bulletin of ophthalmology*. 2014;6:28—29.
14. Mukhamadeev TR, Ahmadeev RR. Light-induced total electrical activity of retina in models of particular disorders in vivo and in vitro. *Saratov journal of medical scientific research*. 2018;14(4):903—909.
15. Koshelev DI. Correlation of parameters of electroretinogram, axial length of the eye and visual acuity in emmetropia in humans. *PhD Thesis*. St. Petersburg. 2004. 20 p.
16. Kulikov AN, Sosnovskiy SV, Nikolaenko EN. Analysis of the dynamics of retinal and optic nerve electrogenesis after vitrectomy for complicated cataract surgery. *Ophthalmologicheskie vedomosti*. 2018;11(3):34—47. doi: 10.17816/OV11334-47
17. Akhmadeev RR, Timerbulatov IF, Koshelev DI, Evtushenko EM, Timerbulatova MF. Critical Frequency of Flicker Merging and Visual Potentials under Computer Load. *RUDN Journal of Medicine*. 2019;23(2):178—186. doi: 10.22363/2313-0245-2019-23-2-178-186

**Ответственный за переписку:** Вафиев Александр Сергеевич — старший лаборант кафедры офтальмологии Башкирского государственного медицинского университета, Российская Федерация, 490059, г. Уфа, ул. 50 лет СССР, д. 8. E-mail: a.s.vafiev@gmail  
SPIN-код 2185-0466; ORCID 0000-0002-0541-3248

**Corresponding author:** Aleksandr S. Vafiev — senior laboratory assistant of the Department of Ophthalmology of Bashkir State Medical University, 490059, 50 let USSR st., 8, Ufa, Russian Federation. E-mail: a.s.vafiev@gmail.com  
ORCID 0000-0002-0541-3248