

7. Mokhnacheva S.A. et al. Sovremennye predstavleniya o probleme progressirovaniya miopii [Modern views on the problem of progression of myopia] Vestnik Soveta molodykh uchenykh i spetsialistov Chelyabinskoy oblasti [Bulletin of the Council of young scientists and specialists of the Chelyabinsk region], 2014; 1-2: 60-65. (in Russ.).
8. Ruban, E.D. Glaznye bolezni (Eye diseases). Rostov-na-Donu: Feniks, 2017, 398 p. (in Russ.).
9. Zejmo M. et al. Etiopathogenesis and management of high myopia. Part II. Med. Sci.Monit. 2009; 15(11): 252–255. (in English).
10. Gentle A. et al. Collagen gene expression and the altered accumulation of scleral collagen during the development of high myopia. J. Biol. Chem. 2003; 278(19): 16587–16594. (in English).
11. Gabdrakhmanova, A.F., Mavletdinov L.M., Bатыршин R.A. Analysis of eye morbidity structure for out patient service polyclinic № 33 of Ufa for 2012-2015. Bashkortostan Medical Journal. 2016; 1: 102-104. (in Russ.).
12. Gabdrakhmanova, A.F., Zinnatullina L.N. Analysis of the results of treatment of high myopia in adults. Bashkortostan Medical Journal. 2016; 1: 88-90. (in Russ.).
13. Katargina L. A. Akkomodatsiya (Accommodation), M. 2012, 136 p. (in Russ.).
14. Denner, V.A. et al. Nauchnyi obzor voprosa detskoj invalidnosti kak mediko-sotsial'noi problemy (Scientific review of the issue of child disability as a medico-social problem). Molodoi uchenyi [Young Scientist]. 2016; (20): 71-75.
15. Nefedovskaya, L.V. Terletskaya R.N. Prevalence of invalidities connected with child eye diseases. Current pediatrics. 2008; 7(2): 9-12. (in Russ.).
16. Dirani, M. Shekar S.N., Baird P.N. Adult-onset myopia: the Genes in Myopia (GEM) twin study. Invest Ophthalmol Vis Sci. 2008; 49(8): 3324–3327. (in English).
17. He M. et al. Shared genetic determinant of axial length, anterior chamber depth, and angle opening distance: the Guangzhou Twin Eye Study. Invest Ophthalmol Vis Sci. 2008; 49 (11): 4790–4794. (in English).
18. Tkatchenko, A.V. et al. APLP2 Regulates Refractive Error and Myopia Development in Mice and Humans. PLoS Genet, № 11(8). e1005432.doi:10.1371/journal.pgen.1005432. (in English).

УДК 617.747-007.281-073.75

© А.С. Вафиев, Т.И. Дибаяев, Б.М. Азнабаев, 2018

А.С. Вафиев¹, Т.И. Дибаяев^{1,2}, Б.М. Азнабаев²
**РОЛЬ ЭЛЕКТРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ
 В ДИАГНОСТИКЕ ЗАБОЛЕВАНИЙ СЕТЧАТКИ И ЗРИТЕЛЬНОГО НЕРВА**

¹ЗАО «Оптимедсервис», г. Уфа

²ФГБОУ ВО «Башкирский государственный медицинский университет»
 Минздрава России, г. Уфа

Одними из важных компонентов диагностики заболеваний сетчатки и зрительного нерва являются электрофизиологические исследования. Электрофизиологические исследования помогают изучить функциональные аспекты патогенеза заболеваний благодаря пониманию механизмов, которые лежат в основе передачи электрохимического импульса, возникающего в ответ на световые стимулы. Применение данной группы функциональных исследований позволяет накапливать и расширять знания о патологии сетчатки и зрительного нерва, благодаря чему возможны более точная диагностика, прогнозирование течения заболевания, изучение ответа на терапию и оценка результатов хирургического вмешательства.

В данном обзоре рассмотрены основные экспериментальные и клинические методы электрофизиологических исследований, используемые в настоящее время.

Ключевые слова: электрофизиологические исследования, электроретинография, зрительные вызванные потенциалы, электроокулография.

A.S. Vafiev, T.I. Dibaev, B.M. Aznabaev
**THE ROLE OF ELECTROPHYSIOLOGICAL STUDIES
 IN THE DIAGNOSIS OF DISEASES OF THE RETINA AND OPTIC NERVE**

A large number of diagnostic methods in ophthalmology allow to understand and further explore the mechanisms of the development of various pathologies of retina and optic nerve. One of the important components of the diagnosis of this pathology is electrophysiological studies. Electrophysiological studies help to understand the functional aspects of the pathogenesis of diseases, due to an understanding of the mechanisms that underlie the transfer of the electrochemical impulse that arises in response to light stimuli. The use of functional research allows to accumulate and expand knowledge about the pathology of the retina and optic nerve, makes possible the precise diagnostics, predict the disease, study the response to therapy, and evaluate the results of surgical treatment.

In this review, the main experimental and clinical methods of electrophysiological research used at present are considered.

Key words: electrophysiological studies, electroretinography, visually evoked potentials, electrooculography.

Электрофизиологические исследования (ЭФИ) позволяют проводить дифференциальную диагностику различных заболеваний сетчатки и зрительного нерва, таких как кортикальная слепота, токсическая нейропатия, диабетическая ретинопатия, заболевания ретинального пигментного эпителия, глаукома [5,8,10].

Электрофизиологические методы играют огромную роль в экспериментальном аспекте, позволяя изучать патофизиологические

механизмы заболеваний сетчатки и зрительного нерва. Во время моделирования патологических процессов у экспериментальных животных ЭФИ дают возможность анализировать степень безопасности новых лекарственных средств и хирургических вмешательств, позволяют определить безопасность для нейронов и проводящих путей, провести подбор оптимальных доз, а также оценку их эффективности [2].

Различают ряд общих электрофизиологических методов исследования, которые включают в себя:

- стандартные и специализированные методы регистрации различных видов электроретинограммы (ЭРГ) на вспышки и паттерн;
- стандартные и специализированные методы регистрации зрительных вызванных потенциалов (ЗВП);
- электроокулографию.

Электроретинография является методом регистрации биоэлектрической активности нейронов сетчатки при стимуляции светом в различных условиях (темновая и световая адаптация). Результат исследования выражается в виде графика, который состоит из негативной а-волны, позитивной b-волны, а также других волн (с-волна, d-волна, осцилляторные потенциалы). В клинической практике наиболее часто оценивают временные показатели (в том числе амплитуду) а-волн и b-волн ЭРГ. Известно, что негативная а-волна генерируется двумя видами фоторецепторов и имеет двойное происхождение. Два вида фоторецепторов связаны с активностью фотопической и скотопической систем сетчатки [7]. За негативной а-волной следует позитивная b-волна, которая характеризует активность деполяризующихся биполярных клеток и глиальных клеток Мюллера [3]. С помощью ЭРГ возможно определение аномалий фоторецепторов, нейронов внутреннего ядерного слоя и ганглиозных клеток [11,12].

К стандартным методам ЭРГ относят регистрацию паттерн-ЭРГ, ганцфельд-ЭРГ на короткие вспышки и мультифокальную ЭРГ [13]. Также в зависимости от локализации повреждения используют специализированные методы ЭРГ: фокальная ЭРГ для определения повреждений макулы, скотопическая ритмическая ЭРГ в спектре частот для определения повреждений палочковой системы, анализ показаний осцилляторных потенциалов, фотопической и скотопической (на стандартном световом фоне и в условиях темновой адаптации) ритмической ЭРГ для выявления повреждения средних слоев сетчатки [5,7,10].

Осцилляторные потенциалы – это 4–6 небольших волн (осцилляций) видимых в норме на восходящей части b-волны. Многочисленные исследования показали, что изменения осцилляторных потенциалов служат ранним индикатором эпизодов ишемии при различных заболеваниях сетчатки, например диабетической ретинопатии [3, 9]. Исследование осцилляторных потенциалов имеет

огромное значение в оценке функционального состояния сетчатки при глаукоме [2,4,14].

Наряду с ЭРГ большую роль играют исследования зрительных вызванных потенциалов (ЗВП). ЗВП – это записанные биопотенциалы, возникающие в ответ на световой импульс на фоне электроэнцефалографической активности зрительной коры. ЗВП зависят от всей функциональной целостности центрального зрения на любом уровне: сетчатки, зрительного нерва, зрительного тракта, затылочной коры. ЗВП отражают активность зрительной системы, поэтому их изменения позволяют с высокой точностью диагностировать патологические состояния, сопровождающиеся нарушением функции макулярной области [1]. Анализ изменений форм графика амплитуды и латентности ЗВП показывают состояние и степень сохранности зрительных функций, служат для дополнения данных, полученных с помощью ЭРГ, а также в тех случаях, когда регистрация показателей ЭРГ невозможна, являются единственным источником информации [6].

Стандартные методы ЗВП включают в себя: ЗВП на вспышку; ЗВП на реверсивный паттерн (шахматное поле); ЗВП на включение – выключение паттерна.

Регистрация зрительных вызванных потенциалов помогает определить состояние зрительного нерва при черепно-мозговых травмах, глаукоме, ишемических оптических нейропатиях, помутнениях оптических сред [7].

В основе электроокулографии (ЭОГ) лежит регистрация постоянного потенциала (ПП) глаза, который регистрируется при длительной стимуляции сетчатки. Источником ПП является ретинальный пигментный эпителий, при этом постоянный потенциал зависит от изменения освещенности. В клинической электроокулограмме амплитуду постоянного потенциала измеряют в темноте и на свету (световой пик) и рассчитывают отношение максимальной амплитуды в темноте (темновой спад), который называется коэффициентом Ардена [5].

Заболевания сетчатки, которые имеют аномальный график ЭОГ, практически всегда имеют аномальные результаты показаний ЭРГ. В основном ЭОГ применяется в диагностике макулострофии. Электроокулография позволяет выявлять диффузные расстройства ретинального пигментного эпителия и фоторецепторов при палочковой дисфункции, хориоретинальной атрофии и воспалении. При дистрофических заболеваниях сетчатки ре-

зультаты тестов ЭОГ имеют огромную диагностическую ценность [5,7].

Потенциалы электроокулографии и электроретинографии имеют разное происхождение и при различных заболеваниях могут вести себя по-разному. Но для получения более конкретной картины патологии рекомендуется проводить совместную регистрацию потенциалов ЭОГ и ЭРГ [7].

Исходя из вышеперечисленного можно утверждать, что электрофизиологические ис-

следования являются эффективными в диагностике патологии сетчатки, зрительного нерва и всего зрительного анализатора в целом. Анализ результатов электрофизиологических методов позволяет определить функциональное состояние слоев сетчатки, ее электрогенез. В совокупности с такими методами, как офтальмоскопия, оптическая когерентная томография и т.д., ЭФИ помогают улучшить и углубить диагностику широкого спектра офтальмологических заболеваний.

Сведения об авторах статьи:

Вафиев Александр Сергеевич – младший научный сотрудник ЗАО «Оптимедсервис». Адрес: 450059, г. Уфа, ул. 50 лет СССР, 8.

Дибяев Тагир Ильдарович – к.м.н., ассистент кафедры офтальмологии с курсом ИДПО ФГБОУ ВО БГМУ Минздрава России, врач-офтальмолог ЗАО «Оптимедсервис». Адрес: 450059, г. Уфа, ул. 50 лет СССР, 8. Тел./факс: 8(347)277-60-60. E-mail: office@optimed-ufa.ru.

Азнабаев Булат Маратович – д.м.н., профессор, зав. кафедрой офтальмологии с курсом ИДПО ФГБОУ ВО БГМУ Минздрава России. Адрес: 450008, г. Уфа, ул. Ленина, 3. Тел./факс: 8(347)275-97-65.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зеленцов, С.Н. Зрительно вызванные потенциалы при контузии глазного яблока / С.Н. Зеленцов: сб. научн. трудов МНИИГБ им. Гельмгольца. – М., 1993. – С. 37-39.
2. Зуева, М.В. Фундаментальная офтальмология: роль электрофизиологических исследований / М.В. Зуева // Вестник офтальмологии. – 2014. – № 6. – С. 28-29.
3. Ишемические аспекты патогенеза заболеваний сетчатки / В.В. Нероев [и др.] // Российский офтальмологический журнал. – 2010. – Т. 3, № 1. – С. 42-49.
4. Классификация окуло-окулярных реакций при тяжелой механической травме глаза по данным электрофизиологических и иммунологических исследований / М.В. Зуева [и др.] // Рефракционная хирургия и офтальмология. – 2007. – Т. 7, № 1. – С. 35-41.
5. Офтальмология: национальное руководство. Краткое издание / С.Э. Аветисов [и др.]. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2014. – 160 с.
6. Рзаева, Н.М. Зрительная кора и ее участие в регуляции функции сетчатки / Н.М. Рзаева, А.И. Дмитренко // Вестник офтальмологии. – 2013. – № 3. – С. 4-9.
7. Шамшинова, А.М. Функциональные методы исследования в офтальмологии / А.М. Шамшинова, В.В. Волков. – М.: Медицина, 1999. – 133 с.
8. Assessing hydroxychloroquine toxicity by the multifocal ERG / M. N. Moschos [et al.] // Doc. Ophthalmol. – 2004. – Vol. 108. – P. 47-53.
9. Changes of Oscillatory Potentials and Photopic Negative Response in Patients with Early Diabetic Retinopathy / J. Kizawa [et al.] // Jap J. Ophthalmol. – 2006. – Vol. 50. – P. 367-373.
10. Electrophysiology in Glaucoma Assessment / S.L. Graham [et al.] // Glaucoma – 2015. – Vol. 2. – P. 149-168.
11. Gregor, B. Electroretinogram in Hereditary Retinal Disorders (2011) [Электронный ресурс] – URL: <https://www.intechopen.com/books/electroretinograms/electroretinogram-in-hereditary-retinal-disorders>. (Accessed February 8, 2018)
12. New views on RPE65 deficiency: the rod system is the source of vision in a mouse model of Leber congenital amaurosis / M. Seeliger [et al.] // Nature Genetics. – 2001. – Vol. 29. – P. 70-74.
13. Simple and efficient: validation of a cotton wick electrode for animal electroretinography / K. Chekroud [et al.] // Ophthalmic Research. – 2011. – Vol. 45. – P. 174-9.
14. The outer and inner retinal function in patients with multiple evanescent white dot syndrome / J. Y. Cheng [et al.] // Clin. Experiment Ophthalmol. – 2009. – Vol. 37. – P. 478-484.

REFERENCES

1. Zelencov, S.N. Zritel'no vyzvannye potentsialy pri kontuzii glaznogo jabloka [Visually evoked potentials in the concussion of the eyeball] Sb. nauchn. trudov MNIIGB im. Gel'mgol'tsa [sat. scientific. proceedings of MNHB them. Helmholtz's]. Moscow, 1993: 37–39. (in Russ.).
2. Zueva, M.V. Fundamental ophthalmology: the role of electrophysiological studies. Vestnik oftal'mologii. 2014; (6): 28-29. (in Russ.).
3. Neroyev V.V. et al. Ischemic aspects in pathogenesis of retinal diseases. Russian Ophthalmological Journal. 2010; 3(1): 42-49. (in Russ.).
4. Zueva M. V. et al. The classification of oculo-ocular reactions after severe mechanical ocular trauma by the data of electrophysiological and immunological examinations // Cataract and Refractive Surger. 2007; 7(1): 35-41. (in Russ.).
5. Avetisov S.Je. et al. Oftal'mologija. Nacional'noe rukovodstvo. Kratkoe izdanie [Ophthalmology: national leadership]. Moscow, GEOTAR-Media. 2014: 160. (in Russ.).
6. Rzaeva, N.M., Dmitrenko A.I. Visual cortex and its participation in retinal function regulation. Vestnik oftal'mologii. 2013; 3: 4-9. (in Russ.).
7. Shamshinova A.M., Volkov V.V. Funkcional'nye metody issledovanija v oftal'mologii [Functional methods of research in ophthalmology]. Moscow, Medicina, 1999: 133. (in Russ.).
8. Moschos M. N. et al. Assessing hydroxychloroquine toxicity by the multifocal ERG. Doc. Ophthalmol. 2004; 108: 47-53. (in English).
9. Kizawa J. et al. Changes of Oscillatory Potentials and Photopic Negative Response in Patients with Early Diabetic Retinopathy. Jap J. Ophthalmol. 2006; 50: 367-373. (in English).
10. Graham S.L. et al. Electrophysiology in Glaucoma Assessment. Glaucoma. 2015; 2: 149-168. (in English).
11. Gregor, B. Electroretinogram in Hereditary Retinal Disorders (2011). Available at: <https://www.intechopen.com/books/electroretinograms/electroretinogram-in-hereditary-retinal-disorders>. (Accessed February 8, 2018). (in English).
12. Seeliger M. et al. New views on RPE65 deficiency: the rod system is the source of vision in a mouse model of Leber congenital amaurosis. Nature Genetics. 2001; 29: 70-74. (in English).
13. Chekroud K. et al. Simple and efficient: validation of a cotton wick electrode for animal electroretinography. Ophthalmic Research. 2011; 45(4): 174-9. (in English).
14. Cheng J. Y. et al. The outer and inner retinal function in patients with multiple evanescent white dot syndrome. Clin. Experiment Ophthalmol. 2009; 37: 478-484. (in English).