

УДК 617.7–06:616.831

DOI: 10.17238/PmJ1609-1175.2018.2.70–73

## Особенности ритмической активности головного мозга при заболеваниях глаз

Я.Ф. Пестрякова<sup>1</sup>, А.А. Рыбченко<sup>2</sup>, Г.А. Шабанов<sup>2</sup>, Т.С. Запорожец<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Медицинское объединение Дальневосточного отделения Российской академии наук (690022, г. Владивосток, ул. Кирова, 95), <sup>2</sup> Научно-исследовательский центр «Арктика» Дальневосточного отделения Российской академии наук (690022, г. Владивосток, ул. Кирова, 95), <sup>3</sup> НИИ эпидемиологии и микробиологии им. Г.П. Сомова (690087, г. Владивосток, ул. Сельская, 1)

Изучена биоэлектрическая активность головного мозга у пациентов с различными заболеваниями органа зрения (глаукомой, миопией, возрастной макулодистрофией, катарактой). Исследование проводилось на электроэнцефалографе марки «Нейрон-спектр-1» с применением специализированного пакета прикладных программ по спектральному анализу ритмической активности головного мозга человека. Применялась технология регистрации глобальной ритмической активности мозга с узкополосной фильтрацией и большим временем суммации с выделением преимущественно длительно текущих ритмических колебаний в частотном спектре от 0,1 до 30 Гц. Для различных глазных заболеваний выявлены характерные особенности спектра биоэлектрической активности головного мозга, что позволяет разрабатывать дополнительные критерии для ранней диагностики офтальмологических заболеваний.

**Ключевые слова:** биоэлектрическая активность головного мозга, возрастная дегенерация макулы, глаукома, катаракта

По данным федеральной статистики [1], в структуре глазной патологии болезни хрусталика занимают второе место после нарушений аккомодации, а глаукома и дегенерация макулы – четвертое и пятое места, соответственно. Доля лиц пожилого возраста преобладает как в структуре общей офтальмологической заболеваемости, так и в структуре наиболее часто встречающихся офтальмопатологий. У лиц старше трудоспособного возраста катаракта регистрируется в 32,1 %, глаукома – в 14,5 %, возрастная дегенерация макулы – в 2,3 % случаев. Это свидетельствует о необходимости активной профилактики данной патологии среди людей более молодого возраста.

В современной офтальмологии актуальной задачей считается поиск результативных и безопасных методов диагностики и лечения. Важность ранней диагностики патологии глаз трудно переоценить, так как успех в лечении многих болезней здесь зависит от сроков обнаружения – выявления на этапе обратимых изменений.

Цель настоящего исследования – выявление отклонений в биоэлектрической активности головного мозга на ранних стадиях заболеваний, наиболее часто приводящих к слабовидению и слепоте.

### Материал и методы

Основная группа наблюдения: больные первичной открытоугольной глаукомой (50 человек), миопией слабой степени (10 человек), сухой формой макулодистрофии на ранней стадии (10 человек), начальной возрастной катарактой (10 человек). Контрольная группа: 50 условно здоровых пациентов 40–70 лет.

Пестрякова Яна Феликсовна – канд. мед. наук, врач-офтальмолог Медицинского объединения ДВО РАН; e-mail: pestrikova75@mail.ru

Во всех случаях проводили стандартное офтальмологическое обследование, включавшее визометрию, тонометрию, кинетическую периметрию, биомикроскопию, прямую и обратную офтальмоскопию. Кроме того, все пациенты с подозрением на глаукому и с впервые выявленной глаукомой были дополнительно обследованы в глаукомном кабинете Краевого диагностического центра, где им выполняли гониоскопию, гейдельбергскую ретиномографию и статическую периметрию при помощи компьютерного периметра AP-1000 (Tomey, Япония). Допплерографию сосудов орбиты провели у 25 пациентов (50 глаз) больных глаукомой и 25 лиц (50 глаз) контрольной групп. При этом исследовали спектр кровотока в центральных артериях и вене сетчатки, задних коротких и длинных ресничных артериях и в глазничной артерии. Оценивали пиковую систолическую и конечную диастолическую скорость кровотока и индекс резистентности. Измерение выполняли на ультразвуковом сканере SONOACE 9900 PRIME линейным датчиком 12 МГц в триплексном режиме. Также этим пациентам провели тонографическое исследование для оценки гидродинамических показателей глаз с расчетом истинного внутриглазного давления, коэффициента легкости оттока и минутного объема камерной влаги глаза и коэффициента Беккера (соотношение внутриглазного давления и коэффициента легкости оттока камерной влаги).

Анализ биоэлектрической активности головного мозга осуществлялся с использованием стандартного электроэнцефалографа «Нейрон-спектр-1» и специализированного пакета прикладных программ по спектральному анализу ритмической активности головного мозга человека. Применялась технология регистрации глобальной ритмической активности

мозга с узкополосной фильтрацией и большим временем суммации с выделением преимущественно длительно текущих ритмических колебаний в частотном спектре от 0,1 до 30 Гц. При таком способе анализа оцениваются осцилляторные свойства неспецифических ретикулярных структур мозга (активирующей системы мозга), которая служит источником генерации диффузной активности, отражающей состояние висцеральной сферы. Структура осцилляторного ряда демонстрирует частотную специфичность для каждого вида интерорецепторов висцеральной сферы, на основе которой строится диагностическая матрица «дискретных функциональных состояний» для ранней диагностики дисфункций и заболеваний внутренних органов, в том числе и зрительного анализатора [5, 6, 8, 9].

В результате программно-аппаратного анализа получаются графики, отображающие кривые, огибающие частотный спектр правого и левого полушарий. Величина спектральной оценки выражается в относительных единицах по шкале ординат от 0 до 10. Шкала ординат отображает частотные диапазоны в пределах от 0,13 до 27 Гц, условно называемые «функции», соответствующие определенному типу вегетативных рецепторов (F1–F7). Каждая функция представлена вдоль сегментарной оси от C1 к K в соответствии с сегментарным строением спинного мозга: шейные сегменты – C1–C8, грудные сегменты – Th1–Th12, поясничные сегменты – L1–L5, крестцовые сегменты – S1–S5 и K.

Полученные графики сопоставлялись с номограммами, имевшими физиологические пределы, выраженные в относительных единицах. Данные обрабатывались методами вариационной статистики и представлялись в виде средней арифметической и ее средней ошибки с оценкой статистической значимости разности с помощью критериев Стьюдента и Манна–Уитни.

Результаты исследования

Возбуждение рецепторов проявляется синхронизацией и увеличением амплитуды базовой функции, при их торможении наблюдается десинхронизация и снижение амплитуды. У больных первичной открытоугольной глаукомой статистически значимой закономерностью оказалось повышение амплитуды огибающей спектра правого полушария функции F1–3 сегментарного центра Th1, что соответствовало частотам 15–14,7 Гц (рис.). При этом амплитуды огибающих спектра были достоверно выше, чем в группе контроля. Частотный диапазон функции F1–3 отражает работу α-адренорецепторов гладкой мускулатуры. Выявленная особенность локализовалась в системе частотных координат в сегментарном центре C7–8 Th1, что соответствует соматическому представительству вегетативной симпатической иннервации

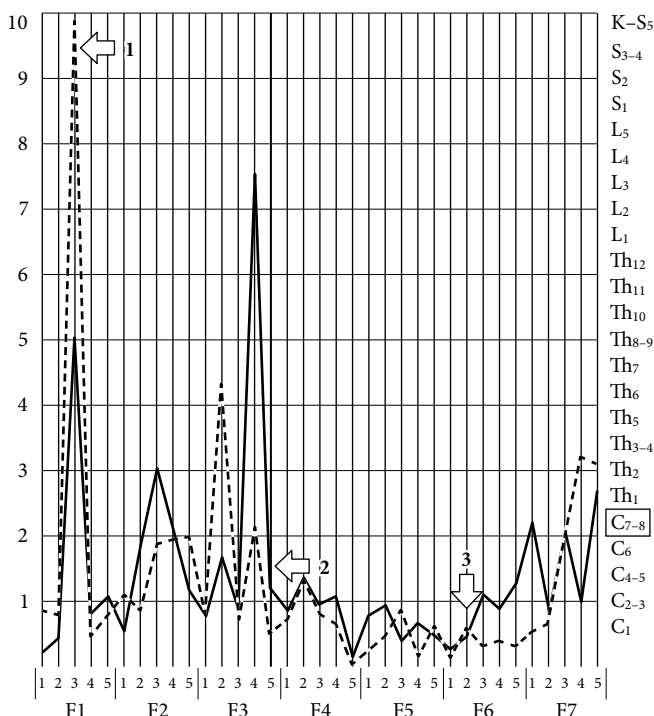


Рис. График спектрального анализа электроэнцефалограммы больного глаукомой в сегменте C7–8:

на оси абсцисс – номера базовых функций (спектральных отрезков), на оси ординат – величина спектральной оценки в относительных единицах и номера сегментарных центров от C1 до K–S5.

зрительного анализатора и связано с усилением симпатических влияний центральной нервной системы на орган зрения, повышением тонуса цилиарной мышцы, приводящим к ухудшению оттока жидкости из передней камеры глаза.

Также у больных первичной открытоугольной глаукомой прослежена статистически значимая закономерность в виде резкого перепада функции при переходе F3–5 в F4–1, наиболее выраженная в сегментарном центре C7–8–Th1, что соответствует частотам 4,7–1,5 Гц. В контрольной группе амплитуда огибающих спектра правого и левого полушарий данных функций была однородна и синхронизирована.

С позиций разработчиков метода и исследователей в области изучения представительства интерорецепторов внутренних органов в центральной нервной системе [6], частотная область функции F3 в данном сегменте соответствует центральному звену, ответственному за тонус вен и лимфатических сосудов глаза. Такой перепад может свидетельствовать о нарушении венозного оттока. Исследование глазной динамики подтвердило наличие этого нарушения, что документировано статистически значимым снижением коэффициента легкости оттока в основной группе, коррелирующего с амплитудами функций F3 и F4 (табл. 1).

Еще одним статистически значимым признаком спектрограмм, отражающих ритмическую активность головного мозга при глаукоме, было снижение

Таблица 1

Показатели глазной гидродинамики у пациентов с глаукомой

Показатель <sup>1</sup>	Глаукома (n=50)	Контроль (n=50)
Р <sub>о</sub> , мм рт. ст.	16,8±3,2 <sup>2</sup>	10,7±1,4
С, мм <sup>3</sup> /мин/мм рт. ст.	0,07±0,03 <sup>2</sup>	0,14±0,03
F, мм <sup>3</sup> /мин	0,5±0,3	0,3±0,2
КБ	292±136 <sup>2</sup>	77±17

<sup>1</sup> Р<sub>о</sub> – истинное внутриглазное давление, С – коэффициент легкости оттока камерной влаги глаза, F – минутный объем камерной влаги глаза, КБ – коэффициента Беккера.

<sup>2</sup> Разница с контролем (по критерию Манна–Уитни) статистически значима.

Таблица 2

Амплитуды спектральной оценки базовых функций F2, F4 и F5 сегментарных центров Th<sub>1</sub> и C<sub>7-8</sub> головного мозга у пациентов с макулодистрофией

Базовая функция	Амплитуда, отн. ед.	
	Макулодистрофия	Контроль
F2-4-1	0,194	0,80±0,07
F2-5-2	0,212	0,78±0,06
F4-4-3	0,003	0,20±0,03
F5-4-1	0,026	0,18±0,03

активности функции F6-2 в сегментарной области C<sub>7-8</sub>, что соответствовало частотам 0,76–0,39 Гц. При этом амплитуда огибающих спектра оказалась значимо ниже, чем в группе контроля. Данная функция в указанном сегменте характеризует состояние М-холинорецепторов гладкой мускулатуры цилиарной мышцы глаза. Угнетение активности этих рецепторов указывает на нарушение трофической функции цилиарного тела.

Для патологического состояния «макулодистрофия» были получены следующие характеристики спектральных оценок для суммы спектральных матриц из 10 пациентов:

- десинхронизация F2-4-1 в сегменте C<sub>4-5</sub> (левая вверх) – α-адренорецепторы артериальных сосудов глаза. Доверительный интервал по спектру – 6,87–6,30 Гц, центральная частота – 6,68 Гц (p≤0,05), средняя амплитуда – 0,194;
- десинхронизация F2-5-2 в сегменте C<sub>4-5</sub> (правая вверх) – адренорецепторы артериальных сосудов глаза. Доверительный интервал по спектру – 5,73–5,35 Гц, центральная частота – 5,54 Гц (p≤0,05), средняя амплитуда – 0,212;
- спектральный минимум F4-4-3 в сегменте C<sub>4-5</sub> – М-холинорецепторы глаза. Доверительный интервал по спектру – 1,72–1,48 Гц, центральная частота – 1,57 Гц (p≤0,05), средняя амплитуда – 0,03;
- спектральный минимум F5-4-1 в сегменте C<sub>4-5</sub> – М-холинорецепторы глаза. Доверительный интервал по спектру – 0,86–0,79 Гц, центральная частота – 0,83 Гц (p≤0,05), средняя амплитуда – 0,026.

В результате анализа спектрограмм больных макулодистрофией и здоровых пациентов были выявлены значимые различия в частотных диапазонах, отражающих состояние вегетативных рецепторов глаза и характеризующих дисрегуляцию тонуса артериальных и венозных сосудов при этой патологии (табл. 2).

У больных миопией слабой степени обнаружены изменения ритмической активности головного мозга, характеризующие состояние α-адренорецепторов (14,4–16,5 Гц) и М-холинорецепторов цилиарной мышцы глаза (0,5–0,6 Гц). У пациентов с начальной возрастной катарактой преобладали низкочастотные процессы в проекционных сегментах глаза C<sub>1</sub> и Th<sub>1</sub> (0,16–0,26 Гц).

## Обсуждение полученных данных

При анализе биоэлектрической активности головного мозга у больных первичной открытоугольной глаукомой мы наблюдали общую закономерность, заключающуюся в наличии «патологической» активности преимущественно в частотных спектрах вегетативных рецепторов, что указывало на активацию локального симпатического и торможение парасимпатического тонуса при этой патологии. Данные изменения согласуются с существующими в настоящее время теориями патогенеза глаукомы: избыточная активность симпатического звена вегетативной нервной системы при глаукоме – общепризнанный факт [3]. Возможно, именно так вегетативная нервная система реагирует на гипоксию тканей и структур глаза. Кроме того, в ответ на уменьшение проницаемости трабекулы и увеличение ее ригидности повышается тонус цилиарной мышцы. Нет сомнения в том, что внутриглазной кровоток в глаукомном глазу снижен. Многочисленные исследования указывают на уменьшение внутриглазного объемного кровотока, включающее главные составляющие гемоциркуляторного дефицита: снижение перфузионного давления, сужение артериальных сосудов, в том числе, сетчатки, и значительное замедление скорости кровотока [2, 7, 10].

Парасимпатическая нервная система обеспечивает трофическую функцию внутренних органов. При нарушении механизмов ауторегуляции происходит ослабление ее влияния, что в последующем приводит к дистрофическим изменениям в трабекулярном аппарате, радужке и цилиарном теле органа зрения. Дистрофические изменения в сосудистой оболочке глаза вызывают снижение эффективности механизмов, предохраняющих шлеммов канал от сдавления, что в свою очередь приводит к нарушению оттока внутриглазной жидкости и повышению внутриглазного давления.

Этиопатогенез макулодистрофии остается до настоящего времени окончательно невыясненным. Возрастную макулодистрофию относят к многофакторным

заболеваниям, существенная роль в возникновении и развитии которого отводится сердечно-сосудистым заболеваниям, сопровождающимся снижением регионального кровоснабжения с повреждающим действием на сетчатку окислительных процессов [4].

При исследовании спектральных характеристик биоэлектрической активности головного мозга у больных макулодистрофией мы наблюдали общую закономерность, которая заключалась в наличии «патологической» активности преимущественно в частотных спектрах вегетативных рецепторов, указывающих на активацию локального симпатического и торможение парасимпатического тонуса. Возможно, именно так реагирует вегетативная нервная система на гипоксию тканей и структур глаза. При нарушении механизмов ауторегуляции происходит ослабление влияния парасимпатической нервной системы, обеспечивающей трофическую функцию органов, что приводит в последующем к дистрофическим изменениям в сосудистой оболочке. Электроэнцефалографическое исследование позволяет выявлять эти изменения на начальном уровне функциональных нарушений.

Таким образом, характерные особенности спектра биоэлектрической активности головного мозга, выявленные при глаукоме, макулодистрофии, миопии и катаракте могут стать основой для разработки дополнительных критериев скрининговой диагностики ранних стадий заболеваний органа зрения.

#### Литература / References

1. Здравоохранение в России: стат. сб. М.: Росстат, 2017. 170 с. Healthcare in Russia. Moscow: Rosstat, 2017. 170 p.
2. Комаровских Е.Н., Лазаренко В.И., Ильенков С.С. Ранняя диагностика первичной открытоугольной глаукомы // Красноярск: Амальгама, 2001. 164 с. Komarovskikh E.N., Lazarenko V.I., Ilyenkov S.S. Early diagnostics of primary open-angle glaucoma. Krasnoyarsk: Amalgama, 2001. 164 p.
3. Райгородский Ю.М., Каменских Т.Г., Колбнев И.О. [и др.]. Магнитотерапия с воздействием на шейные симпатические ганглии в лечении больных первичной открытоугольной глаукомой // Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. 2010. № 5. С. 21–24. Raigorodsky Yu.M., Kamenskikh T.G., Kolbenev I.O. [et al.]. Magnetotherapy with the effect on cervical sympathetic ganglia in the treatment of patients with primary open-angle glaucoma // Questions of Balneology, Physiotherapy and Therapeutic Physical Training. 2010. No. 5. P. 21–24.
4. Черкасова В.В., Романенко И.А. Возможности применения препарата Танакан при возрастной макулярной дегенерации и глаукоме // Клиническая офтальмология. 2010. Т. 11, № 2. С. 37–40. Cherkasova V.V., Romanenko I.A. Possibilities of using Tanakan for age-related macular degeneration and glaucoma // Clinical ophthalmology. 2010. Vol. 11, No. 2. P. 37–40.
5. Шабанов Г.А., Максимов А.Л., Рыбченко А.А. Функционально-топическая диагностика организма человека на основе анализа ритмической активности головного мозга. Владивосток: Дальнаука, 2011. 206 с. Shabanov G.A., Maksimov A.L., Rybchenko A.A. Functional-topical diagnostics of the human body on the basis of analysis of the rhythmic activity of the brain. Vladivostok: Dalnauka, 2011. 206 p.

6. Шабанов Г.А., Фоменко Р.В., Рыбченко А.А., Максимов А.Л. Нейрофизиологическая модель циркадианной организации физиологических функций организма человека // Физиология и медицина. Высокие технологии, теория, практика: сб. науч. статей. Т.1. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2013. С. 197–202. Shabanov G.A., Fomenko R.V., Rybchenko A.A., Maksimov A.L. Neurophysiological model of circadian organization of physiological functions of the human body // Physiology and medicine. High technologies, theory, practice: Sat. sci. articles. Vol. 1. St. Petersburg: Publishing house Polytechnic. Univ., 2013. P. 197–202.
7. Шамшинова А.М., Волков В.В. Функциональные методы исследования в офтальмологии. М.: Медицина, 1999. 416 с. Shamshinova A.M., Volkov V.V. Functional methods of research in ophthalmology. Moscow: Medicine, 1999. 416 p.
8. Ribchenko A.A., Shabanov G.A., Lebedev U.A. [et al.]. RS MEG1-01 coil recorder of spectrum of magnitoelectric activity of human brain // Biomedical Engineering. 2014. Vol. 47, No. 6. P. 282–284.
9. Shabanov G.A., Maksimov A.L., Rybchenko A.A. [et al.]. Human body functional and niveau diagnosis based on the analysis of rhythmic brain activity // Science, Technology and Higher Education: Materials of the VII international research and practice conference. Westwood, 2015. Vol. II. P. 119–127.
10. Sperduto R.D., Hiller R., Chew E. Risk factors for hemiretinal vein occlusion: comparison with risk factors for central and branch retinal occlusion: the eye disease case-control study // Ophthalmology. 1998. Vol. 105. P. 765–771.

Поступила в редакцию 12.03.2018.

#### BRAIN RHYTHMIC ACTIVITY IN EYE DISEASES

Ya.F. Pestryakova<sup>1</sup>, A.A. Rybchenko<sup>2</sup>, G.A. Shabanov<sup>2</sup>, T.S. Zaporozhets<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Medical association of Far Eastern Branch of Russian Academy of Science (95 Kirova St. Vladivostok 690022 Russian Federation), <sup>2</sup> Scientific Research Centre 'Arktika' of Far Eastern Branch of Russian Academy of Science (95 Kirova St. Vladivostok 690022 Russian Federation), <sup>3</sup> Somov Institute of Epidemiology and Microbiology (1 Selskaya St. Vladivostok 690087 Russian Federation)

**Objective.** The bioelectric activity of the brain was studied in 80 patients with various diseases of the organ of vision (glaucoma, myopia, age-related macular dystrophy, cataracts).

**Methods.** The study was conducted with electroencephalograph 'Neuron-spectr-1' with the use of specialized package of applications on spectral analysis of human brain rhythmic activity for usage in medicine to early diagnose pathology of internal organs. It was used the technology of recording the global brain rhythmic activity with narrow-band filtering and a long summation time with predominantly long-term current rhythmic oscillations in the frequency spectrum ranging from 0.1 to 30 Hz.

**Results.** In case of a primary open angle glaucoma and macular dystrophy we observed a general pattern of 'pathological' activity predominantly in frequency spectra of autonomic receptors. This is the evidence of the activation of local sympathetic and suppression of parasympathetic tonus. Changes of brain rhythmic activity were detected in patients with low degree myopia; they characterized the state of  $\alpha$ -adrenoreceptors and M-cholinergic receptors of the ciliary muscle of the eye. Patients with initial age-related cataracts were dominated by low-frequency processes in the projection segments of the eye.

**Conclusions.** Features of bioelectrical brain activity revealed in glaucoma, macular dystrophy, myopia, and cataracts can be a basis for development of additional criteria of screening diagnostics of early stages of eye diseases.

**Keywords:** bioelectrical brain activity, age-related macular dystrophy, glaucoma, cataracts