

УДК 612.424:613.693:615.471

© Г. А. Шабанов, А. А. Рыбченко, Ю. А. Лебедев, Е. А. Припатинская,
Е. В. Смоленский, В. И. Короченцев, С. П. Крыжановский, С. А. Фейгин,
В. В. Мищенко, Г. М. Журавель, 2019

ОПЫТНЫЙ ОБРАЗЕЦ ПРИБОРА "СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗАТОР БИОАКУСТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ГОЛОВЫ ЧЕЛОВЕКА"

Для изучения спектра глобальной биоэлектрической активности неспецифической системы мозга разработан медицинский прибор под названием "Спектральный анализатор биоакустической активности головы человека". Изготовлен опытный образец. Был предложен способ регистрации суммарного акустического поля головного мозга человека с помощью индукционного датчика. Рассмотрено устройство индукционных датчиков, особенности узкополосного спектрального анализа и новая система частотных координат — матрица "множества функциональных состояний", или "висцером". Прибор может быть использован для оценки адаптационных возможностей организма при взаимодействия с агрессивными факторами внешней среды, функционально-топической диагностики внутренних органов.

Кл. сл.: индукционный вибродатчик, акустоэнцефалограмма, акустическое поле головы, электроэнцефалограмма

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы получили развитие методы, основанные на применении акустических сигналов, получаемых от головы испытуемых, и воздействии таких сигналов на различные структуры головного мозга. В калифорнийском университете в Сан-Диего был создан наноразмерный оптоэлектронный датчик, расположенный на конце оптоволокна для измерения механического давления и акустических волн. Он способен регистрировать биологические силы с уровнем воздействия менее 160 фН и давления звуковых волн менее 30 дБ, что в 1000 раз чувствительнее порога человеческого уха. На этой основе в мюнхенском Центре Гельмгольца разрабатываются миниатюрные оптоакустические приемники из множества оптоволокон, способные регистрировать сверхслабые акустические сигналы с поверхности нервных клеток при их активации. Отрабатываются принципы функциональной оптоакустической томографии для регистрации работы нервных сетей головного мозга в режиме on-line. Было убедительно показано, что нервная клетка и нервные сети являются источниками акустического сигнала [1]. Во фрязинском филиале Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН с помощью пьезопреобразователей продольных акустических

колебаний были обнаружены новые акустические сигналы, генерируемые головой человека и предложен метод акустоэнцефалографии [2].

Изучение особенностей спектральной структуры акустического поля головного мозга, генеза и механизма его формирования в сопоставлении с классической электроэнцефалограммой (ЭЭГ) является актуальной как фундаментальной, так и прикладной проблемой, направленной на понимание всей совокупности нейрофизиологических процессов, происходящих в головном мозге при различных состояниях организма.

РАЗРАБОТАННЫЙ ПРИБОР

Для исследования спектра акустических сигналов головы нами разработан медицинский прибор под названием "Спектральный анализатор биоакустической активности головы человека". Изготовлен опытный образец. Общий вид прибора приведен на рис. 1.

Указанный медицинский прибор посредством датчиков вибраций, которые распространяются от нейронных сетей, сосудов, мышечной системы головы и тела человека, регистрирует суммарную ритмическую активность головы человека — отдельно для правого и левого полушария и производит ее тонкий спектральный анализ.



Рис. 1. Расположение индукционных вибродатчиков на голове человека.

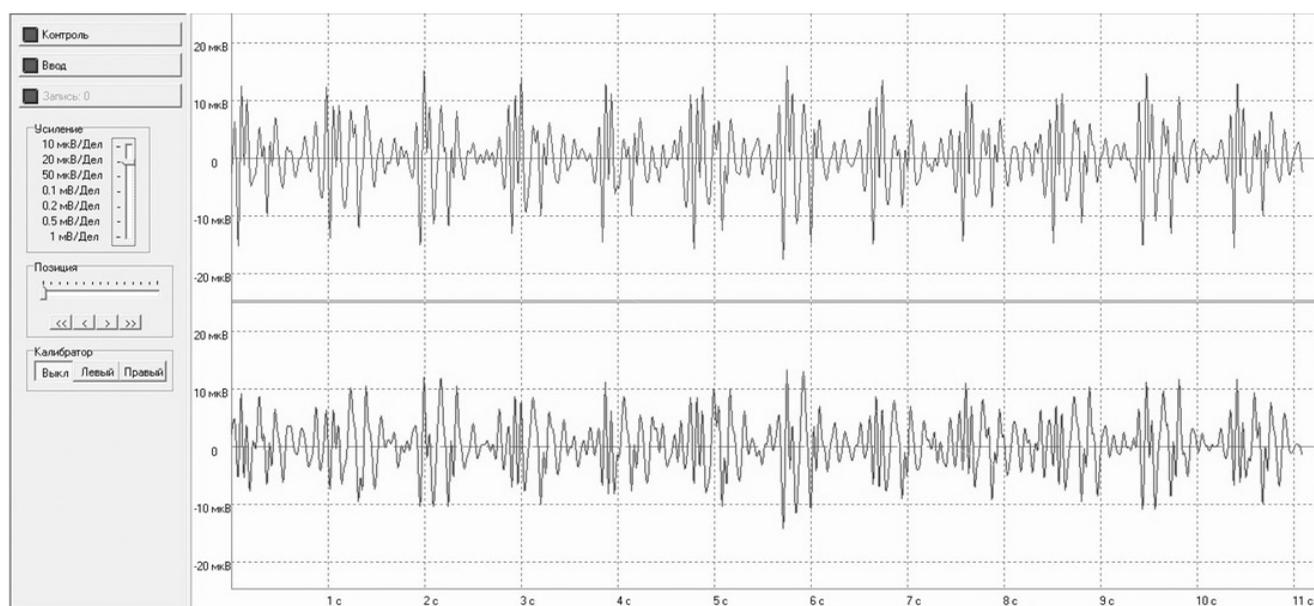


Рис. 2. Вид акустического сигнала, снимаемого с головы человека с помощью индукционных вибродатчиков. Верхний график — правое полушарие, нижний график — левое полушарие; между вертикальными линиями — расстояние по времени 1 с, по оси ординат — напряжение на выходе датчиков в мкВ

В качестве вибродатчиков использовались две дифференциальные пары катушек, которые находились в постоянном магнитном поле Земли. Активные катушки (правая и левая) располагались в височно-теменных областях левого и правого полушарий. Дифференциальные пассивные катушки вынесены за пределы головы на расстояние не менее 1 м и располагались строго в плоскостях активных катушек. Такая схема расположения индукционных датчиков позволяла надежно снимать суммарную глобальную вибрационную активность левого и правого полушарий головы в диапазоне частот от 0.13 до 27 Гц. Расположение датчиков на голове чело-

века в височно-теменных областях левого и правого полушарий показано на рис. 1.

С акустических датчиков сигнал о скорости вибраций поступал на входы двухканального усилителя. Вид акустического сигнала приведен на рис. 2. Цифровая фильтрация и спектральный анализ при быстром фурье-преобразовании имели свои особенности. Весь диапазон изучаемого сигнала от 0.1 до 27 Гц был разбит на 4200 полос, центральные частоты которых образуют геометрическую прогрессию с $q = 2^{1/24}$ с опорной частотой 27.005 Гц, при этом спектральные гармоники, попавшие в одну из 4200 полос, интегрировались

по амплитуде. Получившиеся с левого и правого полушарий 8400 центральных частот с амплитудами спектральной оценки сворачивались в две спектральные матрицы размером 24×175 частотных ячеек. Время суммации сигнала по каждой спектральной ячейке выбрано 160 с, исходя из характеристик исследуемой пластичности активирующей системы мозга, как среднее время смены функциональных состояний при мозговой деятельности. Частота квантования сигнала — 256 Гц [3]. Подобный подход к спектральному анализу был осуществлен при изучении функциональной активности гиппокампа в работе [4] и модернизирован нами для частотного анализа ретикулярных структур мозга и получения спектральной матрицы "множества функциональных состояний", контролирующей висцеральный анализатор. Выбор длительности записи информационного кадра 160 с позволил получить надежную и повторяемую информацию о спектре длительно текущих процессов головного мозга, таких как реакции висцерального анализатора при различных функциональных пробах, эмоциональные реакции, реакции вкусового и обонятельного анализаторов и т.п. Спектральная матрица "множества функциональных состояний" частотно селективна к периферическим эффекторам, группам периферических рецепторов и получила название "висцером".

Таким образом, установлено, что с поверхности головы с помощью индукционных приемников скорости вибраций возможна регистрация биоакустических сигналов. По своей форме и частотным характеристикам сигнал напоминает стандартную запись электроэнцефалограммы. По всей видимости, источником таких сигналов могли быть вибрации внутримозговых сосудов, обеспечивающие метаболизм нейронов, сами нервные сети, магистральные артерии и вены головы, тремор скелетной мускулатуры головы и тела при осуществлении вестибулярного рефлекса [5, 6]. Функциональные пробы с открытыми и закрытыми глазами, навязывание вызванных осцилляций с помощью фотостимуляции, раздражения участков кожи показывают, что АЭГ, как и ЭЭГ, несет в себе информацию о нейрорефлекторной деятельности центральной и вегетативной нервной системы.

Подчеркнем, что если ЭЭГ формируется как суммарное электрическое поле радиально ориентированных корковых элементов (нейронов и глиальных клеток), то АЭГ более интегрально охватывает деятельность как радиально, так и тангенциально ориентированных структур головного мозга, включая нейронные сети и ритмическую

активность внутримозговых сосудов. Получаемая при синхронных записях ЭЭГ и АЭГ информация о деятельности головного мозга взаимно дополняет друг друга, однако дифференциация спектрально-волновых акустических характеристик, образуемых различными морфофункциональными структурами головы, требует своего дальнейшего изучения.

ВЫВОДЫ

Технология оказалась эффективной для оценки состояния и влияния внешних факторов на организм человека, изучения патогенеза и диагностики целого ряда патологических состояний. Аппарат проходит доклиническую апробацию для определения адаптационности организма, профотбора спецконтингентов на холодоустойчивость, ранней диагностики заболеваний в гинекологии, офтальмологии, эндокринологии, гастроэнтерологии и кардиологии. В завершении находятся исследования по ранней диагностике и определению стадии развития онкологического заболевания, выявления места локализации опухоли и метастазов. Предлагаемый способ съема информации показал высокие эксплуатационные характеристики и помехозащищенность в сложных условиях эксплуатации.

Настоящая работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации для поддержки научных школ № НШ 5545.2018.5, а также в рамках государственного задания ИФЗ РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Создана технология, позволяющая слушать бактерии и клетки. Hi-News.ru. Новости высоких технологий. URL: <https://hi-news.ru/technology/sozdana-texnologiya-pozvolyayushhaya-slushat-bakterii-i-kletki.html> (дата обращения 20.05.2017).
2. Миргородский В.И., Герасимов В.В., Пешин С.В. Обнаружение новых акустических сигналов // Акустический журнал. 2014. Т. 60, № 4. С. 437–442.
3. 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.
4. Подольский И.Я., Воробьев В.В., Белова Н.А. Длительные изменения спектров ЭЭГ гиппокампа и неокортекса при фармакологических воздействиях на холинергическую систему // Журн. высш. нервн. деят. им. И.П. Павлова. 2000. Т. 50, вып. 6. С. 982–990.

5. Минкин В.А. Виброизображение. СПб.: Реноме, 2007. 108 с.
6. Гукасов В.М., Шовкоплас Ю.А., Минкин В.А. Метод виброизображения — современная основа экологической безопасности // Медицина и высокие технологии. 2012. № 2. С. 46–50.
7. Шабанов Г.А., Лебедев Ю.А., Рыбченко А.А., Максимов А.Л., Короченцев В.И. Исследование спектра акустического поля головного мозга человека // Вестник СВНЦ ДВО РАН. 2017. № 3. С. 115–122.

Научно-исследовательский центр "Арктика" ДВО РАН, Владивосток (Шабанов Г.А., Рыбченко А.А., Лебедев Ю.А., Припатинская Е.А., Смоленский Е.В.)

Дальневосточный федеральный университет, Владивосток (Короченцев В.И.)

Медицинское объединение ДВО РАН, Владивосток (Крыжановский С.П.)

Национальный медицинский исследовательский центр акушерства, гинекологии и перинатологии им. акад. В.И. Кулакова, Москва (Фейгин С.А., Мищенко В.В., Журавель Г.М.)

Контакты: Смоленский Егор Викторович, neurokib@mail.ru

Материал поступил в редакцию 28.06.2018

THE PROTOTYPE "SPECTRAL ANALYSIS OF VIBROACOUSTIC ACTIVITY OF THE HUMAN HEAD"

G. A. Shabanov¹, A. A. Rybchenko¹, Y. A. Lebedev¹, E. A. Pripatinskaya¹, E. V. Smolenskii¹, V. I. Korochentsev², S. P. Kryzhanovskii³, S. A. Feigin⁴, V. V. Mishchenko⁴, G. M. Zhuravel⁴

¹Scientific research center "Arktika" of the Far Eastern branch of RAS, Vladivostok, Russia

²Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia

³Medical Association of the Far Eastern branch of RAS, Vladivostok, Russia

⁴National medical research center for obstetrics, gynecology and perinatology named after academician V.I. Kulakov of Ministry of Healthcare of Russian Federation, Moscow, Russia

To study the spectrum of global bioelectric activity of the brain non-specific system, a medical device called "Spectral analyzer of bioacoustic activity of the human head" was developed. Made a prototype. A method for recording the total acoustic field of the human brain using an induction sensor was proposed. The device of induction sensors, features of narrow-band spectral analysis and a new system of frequency coordinates matrix of "set of functional states". The device can be used to assess the adaptive capabilities of the body when interacting with aggressive influence factors, functional and topical diagnosis of internal organs.

Keywords: induction vibration sensor, acoustic encephalogram, acoustic field of the head, electroencephalogram

REFERENCES

1. *Novosti vysokih tekhnologij. Sozdana tekhnologiya, pozvolyayushchaya slushat' bakterii i kletki* [The technology allowing to listen to bacteria and cages is created]. Hi-News.ru. URL: <https://hi-news.ru/technology/sozdana-tekhnologiya-pozvolyayushchaya-slushat-bakterii-i-kletki.html> (accessed 20.05.2017). (In Russ.).
2. Mirgorodskii V.I., Gerasimov V.V., Peshin S.V. [Detection of new acoustic signals from the human head]. *Akusticheskij Zhurnal* [Acoustic journal], 2014, vol. 60, no. 4, pp. 437–442. (In Russ.).
3. Shabanov G.A., Maksimov A.L., Rybchenko A.A. *Funktsional'no-topicheskaya diagnostika organizma cheloveka na osnove analiza ritmicheskoy aktivnosti golovnogo mozga* [Functional and topical diagnostics of a human body on the basis of the analysis of rhythmic activity of a brain]. Vladivostok, Dalnauka Publ., 2011. 206 p. (In Russ.).

4. Podol'skiy I.Ya., Vorob'ev V.V., Belova N.A. [Long-term changes in EEG spectra of the hippocampus and neocortex during pharmacological action on the cholinergic system]. *Zhurnal vysshej nervnoj deyatel'nosti im. I.P. Pavlova* [I.P. Pavlov Journal of Higher Nervous Activity], 2000, vol. 50, no. 6, pp. 982–990. (In Russ.).
5. Minkin V.A. *Vibroizobrazhenie* [Vibroimage]. Saint Petersburg, Renome Publ., 2007. 108 p. (In Russ.).
6. Gukasov V.M., Shovkoplyas Y.A., Minkin V.A. [Vibroimage method — the modern basis of environmental safety]. *Medicina i vysokie tekhnologii* [Medicine and high technology], 2012, no. 2, pp. 46–50. (In Russ.).
7. Shabanov G.A., Lebedev Y.A., Rybchenko A.A., Maksimov A.L., Korochentsev V.I. [A Study of the Human Brain Acoustic Field Spectrum]. *Vestnik SVNC DVO RAN* [Bulletin of the North-East Science Center], 2017, no. 3, pp. 115–122. (In Russ.).

Contacts: *Smolenskii Egor Viktorovich*,
neurokib@mail.ru

Article received in edition 28.06.2018