

3. Hughes B., Kuhn R., Peterson C.M., Rothman D.S., Solyrzano J.R., Mathers C.D., Dickson J.R. Projections of global health outcomes from 2005 to 2060 using the International Futures integrated forecasting model // Bull. World Health Organ. 2011. Vol. 89. PP. 478-486.
4. Масленникова Г.Я., Бойцов С.А., Оганов Р.Г., Аксельрод С.В., Есин П.Е. Неинфекционные заболевания как глобальная проблема здравоохранения, роль ВОЗ в ее решении // Профилактическая медицина. 2015. № 1. С. 9-13.
5. Ziegler L.E. Early diagnosis and treatment of chronic diseases: National review and guidelines – Ra as an example / Scientific Abstract. 2017. P. 438. Published 1 June 2017. Medicine.
6. Huan Wang, Xiaojie Yuan, Jiping Wang, Chenglin Sun, Guixia Wang Telemedicine maybe an effective solution for management of chronic disease during the COVID-19 epidemic // Primary Health Care Research & Development. 2022. Vol. e48. PP. 1-7.
7. Yuldashev Z.M., Magrupov T.M. Systems and Technologies for Remote Health State Monitoring of Patients with Chronic Diseases / 2020 International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT). 2020. IEEE.
8. Кобякова О.С., Куликов Е.С., Малых Р.Д., Черногорюк Г.Э., Деев И.А., Старовойтова Е.А., Кириллова Н.А., Загрова Т.А., Балаганская М.А. Стратегии профилактики хронических неинфекционных заболеваний: современный взгляд на проблему // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2019. № 18 (4). С. 92-98.
9. Pustozero E., Popova P., Tkachuk A., Yuldashev Z., Grineva E. Development and evaluation of a mobile personalized blood glucose prediction system for patients with gestational diabetes mellitus // Journal of Medical Internet Research. 2018. Vol. 20 (1). Iss. e6.

*Зафар Мухамедович Юлдашев,
д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой,
кафедра биотехнических систем,
Санкт-Петербургский электротехнический
университет «ЛЭТИ»,
г. С.-Петербург,
e-mail: zmyuldashev@etu.ru*

Е.А. Юматов

Методология выявления психической деятельности мозга на основе вейвлетного анализа электроэнцефалограммы

Аннотация

Излагаются материалы пленарного доклада, посвященного раскрытию механизмов психической деятельности мозга человека на основе непрерывного вейвлетного анализа электроэнцефалограммы, представленного на XV Международной научной конференции «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии – ФРЭМЭ'2022».

Раскрытие механизмов психической деятельности мозга является фундаментальной общебиологической актуальной проблемой науки, решение которой открывает широкие возможности для разработки и практического применения принципиально новых информационных технологий и аппаратных систем.

Введение

Происхождение психической деятельности мозга остается одной из величайших загадок природы. Головной мозг является уникальной системной организацией в живой природе, обладающей способностью к субъективной психической деятельности, которая проявляется в сознании, в мыслях, чувствах, эмоциях, т. е. в субъективном восприятии человеком самого себя и окружающего мира.

Несмотря на огромные достижения современной психофизиологии и нейрофизиологии, существующие в данных областях методы не позволяют непосредственно регистрировать и изучать паттерны психической деятельности мозга [1]-[6].

При использовании классических методов анализа электроэнцефалограммы (ЭЭГ) можно видеть, что ритмическая активность имеет нестационарную природу, отличается чрезвычайно высоким разнообразием формы и частотного состава, что существенно ограничивает информационные возможности традиционных методов спектрального анализа сигналов. В связи с этим возникает принципиальный вопрос: отражается ли в ЭЭГ психическая (субъективная) деятельность мозга человека?

Для раскрытия природы психической деятельности мозга необходима разработка принципиально новой информационной методологии, позволяющей расшифровать в нейрофизиологических процессах различные проявления психической деятельности мозга.

В последние годы получил развитие современный математический метод непрерывного вейвлетного анализа ЭЭГ, который является оптимальным методом частотно-временного анализа нестационарных сигналов, в том числе ЭЭГ, а также

служит надежной основой для создания алгоритмов автоматического распознавания отдельных форм ритмической активности на ЭЭГ [7]-[12].

Главной целью исследования являлась разработка информационной технологии, экспериментальных моделей и аппаратуры для выявления психической деятельности мозга человека на основе непрерывного вейвлетного анализа ЭЭГ при различных психических состояниях мозга: осознании визуального изображения, правдивых и лживых мысленных ответов при мысленном воспроизведении информации из памяти [13]-[23].

Материалы и методы

Запись ЭЭГ проводилась у испытуемых в разных структурах мозга в 10 отведениях при помощи электроэнцефалографа «Нейрон-спектр» (г. Иваново), монополярно, по схеме «10 – 20», в затылочных (O2, O1), теменных (P4, P3), центральных (C4, C3), лобных (F4, F3) и височных (T4, T3) отведениях. Объединенные референтные электроды располагались на мочках ушей. Полоса фильтрации составляла 0,5...75,0 Гц, постоянная времени – 0,32 с, режекторный фильтр – 50 Гц. Частота оцифровки – 200 Гц [13]-[23].

Метод вейвлет-преобразования позволяет проводить частотно-временной анализ ЭЭГ-сигналов, зарегистрированных у испытуемых на этапах демонстрации вопросов и мысленных ответов на них. В частности, использовалось непрерывное вейвлет-преобразование ЭЭГ в диапазоне частот от 0,5 до 30 Гц. В качестве базисной функции экспериментальным путем был выбран вейвлет Морле [7]-[12].

Преимуществом вейвлет-преобразования является возможность анализа спектрального состава сигнала в динамике, таким образом исследователь в состоянии наблюдать за измене-

нием различных частот, соответствующих тем или иным состояниям головного мозга, в течение времени наблюдения.

Полученные значения средней энергии вейвлет-спектра усреднялись для каждого испытуемого отдельно с применением критерия Уилкоксона (*U*). Достоверные различия находились по значениям *p*-уровня ниже 5 % (вероятность ошибки).

Для исследования психической деятельности мозга при осознании визуального изображения были разработаны экспериментальная компьютерная модель и соответствующее информационно-программное обеспечение для тестирования по электроэнцефалографическим показателям двух состояний деятельности мозга человека, одно из которых характеризуется субъективным, сознательным восприятием зрительного образа; другое – его отсутствием из-за кратковременности предъявления визуального изображения [13], [14].

Для выявления лживого или правдивого состояния мозга человека были разработаны экспериментальная модель на базе ПК и соответствующее информационно-программное обеспечение [17], [18]. Это позволило сравнивать по ЭЭГ-показателям два мыслительных состояния деятельности мозга, одно из которых – лживое, другое – правдивое.

Для выявления способности извлечения (воспоминание) информации из памяти были разработаны экспериментальная модель и информационно-программное обеспечение, позволяющие сравнивать по электроэнцефалографическим показателям разные мыслительные состояния психической деятельности мозга: одно из них – испытуемый вспомнил и дал правильный мысленный ответ на вопрос; другое – когда испытуемый не знал или не смог вспомнить ответ [21], [22].

Выявление в психической деятельности мозга осознания визуального изображения на основе непрерывного вейвлетного анализа ЭЭГ

Как показали проведенные исследования, для осознаваемых визуальных изображений (200...300 мс) характерно присутствие пика альфа-ритма перед демонстрацией изображения и после него, а во время непосредственного восприятия визуального изображения активность в альфа-диапазоне резко падает; при неосознаваемых изображениях (~ 0 мс) уменьшение альфа-ритма выражено слабее или вообще практически отсутствует [15], [16].

Непрерывный вейвлетный анализ фрагментов записи ЭЭГ показывает, что основным ритмом ЭЭГ, по которому можно судить о наличии субъективного восприятия зрительного изображения, является альфа-ритм.

Показаны достоверные различия альфа-ритма ЭЭГ при осознании испытуемым смыслового содержания изображения и при отсутствии сознательного (субъективного) восприятия смыслового содержания изображения. Проведенные исследования позволяют сделать важный вывод о возможности выявления в сигнале ЭЭГ проявлений психической деятельности мозга, связанной с осознанием визуального изображения.

Выявление лживого и правдивого состояний человека на основе вейвлет-преобразования ЭЭГ разных структур мозга

Одним из проявлений психической деятельности является лживое или правдивое состояние мозга человека. Анализ результатов выявил достоверные различия ЭЭГ при лживых и правдивых мысленных ответах в разных структурах мозга человека [19], [20].

В интервале осмысления вопроса – *Q*. Значимые различия среднего значения нормированной вейвлет-энергии в классах «Правда» и «Ложь» проявились в альфа- и в бета-ритмах ЭЭГ в отведении О1, а наивысшие достоверные различия среднего значения нормированной вейвлет-энергии в классах «Правда» и «Ложь» проявились в тета-ритме ЭЭГ в отведении Р3 (*p* = 0,014).

В интервале мысленного ответа – *R*. Значимые различия выявлены в отведении О2 в диапазоне тета-ритма в отведе-

нии О2 и в отведение О1 в общем диапазоне. Наиболее достоверный результат выявлен в отведение О1 в общем диапазоне (*p* = 0,02).

В интервале ТР – весь период от постановки вопроса до мысленного ответа испытуемого, значимые результаты оказались в отведениях О1 и Р3 в общем диапазоне ритмов. Наиболее достоверные результаты в интервале ТР обнаружены в отведении О1 (*p* = 0,01).

В проведенном исследовании установлены критерии оценки правдивого и лживого состояний мозга: если во время осмысления вопроса средняя энергия вейвлет-спектра в альфа- и бета-ритмах в отведении О1 и в тета-ритме в отведении Р3 понижается, а во время мысленного ответа на вопрос средняя энергия вейвлет-спектра в тета-ритме ЭЭГ в отведении О2 повышается, то выявляется лживое состояние мозга, а если все отличия носят обратный характер, то это правдивое состояние.

Данные, полученные на основе непрерывного вейвлет-преобразования и расчета вейвлетной энергии ЭЭГ, открывают принципиальную возможность выявления в деятельности отдельных структурах мозга правдивого и лживого мыслительных состояний; они явились основой для разработки устройства контроля лживого и правдивого состояний мозга человека.

Выявление в психической деятельности мозга способности извлечения (воспоминания) информации из памяти на основе вейвлет-преобразования ЭЭГ разных структур мозга

Мозг обладает памятью – уникальной способностью к запоминанию и воспроизведению информации. Механизмы памяти состоят из восприятия, запоминания, сохранения и последующего воспроизведения информации. Извлечение информации из памяти происходит в субъективной, психической сфере деятельности мозга, которая была недоступна для изучения существовавшими нейрофизиологическими методами. Ключевые механизмы извлечения информации из памяти до сих пор остаются абсолютно неизвестными.

Проведенные исследования показали, что существуют достоверные отличия в ЭЭГ у людей, способных извлечь из памяти информацию и не способных ответить на вопрос, которые проявились во время осознания вопроса, при мысленном ответе в различных отведениях ЭЭГ. При этом наиболее достоверное отличие между способностью мозга воспроизвести мысленный ответ и отсутствием такового проявилось в бета-диапазоне ЭЭГ в затылочном отведении О1 (*p*-уровень = 0,002) [23].

Полученные данные показывают, что на основе непрерывного вейвлетного анализа ЭЭГ можно выявить в психической деятельности мозга процесс извлечения информации из памяти.

Заключение

При помощи непрерывного вейвлетного преобразования ЭЭГ впервые установлена принципиальная возможность прямой объективной регистрации различных видов психической деятельности мозга человека: осознания смыслового содержания изображения, правдивых или лживых мысленных ответов, мысленного извлечения (воспоминания) информации из памяти [13]-[23].

В целом результаты исследований позволяют сделать важный вывод о возможности объективного изучения природы психической деятельности мозга.

Раскрытие механизмов психической деятельности мозга имеет фундаментальное общебиологическое и практическое значение для науки, поскольку открывает широкие возможности для разработки принципиально новых информационных технологий и медицинской аппаратуры для психофизиологии, нейрофизиологии и психиатрии.

Список литературы:

1. *Нагель Т.* Мыслимость невозможного и проблема духа и тела // Вопросы философии. 2001. № 10. С. 92-107.
2. *Юматов Е.А.* Психическая деятельность мозга – «ключ» к познанию // Вестник Международной академии наук. Русская секция. 2013. № 1. С. 35-45.
3. *Yumatov E.A.* To knowledge of the origin of the brain mental activity // World Journal of Neuroscience. 2014. Vol. 4. № 2. PP. 170-182.
4. *Yumatov E.A.* The molecularly fielding psychophysical nature of the brain mental activity // J. Neuroscience and Medicine. 2019. Vol. 10. № 2. PP. 55-74.
5. *Юматов Е.А.* Дистанционно-полевые проявления психической деятельности мозга // Биомедицинская радиоэлектроника. 2019. № 1. С. 5-13.
6. *Yumatov E.A.* Psychogenic theory of consciousness // J. Medical Research Archives. 2021. Vol. 9. № 5.
7. *Павлов А.Н., Храмов А.Е., Короновский А.А., Ситникова Е.Ю., Макаров В.А., Овчинников А.А.* Вейвлет-анализ в нейродинамике // Успехи физических наук. 2012. № 182 (9). С. 905-939.
8. *Грубов В.В., Ситникова Е.Ю., Короновский А.А., Павлов А.Н., Храмов А.Е.* Автоматическое выделение и анализ осцилляторных паттернов на нестационарных сигналах ЭЭГ с использованием вейвлетного преобразования и метода эмпирических мод // Известия РАН. Серия физическая. 2012. № 76 (12). С. 1520-1523.
9. *Короновский А.А., Макаров В.А., Павлов А.Н., Ситникова Е.Ю., Храмов А.Е.* Вейвлеты в нейродинамике и нейрофизиологии. – М.: Физматлит, 2013.
10. *Nazimov A.I., Pavlov A.S., Nazimova A.A., Grubov V.V., Koronovskii A.A., Sitnikova E.Yu., Hramov A.E.* Serial identification of EEG patterns using adaptive wavelet-based analysis // Eur. Phys. J. Special Topics. 2013. Vol. 222. PP. 2713-2722.
11. *Hramov A.E., Koronovskii A.A., Makarov V.A., Pavlov A.N., Sitnikova E.Yu.* Wavelets in Neuroscience. – Springer Heidelberg, New York; Dordrecht, London, 2015. 318 p.
12. *Grubov V.V., Sitnikova E.Yu., Pavlov A.S., Koronovskii A.A., Hramov A.E.* Recognizing of stereotypic patterns in epileptic EEG using empirical modes and wavelets // Physica A. 2017. Vol. 486. PP. 206-217.
13. *Потапова О.В., Потапов В.Ю., Юматов Е.А.* Информационно-программное обеспечение для электроэнцефалографического анализа психической деятельности мозга // Нейрокомпьютеры: разработка и применение. 2016. № 11. С. 45-50.
14. *Yumatov E.A., Potapova O.V., Potapov V.Y., Glazachev O.S., Rajewski V.V.* The experimental behavioral model and software to identify of mental activity of the brain // Psychology and Behavioral Science International Journal. 2017. Vol. 2. № 1. PP. 1-4.
15. *Юматов Е.А., Храмов А.Е., Грубов В.В., Глазачев О.С., Дудник Е.Н., Каратыгин Н.А.* Исследование возможности распознавания психической деятельности мозга на основе вейвлетного анализа электроэнцефалограммы // Биомедицинская радиоэлектроника. 2018. № 4. С. 3-12.
16. *Yumatov E.A., Hramov A.E., Grubov V.V., Glazachev O.S., Dudnik E.N., Karatygin N.A.* Possibility for recognition of psychic brain activity with continuous wavelet analysis of EEG // Journal of Behavioral and Brain Science (JBBS). 2019. Vol. 9. № 3. PP. 67-77.
17. *Юматов Е.А., Потапов В.Ю., Каратыгин Н.А., Перцов С.С.* Экспериментальная модель и программное обеспечение для распознавания правдивых и ложных мысленных ответов на основе анализа электроэнцефалограммы // Биомедицинская радиоэлектроника. 2019. № 5. С. 38-44.
18. *Yumatov E.A., Potapov V.Yu., Karatygin N.A., Dudnik E.N., Pertsov S.S.* Experimental approach to the recognition of truthful and false mental responses based on the wavelet transform of the electroencephalogram // J. Trends in Med. 2019. Vol. 4. 19 p.
19. *Юматов Е.А., Каратыгин Н.А., Дудник Е.Н., Храмов А.Е., Грубов В.В., Перцов С.С.* Распознавание правдивого и ложного состояний мозга на основе вейвлетного анализа электроэнцефалограммы // Биомедицинская радиоэлектроника. 2021. № 1. С. 5-13.
20. *Юматов Е.А., Каратыгин Н.А., Дудник Е.Н., Глазачев О.С., Филищенко А.И., Сушкова Л.Т., Исаков Р.В., Аль-Хайдри В.А., Перцов С.С.* Выявление ложного и правдивого состояния человека на основе вейвлет-преобразования электроэнцефалограммы разных структур мозга // Биомедицинская радиоэлектроника. 2022. Т. 25. № 2-3. С. 84-93.
21. *Юматов Е.А., Потапов В.Ю., Дудник Е.Н., Каратыгин Н.А., Перцов С.С.* Экспериментальная модель и программное обеспечение для выявления процессов воспроизведения памяти на основе вейвлетного анализа электроэнцефалограммы // Вестник психофизиологии. 2019. № 2. С. 99-105.
22. *Yumatov E.A., Potapov V.Yu., Dudnik E.N., Karatygin N.A., Pertsov S.S.* Methodology, experimental model and software for indentifying memory replication processes based on wavelet analysis of electroencephalograms // J. Trends in Med. 2020. Vol. 20. № 3. PP. 1-4.
23. *Юматов Е.А., Каратыгин Н.А., Дудник Е.Н., Глазачев О.С., Филищенко А.И., Сушкова Л.Т., Исаков Р.В., Аль-Хайдри В.А., Перцов С.С.* Проявление памяти (воспоминания) в электроэнцефалограмме на основе вейвлет-преобразования // Биомедицинская радиоэлектроника. 2021. № 6. С. 37-45.

*Евгений Антонович Юматов,
академик,
Международная академия наук
(здоровье и экология),
д-р мед. наук, профессор,
гл. научный сотрудник,
ФГБНУ «Научно-исследовательский институт
нормальной физиологии им. П.К. Анохина»,
г. Москва,
e-mail: eayumatov@mail.ru*

* * * * *