

**Биоэлектрическая активность мозга юношей и девушек,
по-разному шкалирующих короткие интервалы времени****Я.В. Булгакова¹✉, Д.Ю. Булгаков², Я.А. Туровский³, М.С. Бут¹, А.Ю. Колесникова¹**¹ Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова, Москва, Россия² ООО «Современные решения», Москва, Россия³ Институт проблем управления имени В. А. Трапезникова Российской академии наук, Москва, Россия

Аннотация. В статье приводятся данные исследований биоэлектрической активности мозга юношей и девушек, различающихся параметрами работы субъективных шкал коротких интервалов времени (КИВ). Точность работы шкал КИВ оценили по меткам, нанесенным испытуемыми на электроэнцефалограмму (ЭЭГ) в процессе отмеров субъективного времени. Данные нормировали и кластеризовали методом k-средних. По результатам кластеризации испытуемых разделили на группы недоотмеривающих и переотмеривающих КИВ. Биоэлектрическую активность мозга характеризовали по ЭЭГ с учетом кластерной принадлежности. Обнаруженные различия параметров ЭЭГ позволяют предполагать различную организацию ритмической активности мозговых структур, связанных с оценкой времени у испытуемых, недоотмеривающих и переотмеривающих КИВ. Локализация и выраженность межкластерных различий ЭЭГ отличаются у юношей и девушек пространственными и частотными характеристиками.

Ключевые слова: субъективные шкалы времени, короткие интервалы времени, ЭЭГ, половые различия

ORIGINAL RESEARCHES

Original article

**Bioelectric brain activity in boys and girls with different scaling
of short time intervals****Ya.V. Bulgakova¹✉, D.Yu. Bulgakov², Ya.A. Turovsky³, M.S. But¹, A.Yu. Kolesnikova¹**¹ I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, Russia² "Modern solutions" IT company, Moscow, Russia³ Trapeznikov Institute of Management Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Abstract. The article presents data from studies of bioelectric brain activity in boys and girls, differing in the parameters of the subjective scales of short time intervals (STI). The accuracy and deviation of the STI scaling we evaluated by the marks that subjects applied to the electroencephalogram (EEG) during testing, than we normalized the data. Based on them, we divided the subjects into clusters of under-measuring and over-measuring STI using the k-means method. Taking into account cluster membership, we characterized bioelectric brain activity. The detected differences in the EEG parameters suggest a different organization of the rhythmic activity of brain structures associated with the assessment of time in subjects under-measure and over-measure STI. Localization and severity of intercluster EEG differences differ in spatial and frequency parameters in boys and girls.

Keywords: subjective time scales, short time intervals, EEG, sex differences

Точность оценки коротких интервалов времени во многом определяет успешность различных видов деятельности [1]. Экспериментальные работы обнаруживают взаимосвязь этого процесса с обработкой моторной и зрительной сенсорной информации [2, 3], формированием обратной связи в поведенческих актах, эмоциональной саморегуляцией, памятью [1]. Работа сложной системы оценки времени включает ритмические процессы в различных структурах мозга [1, 3]. Эти процессы образуют шкалу нервной активности, на которой отображается дли-

тельность временного отрезка [3]. В ряде исследований описано, что испытуемые склонны недооценивать либо переоценивать длительность временных отрезков во время экспериментов. Обнаружены отличия электрической активности мозга у испытуемых мужского и женского пола в фоновой активности и при воспроизведении длительности световых и звуковых стимулов [4, 5]. Однако вопрос об ЭЭГ признаках работы временных шкал у испытуемых разного пола без эталонных сигналов внешней среды, остается открытым.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Определить особенности биоэлектрической активности мозга у юношей и девушек в экспериментальной модели шкалирования коротких интервалов времени.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В исследовании на основе добровольного информированного согласия приняли участие 40 практически здоровых испытуемых (22 юноши и 18 девушек, правшей) в возрасте 18–19 лет. Эксперименты проведены в течение одного месяца в одинаковое время суток (11–14 часов). Испытуемые отмеривали интервалы времени длительностью 5 и 15 секунд нажатием левой клавиши компьютерной «мыши», по 5 попыток для каждой пробы. Считать при отмерах не разрешалось. Предварительной тренировки не проводилось. Нажатие клавиши мыши наносилось непосредственно на ЭЭГ в виде метки. Длительность субъективного интервала вычисляли в мс по расстоянию между метками.

ЭЭГ выполнили на электроэнцефалографе «Неокортекс» ООО «Нейроботикс» (г. Зеленоград) монополярно по схеме «10–20» в фронтальных (F3, F4), парietальных (P3, P4), височных (T3, T4), центральных (C3, C4) и затылочных (O1, O2) отведениях. ЭЭГ регистрировали с включенным режекторным фильтром (50 Гц) и выключенными фильтрами высоких и низких частот с частотой дискретизации 1 кГц при разрядности АЦП – 16 бит, использовали хлорсеребряные электроды фирмы «МКС» (Россия). Объединённые референтные электроды располагались на мочках ушей. Спектральную плотность мощности (СПМ) сигналов вычисляли в период 3 секунды после отмеривания временного интервала в диапазонах частот θ – тета-ритма (4–7 Гц), α – альфа-ритма (7–14 Гц), нижнего β_1 и верхнего β_2 бета-ритмов (14–24 и 24–40 Гц соответственно) после классического дискретного преобразования Фурье [6].

Для оценки фоновой активности усредненный спектр ЭЭГ вычисляли по методу Уэлча [6]: период записи 60 секунд разбивали на эпохи (окна) 3 секунды с перекрытием в 1 секунду, всего 60 отрезков, на основе которых строили доверительный интервал и оценивали вариабельность показателей. Точность шкалирования времени определили как разность между объективным интервалом времени длительностью 5 000 и 15 000 мс и субъективно отмеренным временем, а затем нормировали, разделив на величину соответствующего объективного интервала. Показатели кластеризовали методом k -средних, при этом выборка разделилась на 2 кластера. Увеличение числа кластеров приводило к детализации существующего разделения без выявления принципиально новых траекторий. Кластер высоких значений характеризовался меньшей точностью и склонностью недоотмеривать время.

Кластер низких значений отличался большей точностью отмеров и склонностью отмеривать КИВ длиннее, чем объективный отрезок времени. Выборки сравнили с использованием критерия Краскела – Уоллиса, эффект множественных сравнений корректировали, используя формулу Бернулли [7]. Различия считали достоверными при $p < 0,05$. Статобработка выполнена с использованием библиотек Python и программного комплекса Импульс [8].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При сравнении мощность спектра фоновой ЭЭГ юношей и девушек различалась как при открытых, так и при закрытых глазах на частоте θ -ритма в отведениях O1, O2, на частоте β_1 - и β_2 -ритмов в большинстве отведений. При этом у девушек отмечался более высокий уровень электрогенеза. Результаты скрининговых обследований свидетельствовали о сходных закономерностях [4, 5]. Принимая это во внимание, можно согласиться с предположением авторов о том, что различия связаны с более интенсивной эмоциональностью женщин по сравнению с мужчинами и определяются, в том числе, более интенсивными межполушарными взаимодействиями, выявляемыми при исследовании структуры фоновой ЭЭГ у испытуемых женского пола. Исследования гемодинамического обеспечения головного мозга согласуются с описанными явлениями. Их результаты описывают перераспределение кровотока в затылочных долях обоих полушарий у испытуемых женского пола, в отличие от правосторонних изменений, наблюдаемых у мужчин [9].

Анализ фоновой ЭЭГ с учетом кластеризации (табл.) показывает, что у юношей, недоотмеривших время (кластер высоких значений), сумма СПМ на частоте бета-ритма в центральных и лобных отведениях справа и слева, затылочном отведении справа была ниже, чем у тех, кто переотмерил время (кластер низких значений).

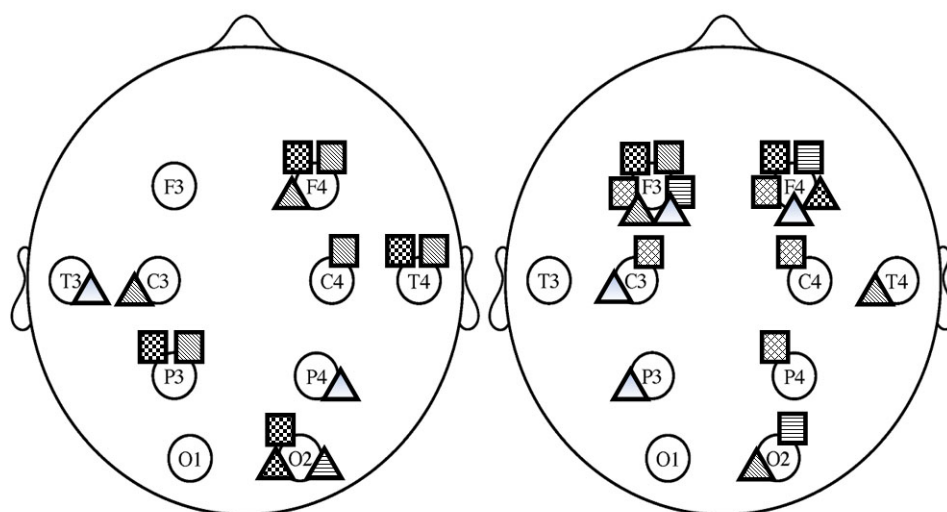
У операторов женского пола в фоновой биоэлектрической активности не было обнаружено межкластерных различий.

При шкалировании как 5, так и 15 секунд межкластерные различия биоэлектрической активности мозга обнаруживались как у юношей, так и у девушек в широком диапазоне ритмов (тета, альфа, бета), с преимуществом в сторону β_2 -ритма (рис.). Заметно, что у девушек в большем количестве они обнаруживались справа, в лобной, височной и затылочной долях. Количество межкластерных различий СПМ ЭЭГ у юношей превышало таковое у девушек. Различалась и их локализация: наибольшее количество концентрировалось в области лобных долей с обеих сторон.

Сумма СПМ фоновой ЭЭГ у юношей разных кластеров (медиана, среднее значение ± ошибка среднего)

Показатель	Кластер высоких значений (n = 9), СПМ; Зс-мкВ2/Гц; Ме, М ± m	Кластер низких значений (n = 10), СПМ; Зс-мкВ2/Гц; Ме, М ± m
Фон, глаза открыты, β1, O2*	24822757 32607282 ± 6209469	36093026 57717672 ± 13318632
Фон, глаза открыты, β2, C3*	4946051 5169917 ± 438456	7181029* 7963500 ± 959033
Фон, глаза открыты, β2, C4*	4207669 5141182 ± 715165	6989021 7876297 ± 931478
Фон, глаза открыты, β2, F4*	10994607 12465958 ± 2500348	16562120 22142891 ± 6268368
Фон, глаза закрыты, β2, C3*	4664989 5090457 ± 532933	7995847 8577546 ± 1151814
Фон, глаза закрыты, β2, F3*	10053267 10804505 ± 1032239	14770815 14758236 ± 1154765
Фон, глаза закрыты, β2, F4*	9550576 11690646 ± 2509538	15948577 600881 ± 1483351

* Различия достоверны, p < 0,05.



■ - проба 5 секунд, тета-ритм; ▲ - проба 15 секунд, тета-ритм; ▣ - проба 5 секунд, альфа-ритм; ▤ - проба 15 секунд, альфа-ритм; ▥ - проба 5 секунд, бета-нижний; ▦ - проба 15 секунд, бета-нижний; ▧ - проба 5 секунд, бета-верхний; ▨ - проба 15 секунд, бета-верхний. Различия достоверны: p < 0,05.

Рис. Локализация различий СПМ между кластерами высоких и низких значений у девушек (слева) и юношей (справа) при шкалировании коротких интервалов времени

Как в зарубежной, так и в отечественной научной литературе случаи разделения испытуемых по отклонениям шкалирования временных промежутков описывались неоднократно [10]. Если принимать в качестве отправной точки рассуждений гипотезу о работе СШВ, как о процессе синхронизации ритмических процессов, протекающих в различных структурах мозга [1, 3], то полученные в нашем исследовании данные можно трактовать как признаки различной организации активности мозговых структур, связанных с оценкой времени у испыту-

емых, недоотмеривающих (кластер высоких значений) и переотмеривающих (кластер низких значений) КИВ. При этом выраженность межкластерных различий имеет гендерные особенности. У юношей различия СПМ ЭЭГ обнаруживаются как при выполнении задач шкалирования коротких интервалов времени, так и в фоновой биоэлектрической активности. У девушек межкластерные различия биоэлектрической активности мозга отмечаются при выполнении задач шкалирования временных промежутков и не обнаруживаются в фоновой записи.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

У юношей, по-разному шкалирующих КИВ в экспериментальной модели, обнаруживаются различия спектральной плотности мощности ЭЭГ между кластером переоценивающих длительность времени и недооценивающих ее. Межкластерные различия у юношей можно обнаружить как в фоновой биоэлектрической активности мозга, так и в процессе выполнения ими задач шкалирования КИВ. У девушек подобные различия обнаруживаются только при выполнении теста шкалирования времени и не проявляются в фоновой активности.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Shapiro M.L. Time is just a memory. *Nature Neuroscience*. 2019;(22):151–153.
2. Casassus M., Poliakoff E., Gowen E. et al. Time perception and autistic spectrum condition: A systematic review. *Autism Research*. 2019;10(12):1440–1462.
3. Jura B. A mechanism of synaptic clock underlying subjective time perception. *Frontiers in Neuroscience*. 2019; JUL(13):1–12.
4. Бельских И.А., Голубев С.А., Козаренко Л.А., Плотников Д.В. Гендерные различия структуры общемозговых индексов фоновой ЭЭГ человека. *Курский научно-практический вестник «Человек и его здоровье»*. 2011;2:5–8.
5. Богомолов А.М., Булатова О.В., Трасковский В.В. и др. Половые особенности корковых взаимодействий в связи с точностью узнавания коротких интервалов времени и индивидуально-психологическими свойствами. *Вестник Кемеровского государственного университета*. 2015;5(2):7–16.
6. Welch P. The use of fast Fourier transform for the estimation of power spectra: A method based on time averaging over short, modified periodograms. *IEEE Transactions on Audio and Electroacoustics*. 1967;15(2):70–73.
7. Туровский Я.А., Борзунов С.В., Вахтин А.А. Алгоритм коррекции статистического оценивания с учетом эффекта множественных сравнений на основе группировки результатов тестов. *Программная инженерия*. 2022;3(13):148–152.
8. Булгаков Д.Ю., Булгакова Я.В., Каратыгин Н.А. Современное свободное программное обеспечение для анализа и обработки электроэнцефалограмм: возможности и выбор. *Программная инженерия*. 2020;4(11):205–212.
9. Кулагин П.А., Лапкин М.М., Трутнева Е.А., Зорин Р.А. Половые различия гемодинамического обеспечения головного мозга человека при выполнении моделируемой когнитивной деятельности. *Вестник Волгоградского государственного медицинского университета*. 2022;83(3):34–41.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Информация об авторах

Ярослава Викторовна Булгакова – кандидат медицинских наук, доцент кафедры нормальной физиологии, доцент, Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова, Москва, Россия; bulgakova_ya_v@staff.sechenov.ru

10. Булгакова Я.В., Туровский Я.А., Булгаков Д.Ю. и др. Перспективы использования свойств субъективных временных шкал для оценки нагрузочной переносимости. *Теория и практика физической культуры*. 2022;1:36–38.

REFERENCES

1. Shapiro M.L. Time is just a memory. *Nature Neuroscience*. 2019;(22):151–153
2. Casassus M., Poliakoff E., Gowen E. et al. Time perception and autistic spectrum condition: A systematic review. *Autism Research*. 2019;10(12):1440–1462
3. Jura B. A mechanism of synaptic clock underlying subjective time perception. *Frontiers in Neuroscience*. 2019; JUL(13):1–12.
4. Bel'skih I.A., Golubev S.A., Kozarenko L.A., Plotnikov D.V. Gender differences of structures of cerebral indexes of the background human EEG. *Kurskij Nauchno-Prakticheskij Vestnik Chelovek I Ego Zdorov'e = Kursk scientific and practical bulletin man and his health*. 2011;2:5–8. (In Russ.)
5. Bogomolov A.M., Bulatova O.V., Traskovskij V.V. et al. Sex differences of cortical interactions in connection with the accuracy of short time intervals recognition and individual psychological characteristics. *Vestnik Kemerovskogo gosudarstvennogo universiteta = Bulletin of Kemerovo State University*. 2015; 2015;5(2):7–16. (In Russ.)
6. Welch P. The use of fast Fourier transform for the estimation of power spectra: A method based on time averaging over short, modified periodograms. *IEEE Transactions on Audio and Electroacoustics*. 1967;15(2):70–73.
7. Turovskij Ya.A., Borzunov S.V., Vahtin A.A. An algorithm for correction of statistical estimations taking into account the effect of multiple comparisons based on test results grouping. *Programnaya inzheneriya = Journal "Software engineering"*. 2022;3(13):148–152. (In Russ.)
8. Bulgakov D.Yu., Bulgakova Ya.V., Karatygin N.A. Up-to-date open-source software for the analysis and processing of electroencephalograms: opportunities and the choices. *Programnaya inzheneriya = Journal "Software engineering"*. 2020;4(11):205–212. (In Russ.)
9. Kulagin P.A., Lapkin M.M., Trutneva E.A., Zorin R.A. Sex differences of hemodynamic support of the human brain when performing modulated cognitive activity. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta = Journal of Volgograd State Medical University*. 2022;83(3):34–41. (In Russ.)
10. Bulgakova Ya. V., Turovsky Ya. A., Bulgakov D. Y. et al. Benefits of subjective time scales for physical stress tolerance rating tests. *Teoriya i praktika fizicheskoy kul'tury = Theory and Practice of Physical Culture*. 2022;1:36–38. (In Russ.)

Дмитрий Юрьевич Булгаков – советник, ООО «Современные решения», Москва, Россия; dbulgakov7@yandex.ru
Ярослав Александрович Туровский, – доктор технических наук, кандидат медицинских наук, доцент, заведующий лабораторией медицинской кибернетики, Воронежский государственный университет, Воронеж; старший научный сотрудник, Институт проблем управления имени В.А. Трапезникова Российской академии наук, Москва, Россия; yaroslav_turovsk@mail.ru
Максим Сергеевич Бут – студент, Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова, Москва, Россия; but_m_s@student.sechenov.ru
Александра Юрьевна Колесникова – студентка, Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова, Москва, Россия; alexakolesnickowa@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 07.09.2023; одобрена после рецензирования 16.11.2024; принята к публикации 03.03.2025.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Information about the authors

Yaroslava V. Bulgakova – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Department of Normal Physiology, Associate Professor, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, Russia; ✉ bulgakova_ya_v@staff.sechenov.ru
Dmitry Yu. Bulgakov – Advisor, “Modern solutions” IT company, Moscow, Russia; dbulgakov7@yandex.ru

Yaroslav A. Turovsky – Doctor of Technical Sciences, Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Head of the Laboratory of Medical Cybernetics, Voronezh State University, Voronezh; Senior Researcher, Trapeznikov Institute of Management Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia; yaroslav_turovsk@mail.ru

Maxim S. But – Student, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, Russia; but_m_s@student.sechenov.ru

Alexandra Yu. Kolesnikova – Student, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, Russia; alexakolesnickowa@yandex.ru

The article was submitted 07.09.2023; approved after reviewing 16.11.2024; accepted for publication 03.03.2025.