

ХАРАКТЕРИСТИКИ БИОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ГОЛОВНОГО МОЗГА У СПОРТСМЕНОВ ПРИ СОЧЕТАНИИ КОГНИТИВНОЙ И ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗОК

Н.А. Овчинникова¹, Э.Ф. Южанин², Е.В. Медведева³, Л.В. Капилевич^{1,2,3}

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия,

²Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия,

³Сибирский государственный медицинский университет, г. Томск, Россия

Цель исследования – изучить биоэлектрическую активность головного мозга у спортсменов различных специализаций на фоне сочетания когнитивной и физической нагрузок. **Материалы и методы.** Было обследовано 30 мужчин в возрасте 18–20 лет, которые были разделены на три группы – контроль, спортсмены-легкоатлеты и тяжелоатлеты. Электроэнцефалографическое обследование выполнялось на программно-аппаратном комплексе «Нейрон-спектр 4/П» (Нейрософт, Россия), оценивалась средняя мощность частотных спектров для альфа-, высоко- и низкочастотных бета-, тета- и дельта-диапазонов. На первом этапе у испытуемого регистрировалась электроэнцефалограмма в состоянии покоя с закрытыми глазами. На втором этапе испытуемому предлагалось выполнить Айова-тест (IGT) на компьютере, ЭЭГ регистрировалась во время выполнения теста. После этого обследуемый выполнял физическую нагрузку в виде теста PWC170. На третьем этапе, сразу после выполнения нагрузки, испытуемые повторно выполняли тест, во время которого регистрировалась ЭЭГ. **Результаты.** Показано, что у спортсменов различных специализаций реакция биоэлектрической активности головного мозга на когнитивную и физическую нагрузку по многим показателям количественно и качественно отличается от нетренированных волонтеров. При выполнении когнитивной пробы у спортсменов отмечается усиление мощности спектров дельта- (а у тяжелоатлетов – и тета-) диапазона в большей степени, чем в контроле. В отличие от контрольной группы физическая нагрузка у спортсменов чаще способствует снижению мощности спектров ЭЭГ, особенно в бета- и дельта-диапазонах. **Заключение.** Полученные результаты позволяют говорить об определенных паттернах ритмики ЭЭГ для спортсменов различных специализаций при выполнении когнитивных и физических нагрузок. Изменение показателей биоэлектрической активности головного мозга при переходе от состояния покоя к выполнению когнитивного теста до и после физической нагрузки у спортсменов различных специализаций отражает функциональное состояние корковых и подкорковых структур, которые непосредственно связаны с обеспечением оптимальной деятельности в созданных условиях.

Ключевые слова: электроэнцефалография, велоэргометрия, когнитивный тест, Айова-тест.

Введение. Наряду с исследованиями биомеханических основ движения спортсменов важным является изучение механизмов регуляции на разных уровнях, в том числе показателей, характеризующих функциональное состояние центральной нервной системы [1, 17]. Во многих исследованиях сообщается, что упражнения могут влиять на когнитивные способности [7, 16, 23]. Но для понимания взаимосвязи между психологией и физиологией в спортивной нейробиологии требуется изучение динамики функций мозга в реальном времени во время тренировок [20].

В настоящее время в спортивной нейробиологии показано, что спортивные результаты можно улучшить, развивая когнитивные способности. В частности, внимание способствует целенаправленному поведению, уменьшая отвлекающие факторы от внешних стимулов, оно является критически важной когнитивной способностью во время упражнений и соревнований [10]. Некоторые исследования показали, что эта способность тесно связана со спортивным опытом [8]. Однако требуется выяснение связей между когнитивной деятельностью и физической активно-

стью, в том числе с применением нейрофизиологических методов [14].

В этом отношении визуализация мозга позволит обеспечить новые подходы к тренировкам, более глубокое понимание взаимосвязи между психологией и физиологией в спортивной науке. Электроэнцефалография (ЭЭГ) – один из наиболее перспективных методов [5, 6]. Регистрация ЭЭГ визуализирует временную и / или частотную динамику электрической активности в головном мозге и позволяет оценить, какие типы когнитивных процессов имеют место [9, 13]. Таким образом, этот метод широко используется для объяснения состояния мозга человека во время занятий спортом и физических упражнений [4, 15]. Например, индексы ЭЭГ использовались для изучения различий в активности мозга между чемпионами и новичками [21, 22] и для поддержания оптимальных спортивных результатов с помощью нейробиоуправления [11, 12, 18, 19].

Цель данного исследования – изучить биоэлектрическую активность головного мозга у спортсменов различных специализаций на фоне сочетания когнитивной и физической нагрузок.

Методы исследования. В исследовании принимали участие спортсмены, тренирующиеся в различных видах спорта, а также здоровые волонтеры, не занимающиеся спортом. Все обследуемые – 30 мужчин в возрасте 18–20 лет.

Контрольная группа состояла из волонтеров, не занимавшихся спортом и посещавших занятия по физической культуре два раза в неделю в основной группе здоровья ($n = 10$). В первую экспериментальную группу входили спортсмены уровня I взрослый разряд, кандидат в мастера спорта, тренирующиеся в циклических видах спорта (бег, лыжные гонки) – $n = 10$. Вторая экспериментальная группа включала спортсменов уровня I взрослый разряд, кандидат в мастера спорта, тренирующиеся в силовых видах спорта (тяжелая атлетика) – $n = 10$.

Электроэнцефалографическое обследование выполнялось на программно-аппаратном комплексе «Нейрон-спектр 4/П» («Нейрософт», Россия) в системе отведений «10–20» по 8 каналам (лобные (FP1-2), область центральной борозды (C3-4), височные (T3-4), затылочные (O1-2) электроды). Оценивалась средняя мощность частотных спектров для

альфа-, высоко- и низкочастотных бета-, тета- и дельта-диапазонов.

Для спектрального анализа использовали 60-секундные отрезки безартефактной записи, подразделявшиеся на четырехсекундные эпохи, подвергавшиеся быстрому преобразованию Фурье с использованием окна Ханна. Преобразование Фурье позволяет разложить сигнал на три гармонические составляющие без какой-либо потери информации: амплитуда, начальная фаза, частота. Зависимость амплитуды и фазы от частоты называется спектром. Вычисление спектров мощности ЭЭГ позволяет получить характеристику частотного состава ЭЭГ в количественных величинах ($\text{мкВ}^2/\text{с}$). При анализе спектров рассматривается мощность частотных составляющих ЭЭГ за данный исследуемый отрезок времени, за счет чего можно определить соотношение мощности разных ритмов ЭЭГ и выявить те частоты, которые невозможно выявить при визуальном анализе.

Электроэнцефалографическое обследование проводилось в три этапа. На первом этапе у испытуемого регистрировалась электроэнцефалограмма в состоянии покоя с закрытыми глазами (фоновая запись) в течение 60 с.

На втором этапе испытуемому предлагалось выполнить Айова-тест (IGT) [2] на компьютере, ЭЭГ регистрировалась во время выполнения теста. Для анализа выбирались участки стабильной записи без артефактов продолжительностью 60 с.

IGT по азартным играм оценивает процесс принятия решений с использованием карт. Испытуемый должен выбрать одну из четырех колод карт (названных А, В, С и D). Он может выиграть или проиграть деньги с каждой картой. Колоды А и В всегда приносили \$ 100; колоды С и D всегда приносили \$ 50. Для каждой выбранной карты также существует 50%-ная вероятность того, что придется заплатить штраф. Для колод А и В штраф составляет 250 долларов, а для колод С и D – 50 долларов.

Испытуемому предлагается следующая инструкция: В этом задании вы играете в азартную игру. Вам нужно выбрать одну из 4 кнопок (А, В, С, D) с помощью мыши. Каждый раз вы можете выиграть немного денег, но иногда вам также придется платить комиссию банку. После каждого испытания вы должны собирать свои деньги, которые будут корректировать ваш банк денег. Вы начинаете

с кредита в \$ 2000. Есть 100 испытаний (занимает около 5 мин). Продолжайте до тех пор, пока он не остановится, и посмотрите, сколько вы можете заработать поверх кредита в \$ 2000.

Считается, что тест оценивает функцию вентромедиальной префронтальной коры. Эта часть мозга, помимо прочего, участвует в обработке риска, страха, эмоций и принятия решений [2].

После этого обследуемый выполнял физическую нагрузку в виде теста PWC170 (Physical Working Capacity, физическая работоспособность) [20]. Предлагались две нагрузки возрастающей мощности на велоэргометре длительностью по пять минут каждая, без предварительной разминки, с интервалом отдыха три минуты. Величина первой нагрузки задавалась в зависимости от массы тела испытуемого, мощность второй нагрузки задавалась с учетом ЧСС, вызванной первой нагрузкой. Частота педалирования – 60–70 об/мин. В конце пятой минуты каждой нагрузки (за последние 30 с) регистрировали ЧСС.

На третьем этапе, сразу после выполнения нагрузки, испытуемые повторно выполняли тест, во время которого регистрировалась ЭЭГ.

Статистическая обработка данных проводилась с использованием пакета статистического анализа STATISTICA 8.0. Достоверность рассчитывали по Kruskal – Wallis ANOVA-test. За статистически значимое различие принимали $p \leq 0.05$.

Исследование было одобрено комиссией по биоэтике Биологического института Томского государственного университета (протокол № 33 от 02.12.2019), все участники давали информированное согласие на участие в исследовании.

Результаты исследований. На рисунке представлены величины средней мощности частотных спектров для альфа-, высоко- и низкочастотных бета-, тета- и дельта-диапазонов в обследованных группах.

На рисунке даны следующие обозначения: отведения: FP – лобные (1 – слева, 2 – справа), C – область центральной борозды (3 – слева, 4 – справа), T – височные (3 – слева, 4 – справа), O – затылочные (1 – слева, 2 – справа); сплошная линия – ЭЭГ в покое; короткий пунктир – ЭЭГ при выполнении теста до физической нагрузки; длинный пунктир – ЭЭГ при выполнении теста после физической нагрузки; * – достоверность различий в группе в

покое и во время выполнения теста, $p < 0,05$; # – достоверность различий в группе во время выполнения теста до и после физической нагрузки, $p < 0,05$; & – достоверность различий с контрольной группой в покое, $p < 0,05$; \$ – достоверность различий с контрольной группой во время выполнения теста, $p < 0,05$; @ – достоверность различий с контрольной группой после физической нагрузки, $p < 0,05$.

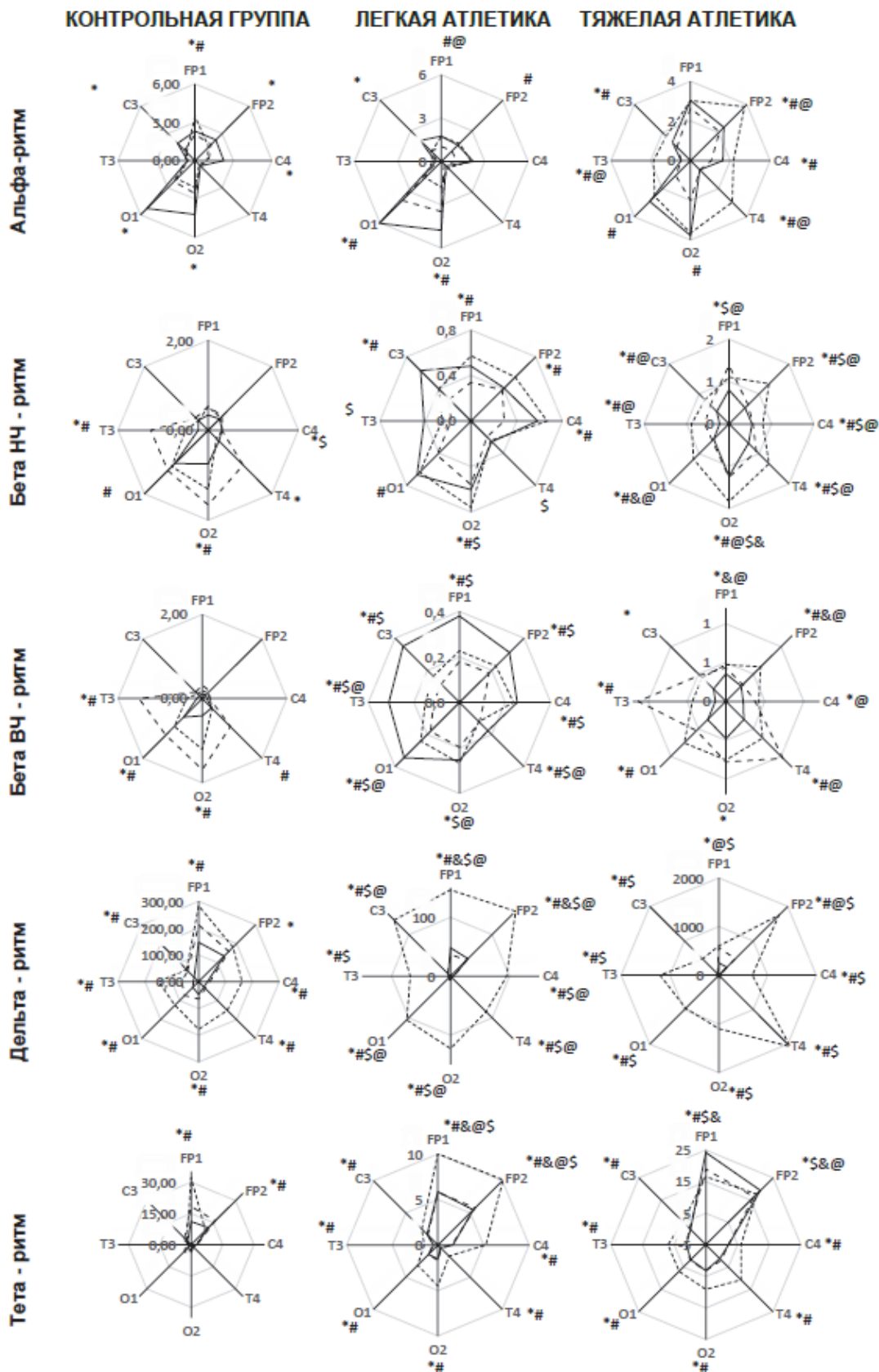
В состоянии покоя мы наблюдали преобладание мощности спектра альфа-диапазона в затылочной области. Достоверных различий между группами спортсменов и нетренированных волонтеров мы не зарегистрировали.

У нетренированных волонтеров при выполнении теста IGT наблюдалось значительное (в два раза) угнетение активности альфа-диапазона в затылочных отведениях. В других областях коры альфа-активность также подавлялась, но не столь выражено. При выполнении IGT после физической нагрузки наблюдалась аналогичная картина. Полученные результаты в целом совпадают с данными, опубликованными ранее в литературе [6].

У спортсменов-легкоатлетов при выполнении теста IGT мы также отмечали существенное угнетение активности альфа-диапазона, однако после физической нагрузки величина мощности спектра возрастала, хотя и не достигала значений, регистрируемых в состоянии покоя. По всей видимости, спортсмены-легкоатлеты в большей степени адаптированы к нагрузкам циклического характера.

У спортсменов-тяжелоатлетов картина была принципиально иной. Мы не отмечали угнетения активности альфа-диапазона в затылочной области при выполнении теста IGT. При этом в лобно-центральной области справа активность альфа-диапазона усиливалась. В то же время после физической нагрузки активность альфа-диапазона угнеталась во всех отведениях. Можно предположить, что полученные различия связаны с тем, что физическая нагрузка циклического характера не является привычной для спортсменов-тяжелоатлетов.

Мощность спектра бета-диапазона (как высоких, так и низких частот) у волонтеров контрольной группы также преобладала в затылочных отделах. При выполнении теста IGT отмечалось усиление данного показателя, что также согласуется с литературными данными [6]. После физической нагрузки мощность спектра бета-диапазона возрастала еще в большей степени.



Величины средней мощности спектра электроэнцефалограммы у спортсменов и нетренированных волонтеров во время выполнения когнитивного теста до и после физической нагрузки. Данные представлены в виде средних арифметических, единицы измерения – $\mu\text{V}^2/\text{с}$
Average EEG power in athletes and untrained volunteers under cognitive load before and after exercise. Data are presented as arithmetic means, units of measurement – $\mu\text{V}^2/\text{s}$

У спортсменов обеих групп, в отличие от контроля, не отмечалось преобладания мощности спектра бета-диапазона в затылочной области – он приблизительно равномерно распределялся по всем отведениям. Однако у легкоатлетов при выполнении теста IGT мощность спектра бета-диапазона низких частот достоверно не изменялась, а высоких частот – снижалась. После физической нагрузки мощность спектра бета-диапазона снижалась еще сильнее во всех отведениях.

У спортсменов-тяжелотлетов мы наблюдали возрастание мощности спектра бета-диапазона при выполнении теста IGT во всех отведениях. После физической нагрузки указанный показатель снижался в центрально-затылочной области для бета-диапазона низких частот и усиливался в височной области для бета-диапазона высоких частот.

На сегодняшний день изменение амплитудных и частотных характеристик бета-диапазона является предметом дискуссии. Повышение уровня активации мозга при решении арифметических задач, при чтении текста и просто при открывании глаз связывают с ростом мощности бета-частот [5, 6]. Полученные нами характеристики бета-активности могут быть связаны с различной степенью активации нервных центров при выполнении физических упражнений в разных группах и отражать уровень адаптационного потенциала, степень эмоциональной стабильности, устойчивости к стрессовым ситуациям.

В состоянии покоя у всех обследованных волонтеров – как нетренированных лиц, так и спортсменов обеих специализаций – медленная активность тета- и дельта-диапазонов преобладала во фронтальной области коры.

При выполнении теста IGT у всех обследованных групп отмечалось существенное усиление мощности спектра дельта-диапазона, преимущественно во фронтальной и затылочной области. Однако после физической нагрузки указанный показатель снижался, приближаясь к показателям, регистрируемым в покое.

Сходная динамика отмечалась и со стороны мощности спектра тета-диапазона в группе спортсменов-легкоатлетов. Как в контроле, так и у тяжелоатлетов изменения со стороны мощности спектра тета-диапазона были незначительны как при выполнении теста IGT, так и после физической нагрузки.

Вопрос о функциональном значении медленных ритмов до сегодняшнего дня остается предметом дискуссий. Однако существуют факты, позволяющие рассматривать этот ритм как показатель состояния психофизиологической направленности человека, индикатор эмоционального возбуждения, «ритм напряжения» [5, 6]. Возможно, выявляемые изменения медленной активности при выполнении теста IGT отражают эмоциональную компоненту восприятия теста. После физической нагрузки эмоциональное восприятие теста ослабевает, что находит свое отражение в снижении мощности спектра медленной активности.

Заключение. Полученные результаты позволяют говорить об определенных паттернах ритмики ЭЭГ, для спортсменов различных специализаций при выполнении когнитивных и физических нагрузок.

У спортсменов различных специализаций реакция биоэлектрической активности головного мозга на когнитивную и физическую нагрузку по многим показателям количественно и качественно отличается от нетренированных волонтеров. При выполнении когнитивной пробы у спортсменов отмечается усиление мощности спектров дельта- (а у тяжелоатлетов – и тета-) диапазона в большей степени, чем в контроле. В отличие от контрольной группы физическая нагрузка у спортсменов чаще способствует снижению мощности спектров ЭЭГ, особенно в бета- и дельта-диапазонах.

Полученные результаты согласуются с данными [3] об активации при выполнении физических упражнений различных функциональных систем головного мозга, связанных со стратегическим планированием и анализом имеющегося опыта. Авторы также показали, что характер ЭЭГ коррелирует с интенсивностью упражнений и уровнем внимания. Это подтверждает предположение об общих механизмах, лежащих в основе поведенческих изменений, связанных с навыками движения.

Изменение показателей биоэлектрической активности головного мозга при переходе от состояния покоя к выполнению когнитивного теста до и после физической нагрузки у спортсменов различных специализаций отражает функциональное состояние корковых и подкорковых структур, которые непосредственно связаны с обеспечением оптимальной деятельности в созданных условиях.

Литература

1. Попова, Т.В. Вариабельность биоэлектрической активности мозга при различных состояниях спортсменов / Т.В. Попова, Ю.И. Корюкалов, О.Г. Коурова // Теория и практика физ. культуры. – 2006. – № 8. – С. 28–30.
2. Bechara, A. The Iowa Gambling Task and the somatic marker hypothesis: some questions and answers / A. Bechara, H. Damasio, D. Tranel, A.R. Damasio // Trends in Cognitive Sciences. – 2005. – Vol. 9 (4). – P. 159–162.
3. Brain activation patterns during visuo-motor adaptation in motor experts and novices: An FDG PET study with unrestricted movements / G. Blazhenetsa, A. Kurzb, L. Fringsa et al. // Journal of Neuroscience Methods. – 2021. – Vol. 350. – P. 109061.
4. Brain oscillations in sport: toward EEG biomarkers of performance / G. Cheron, G. Petit, J. Cheron et al. // Front. Psychol. – 2016. – Vol. 7. – P. 246.
5. Characteristics of brain bioelectric activity in disabled students: Combining cognitive and physical loads / K.V. Davletyarova, E.V. Medvedeva, N.A. Ovchinnikova et al. // Novosibirsk State Pedagogical University Bulletin. – 2018. – Vol. 8 (5). – P. 245–265.
6. Detrended Fluctuation, Coherence, and Spectral Power Analysis of Activation Rearrangement in EEG Dynamics during Cognitive Workload // I. Seleznov, I. Zyma, K. Kiyono et al. // Front. Hum. Neurosci. – 2019. – Vol. 3. – P. 270.
7. EEG alpha rhythm spatial distribution depending on level of motor activity / A.V. Kabachkova, G.S. Lalaeva, A.N. Zakharova, L.V. Kapilevich // Teoriya i praktika fizicheskoy kultury. – 2016. – No. 2. – P. 83–85.
8. Enhanced response inhibition in experienced fencers / D. Zhang, H. Ding, X. Wang et al. // Sci. Rep. – 2015. – Vol. 5. – P. 16282.
9. Freeman, W.J. The electrical activity of a primary sensory cortex: the analysis of EEG waves / W.J. Freeman // Intern. Rev. Neurobiol. – 1963. – Vol. 5. – P. 53–119.
10. Furley, P. Working memory, attentional control, and expertise in sports: a review of current literature and directions for future research / P. Furley, G. Wood // J. Appl. Res. Memory Cogn. – 2016. – Vol. 5. – P. 415–425.
11. Illarionova, A.V. Characteristics of brain bioelectrical activity during feedback training / A.V. Illarionova, L.V. Kapilevich // Human Sport Medicine. – 2019. – Vol. 19 (S1). – P. 7–17.
12. Mirifar, A. Neurofeedback as supplementary training for optimizing athletes' performance: a systematic review with implications for future research / A. Mirifar, J. Beckmann, F. Ehrlenspiel // Neurosci. Biobehav. – 2017. – Rev. 75, P. 419–432.
13. Older People's Experiences of Mobility and Mood in an Urban Environment: A Mixed Methods Approach Using Electroencephalography (EEG) and Interviews / S. Tilley, Ch. Neale, A. Patuano, S. Cinderby // Int. J. Environ. Res. Public Health. – 2017. – Vol. 14 (2). – P. 151.
14. Park, J.L. Making the case for mobile cognition: EEG and sports performance / J.L. Park, M.M. Fairweather, D.I. Donaldson // Neuroscience & Biobehavioral Reviews. – 2015. – Vol. 52. – P. 117–130.
15. Perrey, S. Studying brain activity in sports performance: contributions and issues / S. Perrey, P. Besson // Progr. Brain Res. – 2018. – Vol. 240. – P. 247–267.
16. Psycho-physiological and cognitive abilities rating versus individual motor activity levels / A.V. Kabachkova, G.S. Lalaeva, A.N. Zakharova, L.V. Kapilevich // Teoriya i praktika fizicheskoy kultury. – 2016. – No. 12. – P. 85–86.
17. Psychophysiological features of cyclic and endurance athletes / G.S. Lalaeva, A.N. Zakharova, A.V. Kabachkova et al. // Teoriya i praktika fizicheskoy kultury. – 2015. – No. 11. – P. 73–75.
18. Sensorimotor rhythm neurofeedback enhances golf putting performance / M.Y. Cheng, C.J. Huang, Y.K. Chang et al. // Sport Exerc. Psychol. – 2015. – Vol. 37. – P. 626–636.
19. The effect of neurofeedback training for sport performance in athletes: a meta analysis / M.Q. Xiang, X.H. Hou, B.G. Liao et al. // Psychol. Sport Exerc. – 2018. – Vol. 36. – P. 114–122.
20. The Impact of Vigorous Cycling Exercise on Visual Attention: A Study with the BR8 Wireless Dry EEG System / C-T. Lin, J-T. King, A.R. John et al. // Front. Neurosci. – 2021. – Vol. 15. – P. 621365.
21. Wang, C.H. From the lab to the field: potential applications of dry EEG systems to understand the brain-behavior relationship in sports / C.H. Wang, D. Moreau, S.C. Kao // Front. Neurosci. – 2019. – Vol. 13. – P. 893.
22. Wang, C.H. Neural correlates of expert

behavior during a domain-specific attentional cueing task in badminton players / C.H. Wang, K.C. Tu // J. Sport Exerc. Psychol. – 2017. – Vol. 39. – P. 209–221.

23. Yezhova, G.S. *Brain Bioelectrical*

Activity and Cerebral Hemodynamics in Athletes under Combined Cognitive and Physical Loading / G.S.Yezhova, A.N.Zakharova, A.V. Kabachkova et al. // Human Physiology. – 2019. – Vol. 45 (2). – P. 164–173.

Овчинникова Наталия Андреевна, аспирант отделения физической культуры, Национальный исследовательский Томский политехнический университет. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30. E-mail: ona06_1995@mail.ru, ORCID: 0000-0002-1530-6382.

Южанин Эмин Фирудинович, магистрант, Национальный исследовательский Томский государственный университет. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36. E-mail: emin.yuzhanin@mail.ru, ORCID: 0000-0002-7821-8873.

Медведева Елена Владимировна, ассистент кафедры физической культуры и здоровья, Сибирский государственный медицинский университет. 634050, г. Томск, ул. Московский тракт, 2. E-mail: medvelvl@gmail.com, ORCID: 0000-0002-7263-8949.

Капилевич Леонид Владимирович, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой спортивно-оздоровительного туризма, спортивной физиологии и медицины факультета физической культуры, Национальный исследовательский Томский государственный университет. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30; профессор отделения физической культуры, Национальный исследовательский Томский политехнический университет. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36; старший научный сотрудник ЦНИЛ, Сибирский государственный медицинский университет. 634050, г. Томск, ул. Московский тракт, 2. E-mail: kapil@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-2316-576X.

Поступила в редакцию 6 июня 2021 г.

DOI: 10.14529/hsm210308

BIOELECTRICAL ACTIVITY OF THE BRAIN IN ATHLETES UNDER COGNITIVE AND PHYSICAL LOAD

N.A. Ovchinnikova¹, ona06_1995@mail.ru, ORCID: 0000-0002-1530-6382,
E.F. Yuzhanin², emin.yuzhanin@mail.ru, ORCID: 0000-0002-7821-8873,
E.V. Medvedeva³, medvelvl@gmail.com, ORCID: 0000-0002-7263-8949,
L.V. Kapilevich^{1,2,3}, kapil@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-2316-576X

¹National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russian Federation,

²National Research Tomsk State University, Tomsk, Russian Federation,

³Siberian State Medical University, Tomsk, Russian Federation

Aim. The paper aims to identify the bioelectrical activity of the brain in athletes of various sports under cognitive and physical load. **Materials and methods.** 30 males aged 18–20 years were examined and divided into three groups (control, track and field, weightlifters). EEG data were collected with the Neuron-Spectrum 4/P system (Neurosoft, Russia). The average power was found for alpha, beta (high and low frequency), theta (high and low frequency) and delta (high and low frequency) activity. At the first stage, EEG was recorded at rest with eyes closed. At the second stage, EEG was recorded during the Iowa test. Then, the PWC170 test was performed. At the third stage, immediately after physical activity, EEG was obtained during the repeated test. **Results.** In athletes of various sports, response to cognitive and physical activity in many respects quantitatively and qualitatively differs from untrained volunteers. Under cognitive load track and field athletes showed a greater increase in delta (and in weightlifters – in theta) activity than in the control group. In contrast to the control group, physical activity in athletes often contributed to a decrease in EEG power, especially in the beta and delta ranges.

Conclusion. The results obtained allow us to identify certain EEG patterns among athletes of various sports under cognitive and physical load. Changes in the bioelectrical activity of the brain during the transition from rest to cognitive activity before and after exercise reflect the functional state of the cortical and subcortical structures, which are directly related to optimal activity in the created conditions.

Keywords: *electroencephalography, bicycle ergometry, cognitive test, Iowa test.*

References

1. Popova T.V., Koryukalov Yu.I., Kourova O.G. [Variability of the Bioelectrical Activity of the Brain in Different States of Athletes]. *Teoriya i praktika fizicheskoy kul'tury* [Theory and Practice of Physical Culture], 2006, no. 8, pp. 28–30. (in Russ.)
2. Bechara A., Damasio H., Tranel D., Damasio A.R. The Iowa Gambling Task and the Somatic Marker Hypothesis: Some Questions and Answers. *Trends in Cognitive Sciences*, 2005, vol. 9 (4), pp. 159–162. DOI: 10.1016/j.tics.2005.02.002
3. Blazhenetsa G., Kurzb A., Fringsa L. et al. Brain Activation Patterns during Visuomotor Adaptation in Motor Experts and Novices: An FDG PET Study with Unrestricted Movements. *Journal of Neuroscience Methods*, 2021, vol. 350, p. 109061. DOI: 10.1016/j.jneumeth.2020.109061
4. Cheron G., Petit G., Cheron J. et al. Brain Oscillations in Sport: Toward EEG Biomarkers of Performance. *Front. Psychol.*, 2016, vol. 7, p. 246. DOI: 10.3389/fpsyg.2016.00246
5. Davletyarova K.V., Medvedeva E.V., Ovchinnikova N.A. et al. Characteristics of Brain Bioelectric Activity in Disabled Students: Combining Cognitive and Physical Loads. *Novosibirsk State Pedagogical University Bulletin*, 2018, vol. 8 (5), pp. 245–265. DOI: 10.15293/2226-3365.1805.15
6. Seleznov I., Zyma I., Kiyono K. et al. Detrended Fluctuation, Coherence, and Spectral Power Analysis of Activation Rearrangement in EEG Dynamics during Cognitive Workload. *Front. Hum. Neurosci.*, 2019, vol. 3, p. 270. DOI: 10.3389/fnhum.2019.00270
7. Kabachkova A.V., Lalaeva G.S., Zakharova A.N., Kapilevich L.V. EEG Alpha Rhythm Spatial Distribution Depending on Level of Motor Activity. *Theory and Practice of Physical Culture*, 2016, no. 2, pp. 83–85.
8. Zhang D., Ding H., Wang X. et al. Enhanced Response Inhibition in Experienced Fencers. *Sci. Rep.*, 2015, vol. 5, p. 16282. DOI: 10.1038/srep16282
9. Freeman W.J. The Electrical Activity of a Primary Sensory Cortex: the Analysis of EEG Waves. *Intern. Rev. Neurobiol.*, 1963, vol. 5, pp. 53–119. DOI: 10.1016/S0074-7742(08)60594-2
10. Furley P., Wood G. Working Memory, Attentional Control, and Expertise in Sports: a Review of Current Literature and Directions for Future Research. *J. Appl. Res. Memory Cogn.*, 2016, vol. 5, pp. 415–425. DOI: 10.1016/j.jarmac.2016.05.001
11. Illarionova A.V., Kapilevich L.V. Characteristics of Brain Bioelectrical Activity during Feedback Training. *Human. Sport. Medicine*, 2019, vol. 19 (S1), pp. 7–17. DOI: 10.14529/hsm19s101
12. Mirifar A., Beckmann J., Ehrlenspiel F. Neurofeedback as Supplementary Training for Optimizing Athletes' Performance: a Systematic Review with Implications for Future Research. *Neurosci. Biobehav.*, 2017, rev. 75, pp. 419–432. DOI: 10.1016/j.neubiorev.2017.02.005
13. Tilley Ch., Neale S., Patuano A., Cinderby S. Older People's Experiences of Mobility and Mood in an Urban Environment: A Mixed Methods Approach Using Electroencephalography (EEG) and Interviews. *Int. J. Environ. Res. Public Health.*, 2017, vol. 14 (2), p. 151. DOI: 10.3390/ijerph14020151
14. Park J.L., Fairweatherb M.M., Donaldson D.I. Making the Case for Mobile Cognition: EEG and Sports Performance. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 2015, vol. 52, pp. 117–130. DOI: 10.1016/j.neubiorev.2015.02.014
15. Perrey S., Besson P. Studying Brain Activity in Sports Performance: Contributions and Issues. *Progr. Brain Res.*, 2018, vol. 240, pp. 247–267. DOI: 10.1016/bs.pbr.2018.07.004
16. Kabachkova A.V., Lalaeva G.S., Zakharova A.N., Kapilevich L.V. Psycho-Physiological and Cognitive Abilities Rating Versus Individual Motor Activity Levels. *Theory and Practice of Physical Culture*, 2016, no. 12, pp. 85–86.
17. Lalaeva G.S., Zakharova A.N., Kabachkova A.V. et al. Psychophysiological Features of Cyclic and Endurance Athletes. *Theory and Practice of Physical Culture*, 2015, no. 11, pp. 73–75.

18. Cheng M.Y., Huang C.J., Chang Y.K. et al. Sensorimotor Rhythm Neurofeedback Enhances Golf Putting Performance. *Sport Exerc. Psychol.*, 2015, vol. 37, pp. 626–636. DOI: 10.1123/jsep.2015-0166
19. Xiang M.Q., Hou X.H., Liao B.G. et al. The Effect of Neurofeedback Training for Sport Performance in Athletes: a Meta Analysis. *Psychol. Sport Exerc.*, 2018, vol. 36, pp. 114–122. DOI: 10.1016/j.psychsport.2018.02.004
20. Lin C-T., King J-T., John A.R. et.al. The Impact of Vigorous Cycling Exercise on Visual Attention: A Study With the BR8 Wireless Dry EEG System. *Front. Neurosci.*, 2021, vol. 15, p. 621365. DOI: 10.3389/fnins.2021.621365
21. Wang C.H., Moreau D., Kao Front S.C. From the Lab to the Field: Potential Applications of Dry EEG Systems to Understand the Brain-Behavior Relationship in Sports. *Neurosci.*, 2019, vol. 13, p. 893. DOI: 10.3389/fnins.2019.00893
22. Wang C.H., Tu K.C. Neural Correlates of Expert Behavior During a Domain-Specific Attentional Cueing Task in Badminton Players. *J. Sport Exerc. Psychol.*, 2017, vol. 39, pp. 209–221. DOI: 10.1123/jsep.2016-0335
23. Yezhova G.S., Zakharova A.N., Kabachkova A.V. et al. Brain Bioelectrical Activity and Cerebral Hemodynamics in Athletes under Combined Cognitive and Physical Loading. *Human Physiology*, 2019, vol. 45 (2), pp. 164–173. DOI: 10.1134/S0362119719010080

Received 6 June 2021

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Характеристики биоэлектрической активности головного мозга у спортсменов при сочетании когнитивной и физической нагрузок / Н.А. Овчинникова, Э.Ф. Южанин, Е.В. Медведева, Л.В. Капилевич // Человек. Спорт. Медицина. – 2021. – Т. 21, № 3. – С. 64–72. DOI: 10.14529/hsm210308

FOR CITATION

Ovchinnikova N.A., Yuzanin E.F., Medvedeva E.V., Kapilevich L.V. Bioelectrical Activity of the Brain in Athletes Under Cognitive and Physical Load. *Human. Sport. Medicine*, 2021, vol. 21, no. 3, pp. 64–72. (in Russ.) DOI: 10.14529/hsm210308
