

ПРОГНОСТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ МОДИФИКАЦИЙ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭЭГ ПОСЛЕ КУРСА НЕЙРОБИОУПРАВЛЕНИЯ У СПОРТСМЕНОВ

Л.П. Черепкина

*Сибирский государственный университет физической культуры и спорта,
г. Омск, Россия*

Аннотация. Научные работы последнего десятилетия демонстрируют активное внедрение технологии биоуправления в процесс подготовки спортсменов высокого класса. Однако основное внимание исследователей сосредоточено на протоколах проведения сеансов биоуправления, в то время как преобразования в управлении центральными механизмами регуляции остаются недостаточно изученными. **Цель:** изучить прогностическую значимость нейродинамических перестроек показателей ЭЭГ после курса нейробиоуправления у спортсменов высокой квалификации. **Материалы и методы.** В исследовании приняли участие спортсмены высокой квалификации, занимающиеся различными видами спорта ($n = 40$). Со всеми спортсменами был проведен 15-дневный курс нейробиоуправления, направленный на повышение спектральной мощности ЭЭГ в альфа-диапазоне. До курса нейробиоуправления и после его окончания у спортсменов в стандартных условиях (лежа при закрытых глазах) регистрировалась ЭЭГ (монтаж монополярный, референтные электроды – ушные). Изучаемые характеристики биопотенциалов мозга вычислялись для 16 отведений в четырех частотных диапазонах. У всех спортсменов оценивалась результативность соревновательной деятельности, которая считалась успешной, если превышала результат, полученный на предыдущих соревнованиях такого же ранга. Статистический анализ полученных данных осуществлялся с помощью программного продукта SPSS v. 13.0. **Результаты.** Анализ полученных результатов выявил отсутствие различий по успешности курса нейробиоуправления между группами кандидатов в мастера спорта и мастеров спорта, при этом вероятность «совпадения» успешности соревновательной деятельности и успешности тренинга в первой группе не была установлена, а во второй группе составила 71 % ($r_{\text{Кендалла}} = 0,42$; при $p = 0,024$). Предикторами успешности соревновательной деятельности в изучаемых группах выступают различные сочетания посттренинговых показателей ЭЭГ. **Заключение.** Полученные результаты свидетельствуют о разной взаимосвязи успешности курса нейробиоуправления с успешностью соревновательной деятельности у кандидатов в мастера спорта и мастеров спорта. Для каждой группы характерен свой пул посттренинговых показателей ЭЭГ, позволяющий достаточно точно прогнозировать успешность соревновательной деятельности спортсменов.

Ключевые слова: спортсмены, спортивная квалификация, нейробиоуправление, ЭЭГ, успешность соревновательной деятельности.

Введение

В настоящее время ни у кого не возникает сомнений в том, что в спорте высших достижений одним из ключевых является умение спортсмена достигать состояния оптимального функционирования [1, 2]. Проблема заключается в достаточной вариативности психофизиологических реакций, касающихся работоспособности, и уникальности состояния оптимального функционирования каждого отдельного спортсмена на соревновании [3, 4]. Проявление отдельных показателей оптимального физического и психологического состояния спортсменов на уровне физиологического

функционирования может быть неуловимым и слабо определяемым, что создает определенные трудности и требует использования особого подхода, позволяющего понять, что именно лежит в основе способности достигать состояния оптимального функционирования [5]. В этом плане наиболее перспективным и экологичным является нейробиоуправление [6, 7]. Многочисленные научные работы демонстрируют активное внедрение нейробиоуправления в процесс подготовки спортсменов [8, 9]. Однако основное внимание исследователей сосредоточено на протоколах проведения сеансов биоуправления и фиксации конечного

полезного результата (улучшении функционального состояния, результативности соревновательной деятельности и др.) [10, 11], в то время как преобразования в управлении центральными механизмами регуляции остаются недостаточно изученными.

Цель. Изучить прогностическую значимость нейродинамических перестроек показателей ЭЭГ после курса нейробиоуправления у спортсменов высокой квалификации.

Материалы и методы

В исследовании приняли участие 40 спортсменов высокой квалификации, занимающихся различными видами спорта. Средний возраст обследуемых – $18,4 \pm 0,1$ года. Все спортсмены давали письменное согласие на участие в исследовании. Лица, имеющие звание кандидата в мастера спорта, составили первую группу ($n = 18$), имеющие звание мастера спорта и мастера спорта международного класса составили вторую группу ($n = 22$). Со всеми спортсменами с помощью программно-аппаратного комплекса «БОСЛАБ-АЛЬФА» был проведен 15-дневный курс нейробиоуправления, направленный на повышение спектральной мощности ЭЭГ в альфа-диапазоне. Сеансы нейробиоуправления проводились раз в сутки (до тренировки). Длительность одного сеанса составляла 25–30 минут. Для проведения тренировок использовался биполярный монтаж электродов в лобной и теменной области (F1 и P3) согласно международной схеме «10–20». Критерием успешности нейробиоуправления было выбрано увеличение спектральной мощности в альфа-диапазоне за сеанс не менее чем на 10 % по сравнению с мощностью в альфа-диапазоне, зарегистрированной во время первого сеанса. У каждого обследуемого подсчитывался процент успешных и неуспешных сеансов тренинга. У всех спортсменов после курса нейробиоуправления оценивалась результативность соревновательной деятельности, которая считалась успешной, если превышала результат, полученный на предыдущих соревнованиях такого же ранга. До курса нейробиоуправления и после его окончания у спортсменов в стандартных условиях (лежа при закрытых глазах) регистрировалась ЭЭГ с помощью 19-канального электроэнцефалографа «Нейрон-спектр 3», электроды располагались в соответствии со схемой «10–20» (монтаж монополярный, референтные электроды – ушные).

Анализировался сегмент из 8 перекрывающихся на 50 % эпох, величиной 1024 такта. Изучаемые характеристики биопотенциалов мозга вычислялись для 16 отведений в четырех частотных диапазонах: дельта (0,4–3,9 Гц), тета (4,3–7,8 Гц), альфа (8,2–12,9 Гц), бета (13,3–19,9 Гц) активности. В выделенных частотных диапазонах анализировались показатели спектральной мощности, относительной спектральной мощности, средней частоты, когерентности (для всех возможных пар отведений), интегрального и возрастного индексов¹.

Статистический анализ полученных данных осуществлялся с помощью программного продукта SPSS v. 13.0. Нормальность распределения изучаемых показателей определялась по критериям асимметрии и эксцесса. Описательный анализ данных включал в себя при нормальном распределении данных определение среднего арифметического значения M , ошибки среднего m , при ненормально распределенных количественных данных – медиану Me , интерквартильный размах в виде 25-го и 75-го перцентилей ($Q1$; $Q3$). В зависимости от характера распределения переменных использовались параметрические и непараметрические методы математической статистики для зависимых и независимых выборок. Для определения прогностической значимости посттренинговых нейродинамических перестроек показателей ЭЭГ был проведен дискриминантный анализ с пошаговым методом Уилкса. В качестве переменных-предикторов использовался набор признаков биоэлектрической активности головного мозга, отличавший спортсменов от группы «нормы» [12], а также их дельты. При интерпретации статистических данных максимальной вероятностью ошибки (минимальный уровень значимости) считали значение $p < 0,05$.

Все первичные материалы статьи были рассмотрены и одобрены ЛЭК СибГУФК (протокол № 2 от 20.05.2019).

Результаты

Анализ полученных результатов показал, что спортсмены обеих групп не имели стати-

¹ Воронов В.Г., Щекутьев Г.А., Гриндель О.М. Пакет программ для статистического сравнения записей ЭЭГ // Материалы международной конференции «Клинические нейронауки: нейрофизиология, неврология, нейрохирургия». Гурзуф. 2003. С. 22–24.

Таблица 1
Table 1

Коэффициенты канонической дискриминантной функции успешности соревновательной деятельности у спортсменов первой группы*
Canonical discriminant function analysis for successful performance in the first group*

Показатель Indicator	Диапазон и отведение Range and lead	Функция f
Абсолютная мощность (мкВ ²) Absolute power (μV^2)	$\delta(T_5)$	-0,006
	$\beta(Fp_2)$	0,283
Относительная мощность (%) Relative power (%)	$\alpha(O_1)$	-57,035
Значение когерентности колебаний ЭЭГ (усл. ед.) EEG oscillation coherence (relative unit)	F_4-T_6	1051,756
Величина изменения (дельта) абсолютной мощности (мкВ ²) Change (delta) of absolute power (μV^2)	$\theta(T_5)$	0,01
	$\alpha(P_3)$	0,18
	$\beta(Fp_2)$	-0,516
Величина изменения (дельта) когерентности колебаний ЭЭГ (усл. ед.) Change (delta) of EEG oscillation coherence (relative unit)	C_4-P_3	88,031
	F_8-P_4	87,376
	Fp_1-P_3	-962,541
Константа Invariable		-133,959

Примечание. *Ненормированные коэффициенты.
Note. * Non-standardized coefficients.

стически значимых различий по успешности курса нейробиоуправления. В первой группе успешность тренинга составила 26,5 % (5,3; 57,3), а во второй – $44,0 \pm 5,5\%$. При этом следует отметить, что вариационный размах в первой группе оказался значительно больше, чем во второй.

С помощью коэффициента ранговой корреляции Кенделла было установлено, что вероятность «совпадения» успешности соревновательной деятельности и успешности тренинга во второй группе составила 71 % ($r = 0,42$; при $p = 0,024$), в то время как в первой группе никакой взаимосвязи между успешностью соревновательной деятельности и успешностью курса нейробиоуправления установить не удалось.

Изменения «фоновых» показателей биоэлектрической активности головного мозга в обеих группах имели значительный межиндивидуальный разброс, что, по всей вероятности, объясняется уникальностью достигнутого каждым отдельным спортсменом в процессе нейробиоуправления функционального состояния. С помощью дискриминантного анализа выявлено, что успешность соревновательной деятельности в первой группе спортсменов определялась посттренинговыми величинами абсолютной спектральной мощности в дельта-диапазоне в левой задневисочной области (отведение T_5), в бета-диапазоне в правой переднелобной области (отведение

Fp_2), величиной относительной мощности в альфа-диапазоне в левой затылочной области (отведение O_1), значением когерентности колебаний ЭЭГ в отведениях F_4-T_6 , изменением величины (дельтой) мощности в тета-, альфа- и бета-диапазонах (отведения T_5 , P_3 , Fp_2 соответственно) и величины когерентности в C_4-P_3 , F_8-P_4 , Fp_1-P_3 (табл. 1).

Полученная в результате расчета одна дискриминантная функция объясняла 100 % дисперсии ($\chi^2 = 70,6$; $p < 0,001$), коэффициент канонической корреляции (r) составил 0,999. Точность прогнозирования составила 100 %. Координаты центроидов групп успешности соревновательной деятельности представлены в табл. 2.

Таблица 2
Table 2

Функции в центроидах групп успешности соревновательной деятельности у спортсменов первой группы*
Functions in centroids of competitive performance in athletes of the first group*

Соревновательная деятельность Competitive performance	Центроид Centroid
Неуспешная Unsuccessful	43,620
Успешная Successful	-12,463

Примечание. *Ненормированные канонические дискриминантные функции вычислены в центроидах групп.

Note. * Non-standardized canonical discriminant functions are calculated in centroids of groups.

Коэффициенты канонической дискриминантной функции успешности соревновательной деятельности у спортсменов второй группы*
Coefficients of canonical discriminant function of competitive performance in the second group *

Показатель Indicator	Диапазон и отведение Range and lead	Функция f
Абсолютная мощность (мкВ ²) Absolute power (μV ²)	δ(Fp ₁)	0,007
Значение когерентности колебаний ЭЭГ (усл. ед.) EEG oscillation coherence (relative unit)	C ₃ -F ₃	531,109
	C ₄ -T ₆	162,243
	Fp ₁ -Fp ₂	-72,932
	O ₁ -P ₃	-101,477
	O ₁ -T ₅	-218,804
Величина интегрального индекса (усл. ед.) Integral index (relative unit)	P ₃	-7,953
Величина изменения (дельта) когерентности колебаний ЭЭГ (усл. ед.) Change (delta) of EEG oscillation coherence (relative unit)	C ₃ -Fp ₁	744,419
	O ₂ -T ₆	-293,194
Величина изменения (дельта) абсолютной мощности (мкВ ²) Change (delta) of absolute power (μV ²)	δ(F ₇)	0,011
	δ(Fp ₁)	-0,004
	δ(T ₃)	-0,002
Константа Invariable		-24,377

Примечание. * Ненормированные коэффициенты.
Note. * Non-standardized coefficients.

Успешность соревновательной деятельности во второй группе спортсменов определялась посттренировочными величинами показателей ЭЭГ преимущественно левого полушария: значениями абсолютной спектральной мощности в дельта-диапазоне в переднелобной области (отведение Fp₁); значением когерентности в отведениях C₃-F₃, O₁-P₃, O₁-T₅; величиной интегрального индекса в теменной области (отведение P₃), а также дельтами значений мощности в дельта-диапазоне в переднелобной, передневисочной и средневисочной областях (отведения F₇, Fp₁, T₃) и когерентности в отведениях C₃-Fp₁ (табл. 3).

Вклад правого полушария в пул показателей, выступающих предикторами успешности соревновательной деятельности спортсменов, ограничился значением когерентности в отведениях C₄-T₆, дельтой значения когерентности в отведениях O₂-T₆, а также величиной межполушарной когерентности в переднелобных областях (Fp₁-Fp₂). Полученная в результате расчета одна дискриминантная функция также объясняла 100 % дисперсии ($\chi^2 = 98,4$; $p < 0,001$), коэффициент канонической корреляции (r) составил 1,000. Точность прогнозирования составила 100 %. Координаты центроидов групп успешности соревновательной деятельности представлены в табл. 4.

Обсуждение

Исследования, проведенные в рамках настоящей работы, позволили выявить достаточную интериндивидуальную вариативность показателя успешности нейробиоуправления в группе кандидатов в мастера спорта и относительную однородность этого показателя в группе мастеров спорта и мастеров спорта международного класса. Опираясь на ранее проведенные работы, показавшие взаимосвязь способности контролировать альфа-ритм с

Таблица 4
Table 4

Функции в центроидах групп успешности соревновательной деятельности у спортсменов второй группы*
Functions in centroids of competitive performance in athletes of the second group*

Соревновательная деятельность Competitive performance	Центроид Centroid
Неуспешная Unsuccessful	-46,904
Успешная Successful	21,889

Примечание. * Ненормированные канонические дискриминантные функции вычислены в центроидах групп.

Note. * Non-standardized canonical discriminant functions are calculated in centroids of groups.

помощью биологической обратной связи с индивидуальной пластичностью нейродинамических процессов [13, 14], можно предположить, что малая вариативность данного показателя в группе мастеров спорта является результатом более жесткого естественного отбора в процессе многолетней спортивной тренировки. При этом наши результаты согласуются с данными других авторов, показавших, что успешная регуляция ЭЭГ в заданном направлении достигается примерно в 50 % сеансов биоуправления [7], а успешность курса нейробиоуправления связана с результативностью соревновательной деятельности [15, 16]. Однако полученные в ходе исследования данные свидетельствуют о том, что такая взаимосвязь наблюдается только у спортсменов высшей квалификации (мастеров спорта и мастеров спорта международного класса).

Механизмы, с помощью которых человек пытается регулировать мощность ритмов своей ЭЭГ, пока остаются непонятными [17, 18], вместе с тем выделенные в каждой группе пулы посттренировочных показателей ЭЭГ, позволяющие достаточно точно прогнозировать успешность соревновательной деятельности спортсменов, можно рассматривать с позиции теории Р.Д. Хайера с соавторами (1988) как проявления нейронной эффективности головного мозга [19].

Заключение

Полученные результаты свидетельствуют о разной взаимосвязи успешности курса нейробиоуправления с успешностью соревновательной деятельности у кандидатов в мастера спорта и мастеров спорта. Для каждой группы характерен свой пул посттренировочных показателей ЭЭГ, позволяющий достаточно точно прогнозировать успешность соревновательной деятельности спортсменов.

Конфликт интересов

Автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Литература

1. Paul M., Garg K. The effect of heart rate variability biofeedback on performance psychology of basketball players // *Applied psychophysiology and biofeedback*. 2012. Vol. 37, № 2. P. 131–144. DOI: 10/1007/s10484-012-9185-2
2. Blumenstein B., Orbach I. Biofeedback for Sport and Performance Enhancement. 2014. DOI: 10.1093/oxfordhb/9780199935291.013.001
3. Christie S., Werthner P. Prestart psychophysiological profile of a 200-m canoe athlete: A comparison of best and worst reaction times // *Biofeedback*. 2015. Vol. 43, № 2. P. 73–83. DOI: 10.5298/1081-5937-43.2.05
4. Biofeedback reaction-time training: Toward Olympic gold / R.H. Harvey, M.K. Beauchamp, M. Saab [et al.] // *Biofeedback*. 2011. Vol. 39, № 1. P. 7–14. DOI: 10.5298/1081-5937-39.1.03
5. Brain-training for physical performance: a study of EEG neurofeedback and alpha relaxation training in athletes / M. Mikicic G. Orzechowski, K. Jurewicz [et al.] // *Acta Neurobiol Exp*. 2015. Vol. 75. P. 434–445. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26994421/>
6. Ferguson K.N., Hall C. Sport Biofeedback: Exploring Implications and Limitations of Its Use // *The Sport Psychologist*. 2020. Vol. 34, № 3. P. 232–241. DOI: 10.1123/tsp.2019-0109
7. Федотчев А.И. Об эффективности процедур биоуправления с обратной связью от ЭЭГ пациента при коррекции функциональных нарушений, вызванных стрессом // *Физиология человека*. 2010. Т. 36, № 1. С. 100–105. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=13044751>
8. The effect of neurofeedback training for sport performance in athletes: A meta-analysis / M.Q. Xiang, X.H. Hou, B.G. Liao [et al.] // *Psychology of Sport and Exercise*. 2018. Vol. 36. P. 114–122. DOI: 10.1016/j.psychsport.2018.02.004
9. Dupee M., Forneris T., Werthner P. Perceived outcomes of a biofeedback and neurofeedback training intervention for optimal performance: Learning to enhance self-awareness and self-regulation with olympic athletes // *The Sport Psychologist*. 2016. Vol. 30, № 4. P. 339–349. DOI: 10.1123/tsp.2016-0028
10. Salimnejad Z., Zandi H., Arsham S. Effect of Bio-Neural Feedback Exercises on the Performance of Female Rugby Players // *International Journal of Motor Control and Learning*. 2019. Vol. 1, № 2. P. 10–18. DOI: 10.29252/ijmcl.1.2.10
11. The do's and don'ts of neurofeedback training: A review of the controlled studies using healthy adults / J. Rogala, K. Jurewicz, K. Paluch [et al.] // *Frontiers in human neuroscience*. 2016. Vol. 10. P. 301 (1-12). DOI:10.3389/fnhum.2016.00301

12. Черепкина Л.П., Тристан В.Г. Особенности биоэлектрической активности головного мозга спортсменов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Образование, здравоохранение, физическая культура. 2011. № 39 (256). С. 27–31. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17217749>
13. Сороко С.И., Трубачев В.В. Нейрофизиологические и психофизиологические основы адаптивного биоуправления. СПб.: Политехника-сервис, 2010. 607 с. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19500991>
14. Штарк М.Б. Биоуправление: исследовательская и практическая составляющие // Бюллетень Сибирского отделения Российской академии медицинских наук. 2004. Т. 24, № 3. С. 8–9. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=9126480>
15. Dupee M., Werthner P., Forneris T. A Preliminary Study on the Relationship Between Athletes' Ability to Self-Regulate and World Ranking // *Biofeedback*. 2015. Vol. 43, № 2. P. 57–63. DOI: 10.5298/1081-5937-43.2.01
16. Strizhkova O., Cherapkina L., Strizhkova T. The neurofeedback course using of high skilled gymnasts at competitive period // *Journal of Human Sport and Exercise*. 2014. Vol. 9, № 1. P. S561–S569. DOI: 10.14198/jhse.2014.9.Proc1.47
17. Konareva I.N. Modifications of the EEG frequency pattern in humans related to a single neurofeedback session // *Neurophysiology*. 2005. Vol. 37, № 5-6. P. 388–395. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11062-006-0015-0>
18. Джос Ю.С., Меньшикова И.А. Возможности применения нейробиоуправления для повышения функциональных способностей головного мозга (обзор) // *Журнал медико-биологических исследований*. 2019. Т. 7, № 3. С. 338–348. DOI: 10.17238/issn2542-1298.2019.7.3.338
19. Cortical glucose metabolic rate correlates of abstract reasoning and attention studied with positron emission tomography / R.J. Haier, Jr B.V. Siegel, K.H. Nuechterlein [et al.] // *Intelligence*. 1988. Vol. 12, № 2. P. 199–217. DOI: 10/1016/0160-2896(88)90016-5

Черепкина Лариса Петровна, кандидат биологических наук, доцент, Сибирский государственный университет физической культуры и спорта (Россия, 644009, г. Омск, ул. Масленникова, 144), kochelab@mai.ru, ORCID 0000-0002-4185-4825

Поступила в редакцию 2 февраля 2021 г.; принята 20 апреля 2021 г.

DOI: 10.14529/jpps210213

PROGNOSTIC VALUE OF EEG MODIFICATIONS AFTER NEUROBIOFEEDBACK TREATMENT IN ATHLETES

L.P. Cherapkina, kochelab@mail.ru, ORCID 0000-0002-4185-4825
Siberian State University of Physical Education and Sport
(144 Maslennikova str., Omsk, 644009, Russian Federation)

Abstract. The scientific work of the last decade demonstrates the active use of biofeedback in elite training. However, the main attention is paid to the protocols for neurobiofeedback sessions and their final result (improving the functional state, competitive performance, etc.), while changes in central regulatory mechanisms remain insufficiently studied. **Aim.** The paper aims to study the prognostic value of neurodynamic changes in EEG indicators after neurobiofeedback treatment in elite athletes. **Materials and methods.** The study involved elite athletes of various sports. The first group included athletes with a title of the Candidate for Master of Sports (n = 18), the second group consisted of Masters of Sports and International Class Masters of Sports (n = 22). The average age of participants was 18.4 ± 0.1 years. All athletes underwent a 15-day neurobiofeedback treatment with the BOSLAB-ALPHA equipment aimed at increasing EEG spectral power in the alpha range. Before and after neurofeedback treatment, EEG was recorded in athletes under standard conditions (lying with closed eyes, monopolar electrode placement,

reference ear electrodes). Brain biopotentials were found for 16 leads in four frequency ranges. For all athletes, the effectiveness of competitive activity was assessed, which was considered successful if it exceeded the result obtained at previous competitions of the same rank. Statistical analysis of the data obtained was carried out using the SPSS 13.0 software product. **Results:** Analysis of the results obtained showed no differences in terms of neurobiofeedback success between the groups studied. The probability of a match between successful treatment and successful performance in the first group was not established, while in the second group it was 71 % (r Kendall = 0.42; at $p = 0.024$). Discriminant analysis showed that predictors of successful performance included different combinations of post-training EEG indicators. **Conclusion:** The results obtained reveal different correlations between successful neurobiofeedback treatment and successful performance among the Candidates for Master of Sports, Masters of Sports or International Class Masters of Sports. Each group is characterized by its own combination of post-training EEG indicators, which allows to accurately predict successful performance in athletes.

Keywords: athletes, sports qualification, neurobiofeedback, EEG, successful performance.

References

1. Paul M., Garg K. The effect of heart rate variability biofeedback on performance psychology of basketball players. *Applied psychophysiology and biofeedback*. 2012; 37 (2): 131–144. DOI: 10.1007/s10484-012-9185-2
2. Blumenstein B., Orbach I. Biofeedback for Sport and Performance Enhancement. 2014. DOI: 10.1093/oxfordhb/9780199935291.013.001
3. Christie S., Werthner P. Prestart psychophysiological profile of a 200-m canoe athlete: A comparison of best and worst reaction times. *Biofeedback*. 2015; 43 (2): 73–83. DOI: 10.5298/1081-5937-43.2.05
4. Harvey R.H., Beauchamp M.K., Saab M. et al. Biofeedback reaction-time training: Toward Olympic gold. *Biofeedback*. 2011; 39 (1): 7–14. DOI: 10.5298/1081-5937-39.1.03
5. Mikicin M., Orzechowski G., Jurewicz K. et al. Brain-training for physical performance: a study of EEG neurofeedback and alpha relaxation training in athletes. *Acta Neurobiol Exp*. 2015; 75: 434–445. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26994421/>
6. Ferguson K.N., Hall C. Sport Biofeedback: Exploring Implications and Limitations of Its Use. *The Sport Psychologist*. 2020; 34 (3): 232–241. DOI: 10.1123/tsp.2019-0109
7. Fedotchev A.I. On Efficiency of Biomanagement with Negative Feedback from Patient's EEG in Correction of Functional Disorders, Caused by Stress. *Fiziologiya cheloveka = Human physiology*. 2010; 36 (1): 100–105. (in Russ.). <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=13044751>
8. Xiang M.Q., Hou X.H., Liao B.G. et al. The effect of neurofeedback training for sport performance in athletes: A meta-analysis. *Psychology of Sport and Exercise*. 2018; 36: 114–122. DOI: 10.1016/j.psychsport.2018.02.004
9. Dupee M., Forneris T., Werthner P. Perceived outcomes of a biofeedback and neurofeedback training intervention for optimal performance: Learning to enhance self-awareness and self-regulation with olympic athletes. *The Sport Psychologist*. 2016; 30 (4): 339–349. DOI: 10.1123/tsp.2016-0028
10. Salimnejad Z., Zandi H., Arsham S. Effect of Bio-Neural Feedback Exercises on the Performance of Female Rugby Players. *International Journal of Motor Control and Learning*. 2019; 1 (2): 10–18. DOI: 10.29252/ijmcl.1.2.10
11. Rogala J., Jurewicz K., Paluch K. et al. The do's and don'ts of neurofeedback training: A review of the controlled studies using healthy adults. *Frontiers in human neuroscience*. 2016; 10: 301 (1-12). DOI:10.3389/fnhum.2016.00301
12. Cherapkina L.P., Tristan V.G. The characteristics of the cerebrum bioelectrical activity of the sportsmen. *Vestnik Yuzhno-Uralskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Obrazovanie, zdravookhranenie, fizicheskaya kultura = Bulletin of South Ural State University. Series Education, Healthcare, Physical Education*. 2011; 39 (256): 27–31. (in Russ.). <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17217749>
13. Soroko S.I., Trubachev V.V. Neurophysiological and psychophysiological bases of adaptive biofeedback. St. Petersburg. *Politehnika-service*, 2010: 607. (in Russ.). <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19500991>

14. Stark M.B. Biofeedback: research and practical components. *Bulletin of the Siberian Branch of the Russian Academy of Medical Sciences*. 2004; 24 (3): 8–9. (in Russ.). <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=9126480>
15. Dupee M., Werthner P., Forneris T. A Preliminary Study on the Relationship Between Athletes' Ability to Self-Regulate and World Ranking. *Biofeedback*. 2015; 43 (2): 57–63. DOI: 10.5298/1081-5937-43.2.01
16. Strizhkova O., Cherapkina L., Strizhkova T. The neurofeedback course using of high skilled gymnasts at competitive period. *Journal of Human Sport and Exercise*. 2014; 9 (1): S561–S569. DOI: 10.14198/jhse.2014.9.Proc1.47
17. Konareva I.N. Modifications of the EEG frequency pattern in humans related to a single neurofeedback session. *Neurophysiology*. 2005; 37 (5-6): 388–395. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11062-006-0015-0>
18. Dzhos Yu.S., Men'shikova IA. Possible use of neurofeedback to increase the functional capacity of the brain (review). *Zhurnal mediko-biologicheskikh issledovaniy = Journal of Medical and Biological Research*. 2019; 7 (3): 338–348. (in Russ.). DOI: 10.17238/issn2542-1298.2019.7.3.338
19. Haier R.J., Siegel Jr B.V., Nuechterlein K.H. et al. Cortical glucose metabolic rate correlates of abstract reasoning and attention studied with positron emission tomography. *Intelligence*. 1988; 12 (2): 199–217. DOI: 10/1016/0160-2896(88)90016-5

Received 2 February 2021; accepted 21 April 2021

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Черапкина, Л.П. Прогностическая ценность модификаций показателей ЭЭГ после курса нейробиоуправления у спортсменов / Л.П. Черапкина // Психология. Психофизиология. – 2021. – Т. 14, № 2. – С. 133–140. DOI: 10.14529/jpps210213

FOR CITATION

Cherapkina L.P. Prognostic Value of EEG Modifications after Neurobiofeedback Treatment in Athletes. *Psychology. Psychophysiology*. 2021, vol. 14, no. 2, pp. 133–140. (in Russ.). DOI: 10.14529/jpps210213