

УДК 612.821, 796.034.2

ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММЫ СПОРТСМЕНОВ АЦИКЛИЧЕСКИХ ВИДОВ СПОРТА

Черный С. В., Мишин Н. П., Нагаева Е. И.

*Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия
E-mail: neurolab@mail.ru*

Современное состояние спорта предъявляет высокие требования к уровню профессиональной подготовки спортсменов. Необходимость спортсмена быстро и рационально оценивать и реализовывать собственные действия и действия соперников характеризуется не только соответствующим уровнем физической подготовки, но и определенным функциональным состоянием центральной нервной системы (ЦНС). Одним из методов, позволяющим адекватно и надежно оценить особенности функционального состояния ЦНС спортсменов, занимающихся ациклическими видами спорта, является метод регистрации электроэнцефалограммы (ЭЭГ). У спортсменов ациклических видов спорта период инициации двигательного акта характеризуется снижением мощности альфа- и бета-ритма в левом полушарии на фоне увеличения мощности тета-ритма в лобных областях коры обеих полушарий.

Успешность реализации моторного действия связано с усилением мощности сенсомоторного ритма преимущественно в лобных, центральных и теменных областях коры.

Сила мышечного сокращения у спортсменов ациклических видов спорта коррелирует с усилением мощности высокочастотных составляющих ЭЭГ практически по всей поверхности коры.

Для спортсменов высокого уровня спортивного мастерства характерно снижение индекса десинхронизации ЭЭГ (меньшая реактивность коры).

Состояние утомления у спортсменов ациклических видов спорта характеризуется преимущественным снижением активности лобных зон коры.

Ключевые слова: спортсмены, электроэнцефалограмма.

Современное состояние спорта предъявляет высокие требования к уровню профессиональной подготовки спортсменов. Необходимость спортсмена быстро и рационально оценивать и реализовывать собственные действия и действия соперников характеризуется не только соответствующим уровнем физической подготовки, но и определенным функциональным состоянием центральной нервной системы (ЦНС). Одним из методов, позволяющим адекватно и надежно оценить особенности функционального состояния ЦНС спортсменов, занимающихся ациклическими видами спорта, является метод регистрации электроэнцефалограммы (ЭЭГ).

В настоящее время накоплен значительный объем данных, посвященных особенностям ЭЭГ у спортсменов. Однако не всегда результаты таких исследований являются однозначными, что приводит к сложности их воспроизведения в

различных экспериментальных условиях. В частности, отмечено, что сложность в воспроизведении результатов может быть связана с методологические особенности проведения экспериментального исследования ЦНС спортсменов. Ряд авторов считает, что проведение экспериментальных исследований в привычных для спортсмена условиях и в условиях лабораторного эксперимента влияют на показатели специфических ЭЭГ-маркеров. Так, при проведении исследования в лабораторных условиях наблюдается снижение мощности тета-ритма в лобных и альфа2-ритма – в теменных зонах коры. Таким образом, данные об особенностях электрической активности мозга, полученные в лабораторных условиях, будут сопоставимы, но не релевантны данным, полученным в полевых условиях [1]. Также показано, что спортсмены, находящиеся в состоянии относительного покоя, имеют особый паттерн ЭЭГ, характеризующийся более выраженной активностью в тета- и дельта-диапазонах, меньшей относительной мощностью в альфа-диапазоне, ослаблением уровня когерентных связей. Отличительной чертой высококвалифицированных спортсменов, а также спортсменов, занимающихся ациклическими стандартно-переменными видами спорта, явилось усиление когерентной связи между левой теменной и правой затылочной областями полушарий головного мозга [2]. Также в состоянии покоя у спортсменов-единоборцев, в отличие от лиц, не занимающихся спортом, отмечена большая амплитуда и меньший индекс асимметрии альфа-ритма, а также большая амплитуда бета-ритма. У указанных спортсменов также наблюдалось большая выраженность низкочастотного бета-ритма в лобно-центральных областях коры, а у лиц, не занимающихся спортом – в центрально-затылочных областях [3].

Немаловажную роль занимают особенности ЭЭГ и, в частности, характер представленности низкочастотного альфа-ритма как маркера не только вовлеченности в спортивную деятельность, но также уровня профессионального спортивного мастерства.

Отмечено, что у спортсменов ациклических видов спорта, в отличие от лиц, не занимающихся спортом, наблюдается снижение уровня десинхронизации ЭЭГ при выполнении функциональной пробы с открыванием глаз. В данной экспериментальной ситуации у спортсменов было отмечено ослабление десинхронизации низкочастотного альфа-ритма в правой затылочной, лобных центральных и зонах коры. Снижение десинхронизации высокочастотного альфа-ритма наблюдалось в лобных и центральных областях коры. Таким образом, снижение реактивности коры у спортсменов может характеризовать более высокий уровень переработки информации в состоянии покоя [4]. Также показано, что у профессиональных спортсменов, занимающихся карате и спортивной гимнастикой, наблюдается меньшая выраженность альфа-ритма в теменных и затылочных областях коры в отличие от спортсменов-любителей и лиц, не занимающихся спортом. У данных спортсменов отмечена меньшая реактивность альфа-ритма при открывании глаз (реакция десинхронизации) в лобных и центральных областях коры. Таким образом, данный феномен может быть обусловлен не уровнем интенсивности тренировочного процесса, а уровнем профессиональной спортивной

компетенции [5]. Однако существует мнение, что подобные различия могут быть также обусловлены индивидуально-типологическими особенностями личности [6].

При когнитивной нагрузке у спортсменов, в отличие от лиц, не занимающихся спортом, наблюдалось повышение мощности альфа-ритма в лобных и затылочных областях коры и повышение мощности низкочастотного бета-ритма в лобно-центральных и затылочных областях с доминированием в лобно-центральных областях у лиц, успешно выполнявших задание. Также у спортсменов наблюдалось увеличение мощности высокочастотного бета-ритма в лобных областях преимущественно правого полушария [3].

Особенности рисунка ЭЭГ связаны не только с вовлеченностью в спортивную деятельность ациклического типа, но и с особенностями этой деятельности. Например, у спортсменов – игроков в настольный теннис значимо выше амплитуда низкочастотных составляющих спектра ЭЭГ, чем у лиц, занимающихся спортивными танцами. В свою очередь, у последних отмечаются более высокие показатели амплитуды альфа-, - и бета-ритмов по сравнению как с теннисистами, так и с контролем. Вероятно, подобные изменения связаны с когнитивными особенностями физической подготовки, а также с уровнем пластичности ЦНС [7].

Также имеются различия в распределении когерентных связей у спортсменов, занимающихся циклическими и ациклическими видами спорта во время выполнения когнитивных заданий. У спортсменов циклических видов спорта отмечено более выраженное снижение альфа-ритма ЭЭГ между лобными, центральными, височными и затылочными участками коры головного мозга по сравнению со спортсменами ациклических видов спорта [8].

У спортсменов, профессиональная деятельность которых связана с высоким уровнем пространственно-временной и нейромышечной координации, отмечается высокая мощность тета-ритма в лобных зонах коры, что положительно коррелирует с высокими показателями произвольного внимания [9].

Характер аэробных нагрузок также имеет влияние на особенности ЭЭГ при анализе психофизиологических особенностей спортсменов. У спортсменов, для деятельности которых свойственна аэробная физическая нагрузка, выявлено, что активные кардореспираторные нагрузки приводят к активизации внимания и когнитивных процессов, несмотря на снижение скорости сенсомоторной реакции [10]. У лиц, не занимающихся спортом, в отличие от спортсменов ациклических видов спорта, наблюдается большая спектральная мощность ЭЭГ в диапазонах низко- и высокочастотного альфа-ритма, а также бета-ритма после «острых» аэробных физических нагрузок в ситуации произвольного торможения при выполнении моторной реакции [11].

Известно, что координационные способности у спортсменов ациклических видов спорта характеризуются высоким уровнем пластичности ЦНС и связаны с особенностями временной организации двигательного акта, который опосредован активностью нейронов медиальной префронтальной зоны коры [12]. Повышение качества исполнения тренируемых моторных действий связано с формированием новой моторной программы и нового памятного следа, что отражается в усилении мощности гамма-ритма ЭЭГ в префронтальных областях коры [13].

Имеются данные об ЭЭГ-коррелятах, характеризующих успешность выполнения контролируемого двигательного акта. Успешность реализации моторных действий связана с активацией зон мозга, топографически расположенных в локусах С6, FZ, P5, и F4. В свою очередь, ошибочные действия связаны с активацией локусов F-C6, P6, и P-O2. Таким образом, имеется высокая вовлеченность специфических зон коры в контроле двигательного акта, который осуществляется в коре в передне-заднем направлении [14]. Успешная реализация спортсменами сложных моторных действий характеризуется высокой степенью внутрислоушарной синхронизации низкочастотного альфа-ритма в лобно-теменных и центрально-теменных областях обеих полушарий. Аналогичная картина наблюдалась для высокочастотного альфа-ритма в лобно-теменных областях обоих полушарий. Таким образом, внутрислоушарные связи альфа-ритма характеризуют тонкий уровень управления сложными движениями [15]. Следует, однако, отметить, что кинестетическое обучение лиц, ранее не занимавшихся спортом, приводит к временному усилению сенсомоторного компонента альфа-ритма, что, вероятно, является показателем перестроек специфических функциональных систем [16].

Также повышение уровня точности и успешности выполнения сложного сенсомоторного акта в ациклических видах спорта, требующих высокого уровня активации произвольного внимания, характеризуется усилением мощности сенсомоторного ритма в подготовительный период (до 2000 мс) до начала действия. Степень усиления мощности сенсомоторного ритма в данный период напрямую связана с уровнем профессиональной квалификации спортсмена и отражает адаптивную регуляцию сложного сенсомоторного акта со стороны ЦНС [17].

Отмечено, что частота передачи афферентных стимулов от периферических нервов к соматосенсорной коре снижается при подготовке произвольных движений [18]. Кроме того, на начальном этапе имитации движений, требующих сложной нейромышечной координации, наблюдается снижение мощности низкочастотного альфа-ритма в центральных и затылочных областях коры, причем более выраженным данный эффект наблюдается в левом полушарии. Подобные изменения отмечаются в отношении высокочастотного альфа-ритма, а также низко- и среднечастотного бета-ритма [19]. У профессиональных спортсменов наблюдается более выраженная, чем у любителей, десинхронизация альфа-ритма в левой передне-височной области коры перед инициацией специфического двигательного акта [20]. Иными исследователями в аналогичной ситуации отмечено урежение ЧСС, снижение мощности тета-ритма, высокочастотного альфа-и бета-ритмов преимущественно в лобных и центральных областях коры [21]. Также перед выполнением целенаправленного произвольного движения у спортсменов отмечено увеличение мощности низкочастотного тета-ритма в лобной области левого полушария и высокочастотного тета-ритма – в лобной области правого полушария [22].

Специфика реализации двигательного акта также опосредована межполушарными особенностями, наблюдаемыми в рисунке ЭЭГ. В частности, это связано с особенностями когерентности между спецификой реализации моторного акта верхней конечности и полушарной представленностью бета-ритма в

центральных областях коры. Так, усиление мощности бета-ритма в контрлатеральном по отношению к конечности, выполняющей моторный акт, полушарии было больше при активации мышц-сгибателей, меньше – при активации мышц-разгибателей. В свою очередь, в унилатеральном полушарии активация мышц-разгибателей вызывала более значительное усиление мощности бета-ритма, нежели активация мышц-сгибателей [23].

Существует взаимосвязь между силовыми способностями и особенностями паттерна ЭЭГ у спортсменов – представителей ациклических видов спорта. Ряд авторов говорит о когерентности между силой мышечного сокращения и усилением мощности ЭЭГ в диапазоне 15–30 Гц практически по всей поверхности коры [24–26]. Также следует учесть, что данные изменения в рисунке ЭЭГ будут наблюдаться при активных, а не при пассивных движениях [27]. Отмечается, что повышение когерентности между силой сокращения мышц и гамма-ритмом связана с максимальным произвольным сокращением; при силе сокращения мышц, не достигающей максимальных значений, когерентность силы сокращения наблюдается с бета-ритмом ЭЭГ. Предполагается, что увеличение частоты осцилляций, таким образом, напрямую может характеризовать силу произвольного сокращения мышц [28]. Кроме того, усиление мощности ЭЭГ в диапазоне бета-ритма связывают со статическими силовыми нагрузками, а усиление мощности гамма-ритма – с динамическими. Считается, что это связано с характером передачи информации по кортикоспинальным трактам. Таким образом, динамические особенности силовых нагрузок связаны с проприоцептивными особенностями, что отражается в изменении мощности высокочастотных составляющих ЭЭГ [29].

Также отмечен вклад состояния утомления спортсменов в особенности ЭЭГ. Локальная нагрузка, производимая до появления чувства утомления, у спортсменов ациклических видов спорта сопровождается усилением мощности тета-ритма практически по всей поверхности коры [30].

Физические упражнения, требующие прогностического сенсомоторного контроля и высокого уровня пространственно-временной организации движения вне состояния утомления, характеризуется усилением мощности тета-ритма в лобных зонах коры. Те же действия, выполненные в состоянии утомления, характеризуются усилением мощности среднечастотного компонента альфа-ритма в теменных зонах коры. Считается, что данный феномен отражает процессы снижения уровня активации в сенсомоторной коре под действием физического утомления [31]. Снижение точности выполнения простой моторной задачи, связанное с физическим утомлением, характеризуется снижением мощности тета, альфа-1 и альфа-2 ритмов в лобных зонах коры головного мозга. После восстановления при выполнении аналогичной задачи в рисунке ЭЭГ доминировал тета-ритм, а мощность альфа-1 и альфа-2 ритмов оставалась [32]. Эксперименты, моделирующие объективное и субъективное состояние утомления после физических нагрузок, показали сдвиг локуса активности альфа-ритма от затылочных областей к левой теменной и предцентральной областям коры. Отмечено, что у единоборцев подобные изменения в рисунке ЭЭГ параллельно с

состоянием утомления могут служить маркером сотрясения головного мозга и могут рассматриваться как критерий допуска к тренировочной деятельности [33].

Также отмечено, что после тренировок с максимальной физической нагрузкой у спортсменов наблюдается увеличение амплитуды пиковой частоты альфа-ритма, что свидетельствует об оптимизации порога возбудимости коры и ее готовности к анализу внешних стимулов [34]. При отказе от интенсивной физической нагрузки и переходе в состояние восстановления наблюдается повышение мощности дельта-ритма в префронтальных и затылочных отделах коры левого и правого полушария [35].

При выполнении локальной мышечной деятельности до состояния утомления у спортсменов ациклических видов спорта, по сравнению с лицами, не занимающимися спортом, отмечено доминирование альфа-ритма в затылочных и лобно-центральных областях коры. В момент наступления утомления (отказа от работы) в обеих группах отмечался выраженный рост мощности бета-ритма [36].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. У спортсменов ациклических видов спорта период инициации двигательного акта характеризуется снижением мощности альфа- и бета-ритма в левом полушарии на фоне увеличения мощности тета-ритма в лобных областях коры обоих полушарий.
2. Успешность реализации моторного действия связано с усилением мощности сенсомоторного ритма преимущественно в лобных, центральных и теменных областях коры.
3. Сила мышечного сокращения у спортсменов ациклических видов спорта коррелирует с усилением мощности высокочастотных составляющих ЭЭГ практически по всей поверхности коры.
4. Для спортсменов высокого уровня спортивного мастерства характерно снижение индекса десинхронизации ЭЭГ (меньшая реактивность коры).
5. Состояние утомления у спортсменов ациклических видов спорта характеризуется преимущественным снижением активности лобных зон коры.

Список литературы

1. Reinecke K. From lab to field conditions: a pilot study on EEG methodology in applied sports sciences / Reinecke K., Cordes M., Lerch C., Koutsandreu F., Schubert M., Weiss M. and Baumeister J. // *Appl. Psychophysiol Biofeedback* – 2011. – 36(4). – P. 265–271.
2. Черепкина Л. П. Особенности биоэлектрической активности головного мозга спортсменов / Л. П. Черепкина, В. Г. Тристан // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Образование, здравоохранение, физическая культура.* – 2011. – № 39 (256). – С. 27–31.
3. Корюкалов Ю. И. Особенности биоэлектрической активности мозга при когнитивной деятельности у спортсменов / Ю. И. Корюкалов, Д. А. Марокко // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Образование, здравоохранение, физическая культура.* – 2006. – № 3–1. – С. 80–83.
4. Del Percio C. Reactivity of alpha rhythms to eyes opening is lower in athletes than non-athletes: a high-resolution EEG study / Del Percio C., Infarinato F., Marzano N., Iacoboni M., Aschieri P., Lizio R.,

- Soricelli A., Limatola C., Rossini P. M. and Babiloni C. // *Int. J. Psychophysiol.* – 2011. – 82(3). – P. 240–247.
5. Park J. L. Making the case for mobile cognition: EEG and sports performance / Park J. L., Fairweather M. M. and Donaldson D. I. // *Neurosci. Biobehav. Rev.* – 2015. – 52. – P. 117–130.
 6. Tran Y. Extraversion–introversion and 8–13 Hz waves in frontal cortical regions / Tran Y., Craig A. and McIsaac P. // *Personal. Individ. Differ.* – 2001. – 30 (2). – P. 205–215.
 7. Numan Ermutlu. Brain electrical activities of dancers and fast ball sports athletes are different / Numan Ermutlu, Ilker Yücesir, Gökçer Eskikurt, Tan Temel, Ümmühan Işoğlu-Alkaç // *Cogn. Neurodyn.* – 2015. – 9(2). – P. 257–263.
 8. Иванюк О. А. Влияние спортивной деятельности различного типа на электрическую активность коры головного мозга / О. А. Иванюк // *Слобожанський науково-спортивний вісник.* – 2013. – № 3 (36). – С. 93–96 (укр).
 9. Kao S. C. Frontal midline theta is a specific indicator of optimal attentional engagement during skilled putting performance / Kao S. C., Huang C. J. and Hung T. M. // *J. Sport. Exerc. Psychol.* – 2013. – 35(5). – P. 470–478.
 10. Tsai C. L. Impact of acute aerobic exercise and cardiorespiratory fitness on visuospatial attention performance and serum BDNF levels / Tsai C. L., Chen F. C., Pan C. Y., Wang C. H., Huang T. H. and Chen T. C. // *Psychoneuroendocrinolog.* – 2014. – 41. – P. 121–131.
 11. Hogan M. The interactive effects of physical fitness and acute aerobic exercise on electrophysiological coherence and cognitive performance in adolescents / Hogan M., Kiefer M., Kubesch S., Collins P., Kilmartin L. and Brosnan M. // *Exp Brain Res.* – 2013. – 229(1). – P. 85–96.
 12. Merchant H. Interval tuning in the primate medial premotor cortex as a general timing mechanism / Merchant H., Pérez Oswaldo, Zarco Wilbert and Gámez Jorge // *J. Neurosci.* – 2013. – 33(21). – P. 9082–9096.
 13. Thürer B. Increased gamma band power during movement planning coincides with motor memory retrieval / Thürer B., Stockinger C., Focke A., Putze F., Schultz T. and Stein T. // *Neuroimage.* – 2015. – 125. – P. 172–181.
 14. Presacco A. Neural decoding of treadmill walking from noninvasive electroencephalographic signals / Presacco A., Goodman R., Forrester L. and Contreras-Vidal J. L. // *J. Neurophysiol.* – 2011. – 106(4). – P. 1875–1887.
 15. Babiloni C. Intra-hemispheric functional coupling of alpha rhythms is related to golfer's performance: a coherence EEG study / Babiloni C., Infarinato F., Marzano N., Iacononi M., Dassù F., Soricelli A., Rossini P.M., Limatola C. and Del Percio C. // *Int. J. Psychophysiol.* – 2011. – 82(3). – P. 260–268.
 16. Zapala D. Short-term kinesthetic training for sensorimotor rhythms: effects in experts and amateurs / Zapala D., Zabielska-Mendyk E., Cudo A., Krzysztofak A., Augustynowicz P. and Francuz P. // *J. Mot. Behav.* – 2015. – 47(4). – P. 312–318.
 17. Cheng M. Y. Expert-novice differences in SMR activity during dart throwing / Cheng M. Y., Hung C. L., Huang C. J., Chang Y. K., Lo L. C., Shen C. and Hung T. M. // *Biol Psychol.* – 2015. – 110. – P. 212–218.
 18. Saradjian A. H. Cortical facilitation of proprioceptive inputs related to gravitational balance constraints during step preparation / Saradjian A. H., Tremblay L., Perrier J., Blouin J. and Mouchnino L. // *J. Neurophysiol.* – 2013. – 110(3). – P. 397–407.
 19. Kiefer A. W. Train the Brain: Novel Electroencephalography Data Indicate Links between Motor Learning and Brain Adaptations / Kiefer A. W., GualbertoCremades J. and Myer G. D. // *J. Nov. Physiother.* – 2014. – 4(2). – P. 198.
 20. Taliep M. S. Sport expertise: the role of precise timing of verbal-analytical engagement and the ability to detect visual cues. / Taliep M. S. and John L. // *Perception.* – 2014. – 43(4). – P. 316–332.
 21. Cooke A. Preparation for action: psychophysiological activity preceding a motor skill as a function of expertise, performance outcome, and psychological pressure / Cooke A., Kavussanu M., Gallicchio G., Willoughby A., McIntyre D. and Ring C. // *Psychophysiology* – 2014. – 51(4) – P. 374–384.
 22. Chuang L. Y. The differences in frontal midline theta power between successful and unsuccessful basketball free throws of elite basketball players / Chuang L. Y., Huang C. J. and Hung T. M. // *Int. J. Psychophysiol.* – 2013. – 90(3). – P. 321–328.
 23. Li Y. EEG-EMG coherence analysis of different hand motions in healthy subjects / Li Y., Li L. and Zheng X. // *Sheng Wu Yi Xue Gong Cheng XueZaZhi* – 2014. – 31(5). – P. 962–966.

24. Halliday D. M. Using electroencephalography to study functional coupling between cortical activity and electromyograms during voluntary contractions in humans / Halliday D. M., Conway B. A., Farmer S. F. and Rosenberg J. R. // *NeurosciLett.* – 1998 – 241(1). – P. 5–8.
25. Mima T. Corticomuscular coherence: a review / Mima T. and Hallett M. // *J. ClinNeurophysiol.* – 1999. – 16(6). – P. 501–511.
26. Hashimoto Y. Correlation between EEG-EMG coherence during isometric contraction and its imaginary execution / Hashimoto Y., Ushiba J., Kimura A., Liu M. and Tomita Y. // *ActaNeurobiol. Exp. (Wars).* – 2010. – 70(1). – P. 76–85.
27. Jain S. EEG during pedaling: evidence for cortical control of locomotor tasks / Jain S., Gourab K., Schindler-Ivens S. and Schmit B. D. // *Clin.Neurophysiol.* – 2013. – 124(2). – P. 379–390.
28. Mima T. Information flow from the sensorimotor cortex to muscle in humans / Mima T., Matsuoka T. and Hallett M. // *Clin.Neurophysiol.* – 2001. – 112(1). – P. 122–126.
29. Gwin J. T. Beta- and gamma-range human lower limb corticomuscular coherence / Gwin J. T. and Ferris D. P. // *Front Hum Neurosci.* – 2012. – 6. – P. 258.
30. Корюкалов Ю. И. Изменение организации биоэлектрической активности мозга у спортсменов при локальной нагрузке / Ю. И. Корюкалов // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Образование, здравоохранение, физическая культура.* – 2013. – Т. 13, № 2. – С. 143–146.
31. Baumeister J. Brain activity in predictive sensorimotor control for landings: an EEG pilot study / Baumeister J., von Detten S., van Niekerk S. M., Schubert M., Ageberg E. and Louw Q. A. // *Int J Sports Med.* – 2013. – 34(12). – P. 1106–1111.
32. Baumeister J. Effects of induced fatigue on brain activity during sensorimotor control / Baumeister J., Reinecke K., Schubert M., Schade J. and Weiss M. // *Eur J Appl Physiol.* – 2012. – 112(7). – P. 2475–2482.
33. Barwick F. EEG correlates of fatigue during administration of a neuropsychological test battery / Barwick F., Arnett P. and Slobounov S. // *ClinNeurophysiol.* – 2012. – 123(2). – P. 278–284.
34. Gutmann B. Effects of physical exercise on individual resting state EEG alpha peak frequency / Gutmann B., Mierau A., Hülsdünker T., Hildebrand C., Przyklenk A., Hollmann W. and Strüder H. K. // *Neural Plast.* – 2015 – P. 1–6.
35. Классина С. Я. Состояние центральной и вегетативной нервной систем человека в восстановительный период после отказа от интенсивной физической нагрузки / С. Я. Классина, Н. А. Фудин // *Вестник новых медицинских технологий.* – 2015. – Т. 22., № 3. – С. 122–126.
36. Корюкалов Ю. И. Синхронизация альфа- и бета-ритмов ЭЭГ при локальной мышечной деятельности / Ю. И. Корюкалов // *Фундаментальные исследования.* – 2014. – № 8 (Часть 1). – С. 74–78.

ELECTROENCEPHALOGRAPHIC PROPERTIES OF ATHLETES PRACTICING ACYCLIC SPORTS

Cherniy S. V., Mishin N. P., Nagaeva E. I.

***V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Crimea, Russian Federation
E-mail: neurolab@mail.ru***

The current state of the sport shows high demands on the athletes' level of training. The need for athletes to quickly and efficiently assess and perform their own actions and the actions by competitors is characterized not only by an appropriate level of physical fitness, but also by specific functional state of the central nervous system (CNS). One method that allows to adequately and reliably measure the characteristics of the CNS functional state in athletes involved in acyclic sports is a method of recording the electroencephalogram (EEG). In athletes engaged in acyclic sports the EEG during the

initiation of a motor act is characterized by a decrease in the power of alpha- and beta rhythm in left hemisphere while the power of theta rhythm in cortex' frontal regions of both hemispheres is on the contrary higher.

The successful performing of motor actions is associated with an increased power of the sensorimotor rhythm prevalently in frontal, central and parietal areas of the cortex.

The strength of muscle contraction in athletes doing acyclic sports is correlated with an increased power of the EEG high-frequency components for almost the entire surface of the cortex.

For the athletes characterized by high level of sportsmanship, the EEG demonstrated lower desynchronization index (lower reactivity of the cortex).

The state of fatigue in athletes engaged in acyclic sports is characterized by a decreased activity in frontal areas of the cortex.

Keywords: athletes, electroencephalogram.

References

1. Reinecke K., Cordes M., Lerch C., Koutsandriou F., Schubert M., Weiss M. and Baumeister J., From lab to field conditions: a pilot study on EEG methodology in applied sports sciences, *Appl. Psychophysiol/Biofeedback*, **36(4)**, 265 (2011).
2. Cherapkina L. P., Tristan V. G. Osobennosti bioelektricheskoy aktivnosti golovnog omozgasportsmenov, *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Obrazovanie, zdravoohranenie, fizicheskaya kul'tura*, **39 (256)**, 27 (2011).
3. Koryukalov Y. I., Marokko D. A. Osobennosti bioelektricheskoy aktivnosti mozga pri kognitivnoy deyatel'nosti u sportsmenov, *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Obrazovanie, zdravoohranenie, fizicheskaya kul'tura*, **3-1**, 80 (2006).
4. Del Percio C., Infarinato F., Marzano N., Iacoboni M., Aschieri P., Lizio R., Soricelli A., Limatola C., Rossini P. M. and Babiloni C., Reactivity of alpha rhythms to eyes opening is lower in athletes than non-athletes: a high-resolution EEG study, *Int. J. Psychophysiol*, **82(3)**, 240 (2011).
5. Park J. L., Fairweather M. M. and Donaldson D. I., Making the case for mobile cognition: EEG and sports performance, *Neurosci. Biobehav. Rev.*, **52**, 117(2015).
6. Tran Y., Craig A. and McIsaac P. Extraversion-introversion and 8-13 Hz waves in frontal cortical regions, *Personal. Individ. Differ.*, **30 (2)**, 205(2001).
7. Ermutlu N., Yücesir I., Eskikurt G., Temel T. and Özoğlu-Alkız B. Brain electrical activities of dancers and fast ball sports athletes are different, *Cogn. Neurodyn.*, **9(2)**, 257 (2015).
8. Ivanyuk O. A. Vliyanie sportivnoy deyatel'nosti razlichnogo tipa na ehlektricheskuyu aktivnost' kory golovnog omozga, *Slobozhans'kij naukovno-sportivnij visnik*, **3 (36)**, 93 (2013).
9. Kao S. C., Huang C. J. and Hung T. M. Frontal midline theta is a specific indicator of optimal attentional engagement during skilled putting performance, *J. Sport. Exerc. Psychol.* **35(5)**, 470 (2013).
10. Tsai C. L., Chen F. C., Pan C. Y., Wang C. H., Huang T. H. and Chen T. C., Impact of acute aerobic exercise and cardiorespiratory fitness on visuospatial attention performance and serum BDNF levels, *Psychoneuroendocrinolog*, **41**, 121 (2014).
11. Hogan M., Kiefer M., Kubesch S., Collins P., Kilmartin L. and Brosnan M. The interactive effects of physical fitness and acute aerobic exercise on electrophysiological coherence and cognitive performance in adolescents, *Exp Brain Res.*, **229(1)**, 85 (2013).
12. Merchant H., Pérez O., Zarco W. and Gómez J., Interval tuning in the primate medial premotor cortex as a general timing mechanism, *J. Neurosci.*, **33(21)**, 9082 (2013).
13. Thüermer B., Stockinger C., Focke A., Putze F., Schultz T. and Stein T., Increased gamma band power during movement planning coincides with motor memory retrieval, *Neuroimage*, **125**, 172 (2015).
14. Presacco A., Goodman R., Forrester L. and Contreras-Vidal J. L., Neural decoding of treadmill walking from noninvasive electroencephalographic signals, *J. Neurophysiol.*, **106(4)**, 1875 (2011).

15. Babiloni C., Infarinato F., Marzano N., Iacononi M., Dass F., Soricelli A., Rossini P.M., Limatola C. and Del Percio C., Intra-hemispheric functional coupling of alpha rhythms is related to golfer's performance: a coherence_EEG_study, *Int. J. Psychophysiol.*, **82(3)**, 260 (2011).
16. Zapaia D., Zabielska-Mendyk E., Cudo A., Krzysztofiak A., Augustynowicz P. and Francuz P., Short-term kinesthetic training for sensorimotor rhythms: effects in experts and amateurs, *J. Mot. Behav.*, **47(4)**, 312 (2015).
17. Cheng M. Y., Hung C. L., Huang C. J., Chang Y. K., Lo L. C., Shen C. and Hung T. M., Expert-novice differences in SMR activity during dart throwing, *Biol Psychol.*, **110**, 212 (2015).
18. Saradjian A.H., Tremblay L., Perrier J., Blouin J. and Mouchnino L., Cortical facilitation of proprioceptive inputs related to gravitational balance constraints during step preparation, *J. Neurophysiol.*, **110(3)**, 397 (2013).
19. Kiefer A. W., GualbertoCremades J. and Myer G. D., Train the Brain: Novel_Electroencephalography Data Indicate Links between Motor Learning and Brain Adaptations, *J. Nov. Physiother.*, **4(2)**, 198 (2014).
20. Taliep M. S. and John L., Sport expertise: the role of precise timing of verbal-analytical engagement and the ability to detect visual cues., *Perception.*, **43(4)**, 316 (2014).
21. Cooke A., Kavussanu M., Gallicchio G., Willoughby A., McIntyre D. and Ring C., Preparation for action: psychophysiological activity preceding a motor skill as a function of expertise, performance outcome, and psychological pressure, *Psychophysiology*, **51(4)**, 374 (2014).
22. Chuang L. Y., Huang C. J. and Hung T. M., The differences in frontal midline theta power between successful and unsuccessful basketball free throws of elite basketball players, *Int. J. Psychophysiol.*, **90(3)**, 321 (2013).
23. Li Y., Li L. and Zheng X., EEG-EMG coherence analysis of different hand motions in healthy subjects, *Sheng Wu Yi Xue Gong Cheng XueZaZhi*, **31(5)**, 962 (2014).
24. Halliday D. M., Conway B. A., Farmer S. F. and Rosenberg J. R., Using electroencephalography to study functional coupling between cortical activity and electromyograms during voluntary contractions in humans, *NeurosciLett.*, **241(1)**, 5 (1998).
25. Mima T. and Hallett M., Corticomuscular coherence: a review, *J. ClinNeurophysiol.*, **16(6)**, 501 (1999).
26. Hashimoto Y., Ushiba J., Kimura A., Liu M. and Tomita Y., Correlation between EEG-EMG coherence during isometric contraction and its imaginary execution, *ActaNeurobiol. Exp. (Wars)*, **70(1)**, 76 (2010).
27. Jain S., Gourab K., Schindler-Ivens S. and Schmit B. D., EEG during pedaling: evidence for cortical control of locomotor tasks, *Clin Neurophysiol.*, **124(2)**, 379 (2013).
28. Mima T., Matsuoka T. and Hallett M. Information flow from the sensorimotor cortex to muscle in humans, *ClinNeurophysiol.*, **112(1)**, 122 (2001).
29. Gwin J. T. and Ferris D. P., Beta- and gamma-range human lower limb corticomuscular coherence, *Front Hum Neurosci.*, **6**, 258 (2012).
30. Koryukalov Y. I. Izmenenie organizacii bioelektricheskoy aktivnosti mozga u sportsmenov pri lokal'noj nagruzke, *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Obrazovanie, zdravooхранenie, fizicheskaya kul'tura*, **13, 2**, 143 (2013).
31. Baumeister J., von Detten S., van Niekerk S. M., Schubert M., Ageberg E. and Louw Q. A., Brain activity in predictive sensorimotor control for landings: an EEG pilot study, *Int J Sports Med.*, **34(12)**, 1106 (2013).
32. Baumeister J., Reinecke K., Schubert M., Schade J. and Weiss M., Effects of induced fatigue on brain activity during sensorimotor control, *Eur J Appl Physiol.*, **112(7)**, 2475 (2012).
33. Barwick F., Arnett P. and Slobounov S., EEG_correlates of fatigue during administration of a neuropsychological test battery, *Clin Neurophysiol.*, **123(2)**, 278 (2012).
34. Gutmann B., Mierau A., Hülsdünker T., Hildebrand C., Przyklenk A., Hollmann W., Strüder H K. Effects of physical exercise on individual resting state EEG alpha peak frequency, *Neural Plast.*, **1** (2015).
35. Klassina S. Y., Fudin N. A. Sostoyanie central'noj i vegetativnoj nervnoj system cheloveka v vosstanovitel'nyj period posle otказа ot intensivnoj fizicheskoy nagruzki, *Vestnik novyh medicinskih tekhnologij*, **22, 3**, 122 (2015).
36. Koryukalov Y. I. Sinhronizaciya al'fa- i beta-ritmov EEG pri lokal'noj myshechnoj deyatelnosti, *Fundamental'nye issledovaniya*, **8-1**, 74 (2014).