

Кортикальные и внекортикальные биоэлектрические процессы, определяющие успешность и эффективность нейробиоуправления у спортсменов

Черапкина Л.П.

The cortical and extra-cortical bioelectrical processes determining the neurobiofeedback success and efficiency of sportsmen

Cherapkina L.P.

Сибирский государственный университет физической культуры и спорта, г. Омск

© Черапкина Л.П.

У 35 спортсменов высокой квалификации проанализированы изменения функционального состояния, а также нейродинамика и сопутствующие ей изменения спектральных характеристик ритма сердца в фоновых записях электроэнцефалограммы (ЭЭГ) при открытых и закрытых глазах до и после 15-дневного курса нейробиоуправления. Показано, что для спортсменов, находящихся в состоянии спокойного бодрствования, характерна функциональная левополушарная асимметрия мощности всех основных ритмов ЭЭГ. Определено, что предиктором эффективности тренинга является мощность тета-ритма при открытых глазах. На успешность тренинга существенно влияет средняя мощность VLF-, HF-волн спектра variability ритма сердца и, возможно, гормональная цикличность женского организма.

Ключевые слова: нейробиоуправление, альфа-ритм электроэнцефалограммы, прогнозирование успешности и эффективности, спектральный анализ variability ритма сердца, спортсмены высокой квалификации.

The changes of the functional condition of the 35 highly qualified sportsmen, neurodynamic and its changes of the frequency characteristic of the heart rate in the background recording during open and closed eyes before and after 15-days neurobiofeedback course is analyzed. It is discovered, that the functional left hemisphere asymmetry was typical for sportsmen having the quiet wakefulness condition according the power of all main rhythms of the EEG. It is defined, that the predictor of the training efficiency is the theta-rhythm power in the recording during open eyes. The VLF-wave and the HF-wave middle power of the heart rate frequency and probably the hormonal cycle of women body have the material effect to training success.

Key words: the neurobiofeedback, the brain alpha-rhythm, the success and efficiency prognostic, the frequency analysis of the heart rate variability, highly qualified sportsmen.

УДК 612.825.1:577.35:57.054:004.9

Введение

В настоящее время нейробиоуправление активно внедряется в спортивную практику. Опираясь на модификацию электрогенеза, технология обеспечивает оптимизацию центральных механизмов функционирования, тем самым влияя на психофизиологические параметры и поведение человека. Одной из основных проблем эффективного применения нейробиоуправления является недостаточное исследование предикторов успешного нейробиоуправления и тех преобразований в управлении центральными механизмами регуляции, которые возникают в процессе тренинга.

В связи с вышесказанным цель настоящего исследования — выявление наличия кортикальных и внекортикальных предикторов успешности и эффективности курса нейробиоуправления.

Материал и методы

В исследовании приняли участие 35 спортсменов высокой квалификации разных видов спорта. Средний возраст обследованных лиц ($19 \pm 0,3$) года. Спортсменам было предложено пройти 15-дневный курс нейробиоуправления, направленный на повышение мощности альфа-ритма головного мозга, по методике О.В. Погадаевой [5]. Все спортсмены давали письменное

согласие на участие в исследовании. Сеансы нейробиоуправления проводились с помощью программно-аппаратного комплекса «Бослаб-альфа», созданного в НИИМББ СО РАМН, 1 раз в сутки до тренировки, в удобное время. Для записи биопотенциалов мозга использовалось биполярное отведение. Энцефалографические электроды располагались согласно международной схеме «10—20» (F1, P3), два миографических электрода на лбу (*venter frontalis*), термоэлектрод крепился на среднем пальце правой руки. До курса нейробиоуправления и после его окончания проводился одновременный электроэнцефалографический и электрокардиографический мониторинг в пробах с открытыми и закрытыми глазами, при котором спортсменам не давалась установка на повышение мощности альфа-ритма. Продолжительность каждой пробы составляла 5 мин. Для регистрации электроэнцефалограммы (ЭЭГ) использовался электрокардиограф «Поли-Спектр» («Нейрософт», Россия). Успешность тренинга определялась по классификации И.А. Святогор и соавт. [7], эффективность — по сумме баллов самооценки функционального состояния с применением анкеты О.В. Погадаевой и соавт. [6].

Статистический анализ полученных данных осуществлялся с помощью программного продукта SPSS 13.0. Для описания данных использовались параметрические и непараметрические методы математической статистики для зависимых и независимых выборок. Учитывая мнение А.Д. Наследова [4] о недостаточной чувствительности критерия Колмогорова—Смирнова в отношении малых выборок (до 50 человек), нормальность распределения определялась по критериям асимметрии и эксцесса.

Результаты и обсуждение

Анализ полученных результатов показал, что для спортсменов, находящихся в состоянии спокойного бодрствования, характерна функциональная левополушарная асимметрия по мощности всех основных ритмов ЭЭГ, не превышающая границы нормы и не изменяющаяся под влиянием нейробиоуправления как при открытых, так и при закрытых глазах ($p \leq 0,01$).

Изменения в волновой структуре ритма сердца в ответ на снижение зрительной афферентации до курса тренинга проявлялись ростом общей мощности спектра нейрогуморальной модуляции ($p < 0,02$), повышением мощности волн очень низкой частоты ($p \leq 0,001$)

и изменением структуры спектральной мощности в сторону роста доли волн очень низкой частоты ($p < 0,02$). Данные изменения сочетались с повышением температуры дистальной фаланги среднего пальца руки и снижением поверхностной электромиографии, что, согласно данным литературы, свидетельствует о нарастающей релаксации. Увеличение значений VLF-волн, по всей вероятности, имело адаптивный характер [8], связанный с усилением роли эмоционального компонента в процессе релаксации [1]. При этом изменений мощности основных ритмов ЭЭГ в изучаемой зоне в ответ на закрытие глаз не выявлено.

В течение сеансов биоуправления средняя мощность альфа-ритма составила $(3,68 \pm 0,16)$ мкВ²/с, что значительно превышало мощность этого ритма, зарегистрированную в пробе с закрытыми глазами как до тренинга, так и после него ($p < 0,05$). Средняя успешность курса нейробиоуправления составила $(43,0 \pm 5,1)\%$.

После курса нейробиоуправления при сохранении температурной и миографической реакций на закрытие глаз статистически значимых изменений в показателях спектральной мощности ритма сердца не обнаружено. В биоэлектрической активности головного мозга при закрытии глаз увеличивалась мощность альфа-ритма в левом полушарии ($p < 0,01$). Значимых изменений во всех остальных электрофизиологических показателях под влиянием тренинга не произошло. Субъективно спортсмены отметили улучшение физического состояния и усиление чувства уверенности в себе (при $p < 0,05$).

На основе выбранного критерия успешности нейробиоуправления все обследуемые были разделены на две группы. Сравнительный анализ полученных данных обеих групп (успешность в первой группе составила $(63,11 \pm 4,61)\%$; во второй — $(13,85 \pm 2,66)\%$) показал, что первоначально спортсмены первой группы характеризовались меньшей мощностью VLF-компонента в пробе с открытыми глазами ($p \leq 0,03$) и более высокой субъективной оценкой качества сна ($p \leq 0,03$). После тренинга межгрупповое статистически значимое различие наблюдалось лишь по мощности альфа-ритма в левом полушарии при закрытых глазах, которая в первой группе была выше, чем во второй ($p \leq 0,05$).

Внутригрупповые изменения исследуемых показателей в первой группе до тренинга в ответ на закрытие глаз были связаны с увеличением мощности

волн очень низкой частоты (табл. 1), доли этих волн в общей мощности спектра частот, со снижением вклада волн высокой частоты и повышением температуры дистальной фаланги среднего пальца руки. Биоэлектрическая активность головного мозга (табл. 2) характеризовалась, так же как и во всей группе в целом, левополушарной асимметрией по всем основным ритмам ($p < 0,05$). В ответ на закрывание глаз увеличивалась мощность альфа-ритма в правом полушарии и бета-ритма в левом полушарии, что свидетельствует об увеличении активности левого полушария. Согласно современным представлениям, левое полушарие имеет структурные предпосылки для обеспечения «локальных» процессов обработки стимула [7], что вполне соотносится с состоянием спокойного бодрствования.

Таблица 1
Наиболее изменяемые спектральные характеристики ритма сердца спортсменов при первичном обследовании

Показатель	Проба	Первая группа		Вторая группа	
		$M \pm m$	p	$M \pm m$	p
VLF, мс ²	ОГ	861 ± 117	0,016	1343 ± 233	0,026
	ЗГ	1607 ± 306		1975 ± 372	
VLF, %	ОГ	32,2 ± 3,4	0,023	38,4 ± 3,7	0,017
	ЗГ	41,2 ± 3,7		48,2 ± 4,7	
LF, %	ОГ	31,1 ± 2,4	>0,05	34,8 ± 3,7	0,022
	ЗГ	28,0 ± 2,9		26,9 ± 2,7	
HF, %	ОГ	36,6 ± 4,4	0,016	26,7 ± 4,7	>0,05
	ЗГ	30,8 ± 3,8		24,9 ± 4,6	
°F	ОГ	87,3 ± 1,6	0,001	88,7 ± 1,64	0,039
	ЗГ	88,5 ± 1,6		90,3 ± 1,29	

Примечание. Здесь и в табл. 2, 3: ОГ — открытые глаза; ЗГ — закрытые глаза.

Таблица 2
Динамика ритмов ЭЭГ в ответ на закрывание глаз у спортсменов первой группы, мкВ²/с

Ритм	Проба	Левое полушарие		Правое полушарие		p (Л—П)
		$M \pm m$	p	$M \pm m$	p	
<i>До тренинга</i>						
Альфа	ОГ	3,223 ± 0,209	>0,05	2,758 ± 0,327	0,02	0,04
	ЗГ	3,541 ± 0,243		2,932 ± 0,313		
Бета	ОГ	3,340 ± 0,163	0,03	2,935 ± 0,261	>0,05	0,04
	ЗГ	3,566 ± 0,208		3,089 ± 0,275		
Тета	ОГ	5,470 ± 0,264	>0,05	4,054 ± 0,191	>0,05	<0,001
	ЗГ	5,917 ± 0,403		4,247 ± 0,238		
<i>После тренинга</i>						
Альфа	ОГ	3,411 ± 0,317	0,03	2,864 ± 0,357	>0,05	0,01
	ЗГ	3,705 ± 0,329		3,125 ± 0,400		
Бета	ОГ	3,444 ± 0,169	>0,05	2,917 ± 0,276	>0,05	0,04
	ЗГ	3,503 ± 0,175		3,047 ± 0,336		
Тета	ОГ	6,136 ± 0,402	>0,05	4,513 ± 0,158	>0,05	0,001
	ЗГ	6,016 ± 0,348		4,434 ± 0,224		

Примечание. Здесь и в табл. 3: Л — левое; П — правое полушарие.

После курса нейробиоуправления у спортсменов улучшилось самочувствие ($p < 0,001$), возросла уверенность в себе ($p < 0,05$), увеличилось желание общаться с другими людьми ($p < 0,05$). В ответ на снижение зрительной афферентации повышалась температура ($p < 0,001$), но статистически значимых изменений в показателях спектральной мощности ритма сердца не обнаружено. Особенностью динамических перестроек биоэлектрической активности головного мозга явилось повышение мощности альфа-ритма левого полушария в ответ на закрывание глаз (табл. 2), в то время как мощности бета-ритма в левом полушарии и альфа-ритма в правом полушарии не имели значимых изменений. Таким образом, у спортсменов, успешно прошедших тренинг, повышение альфа-ритма в тренируемой области происходит при одном только закрывании глаз и не требует каких-либо дополнительных установок. Этот факт особенно важен в условиях соревнований для управления предстартовым состоянием.

У спортсменов второй группы при первичном обследовании наблюдались схожие с первой группой изменения электрофизиологических показателей. При закрывании глаз повышалась температура среднего пальца руки (табл. 1) и увеличивалась мощность VLF-компонента с увеличением относительного вклада этих волн, но в отличие от спортсменов первой группы это изменение структуры спектральной мощности происходило за счет снижения вклада LF-компонента, а не HF-компонента, как это наблюдалось в первой группе. Еще одной характерной особенностью спортсменов этой группы было отсутствие межполушарной асимметрии по мощности альфа-ритма (табл. 3) как при открытых, так и при закрытых глазах и бета-ритма при открытых глазах. После тренинга в ответ на снижение зрительной афферентации левополушарная асимметрия наблюдалась по всем основным ритмам ЭЭГ при сохранившейся температурной реакции.

Для более детального определения предикторов успешности и эффективности курса нейробиоуправления (следует отметить, что не обнаружено корреляционных связей между успешностью и эффективностью тренинга) проведен дискриминантный анализ полученных результатов, в ходе которого

выявлено, что основным фактором, определяющим эффективность тренинга, выступает мощность тета-ритма в правом полушарии в фоновой записи при открытых глазах.

Таблица 3

Динамика ритмов ЭЭГ в ответ на закрытие глаз у спортсменов второй группы, мкВ²/с

Ритм	Проба	Левое полушарие		Правое полушарие		p (Л—П)
		M ± m	p	M ± m	p	
<i>До тренинга</i>						
Альфа	ОГ	2,976 ± 0,150	>0,05	2,624 ± 0,321	>0,05	>0,05
	ЗГ	2,988 ± 0,201		2,597 ± 0,331		>0,05
Бета	ОГ	3,191 ± 0,135	>0,05	2,774 ± 0,311	>0,05	0,074
	ЗГ	3,168 ± 0,184		2,698 ± 0,297		0,035
Тета	ОГ	5,571 ± 0,290	>0,05	4,179 ± 0,260	>0,05	0,009
	ЗГ	5,391 ± 0,294		4,026 ± 0,190		0,005
<i>После тренинга</i>						
Альфа	ОГ	2,875 ± 0,192	>0,05	2,418 ± 0,213	>0,05	0,006
	ЗГ	3,046 ± 0,242		2,575 ± 0,289		0,03
Бета	ОГ	3,105 ± 0,163	>0,05	2,436 ± 0,145	>0,05	0,001
	ЗГ	3,194 ± 0,208		2,524 ± 0,206		0,004
Тета	ОГ	5,567 ± 0,258	>0,05	4,216 ± 0,122	>0,05	0,001
	ЗГ	5,493 ± 0,253		4,166 ± 0,252		0,004

Уравнение дискриминантной функции имеет следующий вид: $d = 1,361 \theta - 5,623$, где θ — мощность тета-ритма в правом полушарии, мкВ²/с.

Средние значения дискриминантной функции равны: $-0,570$ — эффективный тренинг; $0,985$ — неэффективный тренинг.

Согласно полученным данным, прогноз эффективности составляет 80%, средние значения дискриминантной функции существенно отличаются ($p < 0,001$), коэффициент канонической корреляции равен $0,613$.

Успешность тренинга оказалась менее прогнозируемой. В целом она определялась средней мощностью VLF-компонента в фоновой записи при открытых глазах.

Уравнение дискриминантной функции имеет следующий вид: $d = 0,001 \cdot VLF (\text{мкВ}^2) - 1,529$. Средние значения этой функции равны: $-0,28$ — успешный тренинг; $0,42$ — неуспешный тренинг.

Однако данное уравнение дает весьма приблизительный (грубый) прогноз, так как средние значения дискриминантной функции хоть и отличаются друг от друга ($p \leq 0,05$), но имеют низкое значение уровня коэффициента канонической корреляции ($\lambda = 0,33$). Точность прогнозирования составляет всего 68,6%.

Учитывая то, что гормональная цикличность женского организма оказывает существенное влияние на нейродинамику [8], полученные результаты проанализированы отдельно для групп юношей (17 человек) и девушек (18 человек).

Анализ полученных результатов показал, что успешность курса нейробиоуправления у спортсменов-юношей определяется двумя показателями: средней мощностью VLF- и HF-компонентов спектра вариабельности сердечного ритма (BPC), регистрируемых в пробе с открытыми глазами. При этом наибольшее влияние все же оказывает мощность очень низкочастотных волн. Уравнение дискриминантной функции приняло следующий вид:

$$d = 0,002 \cdot VLF (\text{мкВ}^2) - 0,001 \cdot HF (\text{мкВ}^2) - 1,064.$$

Средние значения дискриминантной функции равны: $-0,851$ — успешный тренинг; $1,064$ — неуспешный тренинг.

Координаты центроидов показывают, что чем меньшее значение принимает функция, тем успешнее спортсмен проходит тренинг. Так как средние значения дискриминантной функции существенно отличаются друг от друга ($p \leq 0,005$), значение коэффициента канонической корреляции равно $0,71$, а точность прогнозирования составляет 83,3%, то полученное уравнение вполне может быть использовано для прогнозирования успешности нейробиоуправления у спортсменов.

В группе спортсменок не выявлено наиболее значимых показателей BPC и биоэлектрической активности головного мозга, определяющих успешность тренинга. Возможно, гормональная цикличность женского организма является определяющим фактором успешности курса нейробиоуправления.

Заключение

Проведенное исследование показало, что для спортсменов характерна левосторонняя межполушарная асимметрия по всем основным ритмам ЭЭГ. В случае успешного прохождения тренинга повышение альфа-ритма в тренируемой области происходит при одном только закрытии глаз и не требует каких-либо дополнительных установок. Эффективность курса нейробиоуправления определяется медленной биоэлектрической активностью головного мозга (тета-диапазон) в правом полушарии при открытых глазах. Успешность тренинга у спортсменов зависит

от мощности очень низкочастотных и высокочастотных волн спектра ВРС. Возможность прогнозирования успешности тренинга у спортсменок требует более детального изучения.

Литература

1. Гехт К., Йильмаз Я., Саволей Е.Н. и др. Анализ вариабельности сердечного ритма при функциональном тесте на измерение артериального давления при релаксации // Медленные колебательные процессы в организме человека. Теоретические и прикладные аспекты нелинейной динамики в физиологии и медицине. Новокузнецк, 2007. С. 87—94.
2. Жаворонкова Л.А. Правши и левши: особенности межполушарной асимметрии мозга и параметров когерентности ЭЭГ // Журн. высшей нервной деятельности. 2007. № 57 (6). С. 645—662.
3. Зенков Л.Р. Клиническая электроэнцефалография (с элементами эпилептологии). Таганрог, 1996. 358 с.
4. Наследов А.Д. SPSS: компьютерный анализ данных в психологии и социальных науках. СПб., 2007. 416 с.
5. Погадаева О.В. Предикторы эффективности использования альфа-стимулирующего тренинга в спортивной тренировке: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Томск, 2001. 19 с.
6. Погадаева О.В., Черепкина Л.П., Баёва Н.А. и др. Оценка клинической эффективности локального альфа-стимулирующего тренинга // Биоуправление в медицине и спорте. Омск, 2002. С. 71—74.
7. Святогор И.А., Моховикова И.А., Бекшаев С.С. и др. Оценка эффективности и успешности метода биологически обратной связи в управлении потенциалами мозга // Биологически обратная связь. 2000. № 1. С. 8—11.
8. Флейшман А.Н. Медленные колебания гемодинамики. Теория, практическое применение в клинической медицине и профилактике. Новосибирск, 1999. 264 с.

Поступила в редакцию 02.12.2009 г.

Утверждена к печати 22.12.2009 г.

Сведения об авторах

Л.П. Черепкина — канд. биол. наук, доцент кафедры анатомии и физиологии Сибирского государственного университета физической культуры и спорта (г. Омск).

Для корреспонденции

Черепкина Лариса Петровна, e-mail: kochelab@mail.ru

Порядок рецензирования статей в журнале «Бюллетень сибирской медицины»

Все поступающие в редакцию рукописи после регистрации проходят этап обязательного конфиденциального рецензирования членами редакционного совета либо внешними рецензентами. Рецензенты не имеют права копировать статью и обсуждать ее с другими лицами (без разрешения главного редактора).

При получении положительных рецензий работа считается принятой к рассмотрению редакционной коллегией журнала, которая окончательно решает вопрос о размещении материала в том или ином номере «Бюллетеня сибирской медицины».

Редакция журнала извещает основного автора о результатах прохождения рецензирования и сроках публикации. В случае отказа в публикации редакция журнала по просьбе автора возвращает ему полученные материалы.

Редакция не принимает рукописи научно-практического характера, опубликованные ранее в других изданиях.

Все полученные редакцией журнала «Бюллетень сибирской медицины» рукописи будут рассмотрены без задержек и при получении положительной рецензии обязательно опубликованы в течение одного года.

С правилами оформления работ можно ознакомиться в Интернете на сайте СибГМУ: <http://ssmu.tomsk.ru>.
Статьи и информация для журнала принимаются в редакционно-издательском отделе СибГМУ.