

ФИЗИОЛОГИЯ

УДК 612.825.58

УВЕЛИЧЕНИЕ МОЩНОСТИ ДЕЛЬТА-РИТМА ЭЭГ ПОСЛЕ ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ НА ТРЕНАЖЕРЕ POWER PLATE

**В.Ф. Пятин, М.С. Сергеева, Е.С. Коровина,
В.В. Королев, О.В. Лавров**

Самарский государственный медицинский университет

Цель исследования – изучение влияния интенсивной проприоцептивной афферентации, вызванной физической нагрузкой ускорением на тренажере Power Plate, на электрическую активность коры больших полушарий головного мозга человека. Прирост проприоцептивной афферентации при двух режимах стимуляции проприорецепторов скелетных мышц (Low – 30Гц, 18 м/с² и High – 30Гц, 31 м/с²) на тренажере Power Plate увеличивает мощность дельта-диапазона ЭЭГ и распространенность синхронизированных нейронных сетей коры головного мозга (Low – отведения F₃, P_z, T₅, T₆; High – отведения F₃, F₄, C_z, T₅, T₆, O₁, O₂). С учетом генеза и функционального значения дельта-диапазона ЭЭГ можно констатировать, что в условиях интенсивной активации восходящей соматической афферентной системы последняя контролирует функции нейронных сетей головного мозга человека, которые обуславливают познавательную деятельность (внимание, память), мотивационное поведение, а также, анаболическое и антистрессовое обеспечение локомоторной активности во время физической нагрузки в условиях ускорения на тренажере Power Plate.

Ключевые слова: дельта-ритм ЭЭГ, физическая нагрузка ускорением, интенсивная проприоцептивная стимуляция, тренажер Power Plate.

Введение. Относительно недавно в исследованиях на человеке и в экспериментах на животных было доказано, что механизмы регуляция физиологических функций организма при локомоциях задействуются в результате активации проприорецепторов скелетных мышц [14–16; 31]. Эффективное использование фактора ускорения, создаваемого с помощью тренажера Power Plate, для развития силовых, скоростных и выносливых качеств мышечной системы спортсменов, основаны на создании максимальной активации проприоцептивной системы человека [2; 3]. Физическая нагрузка на тренажере Power Plate вызывает быстрые системные физиологические реакции организма человека, для которых характерно специфическое 4–5-ти кратное повышение уровня гормона роста в крови [8; 10; 17; 22], и, напротив, уменьшение уровня кортизола в крови [26; 39]. Системные ответы организма человека при тренинге ускорением на тренажере Power Plate

в виде специфических респираторных и кардиогемодинамических реакций [2], активации механизмов клеточного и гуморального иммунитета [3], восстановления минеральной плотности костной ткани при остеопорозе у пожилых женщин [1], свидетельствуют о том, что проприоцептивная система контролирует физиологические функции посредством специфических нейронных сетей. В частности, в исследованиях на животных в зоне А5 моста идентифицированы проприоцептивные нейроны, которые при их активации со стороны проприорецепторов, синаптически тормозят активность симпатизирующих нейронов этой же области мозга [31]. Физиологическая роль активации этой стволовой нейронной сети заключается в снижении тонуса гладких мышц артериальных сосудов мышц, а также гладких мышц мелких дыхательных путей при локомоции [31]. Нейрофизиологический анализ нейронных сетей подкорковых и корковых структур мозга, регулирующих функции организма человека при разных видах деятельности человека, в том числе при физической нагрузке проводится путем исследования процессов квантования ритмов ЭЭГ [6; 13]. При традиционной физической нагрузке, для которой характерна относительно низкая активация проприоцептивной системы, выявлено увеличение мощности тета-, альфа- и бета- ритмов ЭЭГ [6; 19]. Напротив, физическая нагрузка ускорением на тренажере Power Plate создает уникальную по интенсивности проприоцептивную активацию и связанных с функцией проприоцептивной системы регуляторных механизмов различных функций [1; 3]. Нами было показано, что интенсивная активация проприоцептивной системы на тренажере Power Plate ведет к синхронизации биоэлектрической активности подкорковых и корковых нейронных сетей, генерирующих дельта-диапазон ЭЭГ [4]. Подобные исследования в литературе до последнего времени отсутствовали, поэтому целью нашего исследования явилось изучение влияния интенсивной проприоцептивной афферентации, вызванной физической нагрузкой ускорением на тренажере Power Plate, на электрическую активность коры больших полушарий головного мозга человека.

Материал и методика. В исследовании приняли участие 25 девушек в возрасте 17–19 лет, давших информированное согласие на участие в работе. Физическая нагрузка на тренажере Power Plate (UK) осуществлялась при частоте движения платформы 30 Гц, а также при двух режимах ее ускорения 18 м/с² (Low) и 31 м/с² (High). Оба фактора воздействуют на проприоцептивную систему человека в условиях трёхмерного движения платформы тренажера Power Plate. Возникающая при этом интенсивная стимуляция мышечных веретен скелетных мышц человека с частотой 30 Гц на тренаже Power Plate вызывает рефлекторное сокращение экстрафузальных мышечных волокон той же мышцы с частотой 30 Гц. С этой целью во время исследования ступни

обеих ног испытуемых, сидевших в ЭЭГ-кресле, помещались на платформу тренажера Power Plate. Испытуемым предъявляли одно упражнение при двух режимах (Low и High) на тренажере Power Plate длительностью 30 сек, при котором инициировалось рефлекторное сокращение преимущественно четырехглавых мышц правой и левой ноги одновременно. Следует подчеркнуть, что в условиях интенсивной стимуляции проприорецепторов мышц на тренажере Power Plate различие режимов Low и High заключается в высокой и в максимальной активации проприоцептивной системы соответственно.

ЭЭГ регистрировали монополярно от симметричных лобных (F_3 , F_4), височных (T_5 , T_6), затылочных (O_1 , O_2) отведений, зоны vertex (Cz) и центральной теменной зоны (Pz) по системе 10–20% с помощью системы «МБН Нейрокартограф». Частота квантования составляла 128 измерений в секунду, пределы фильтрации 0,5–30 Гц, чувствительность 5 мкВ. Время ввода одной записи ЭЭГ составляло 1 минуту. Во время записи испытуемые находились в темной звукоизолированной комнате с закрытыми глазами.

ЭЭГ регистрировали у испытуемых до физической нагрузки ускорением на тренажере Power Plate и тотчас после выполнения упражнения в течение 30 сек при двух режимах (Low и High). Чтобы исключить влияние на ритмы ЭЭГ испытуемых физических факторов (шума, вибрации) работы тренажера Power Plate в серии исследований ЭЭГ регистрировали во время 30 сек работы тренажера PP, при этом ноги испытуемых находились вне платформы тренажера.

Полученные данные обрабатывались статистически с помощью лицензионного пакета статистических программ «SPSS v 13.0» и пакета прикладных программ «StatPlus Profession 2007» (США) с предварительным анализом закона распределения всех изучаемых параметров (тесты Колмогорова-Смирнова, Dunnett's, Tukey). Все результаты представлены в виде средних величин и их стандартной ошибки, а также в виде относительных данных (отклонения в процентах от исходных значений). Достоверность измерений оценивалась параметрическими (t-тест Стьюдента для зависимых и независимых выборок) и непараметрическими (t-тест Вилкоксона для зависимых выборок и критерий Манна-Уитни для независимых выборок) методами. Межгрупповые различия вычислялись с использованием однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) или многомерного дисперсионного анализа (MANOVA). Статистически значимыми изменения средних величин считались при $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение.

ЭЭГ в условиях Low-режима активации проприоцептивной системы. После 30 с проприоцептивной стимуляции на тренажере

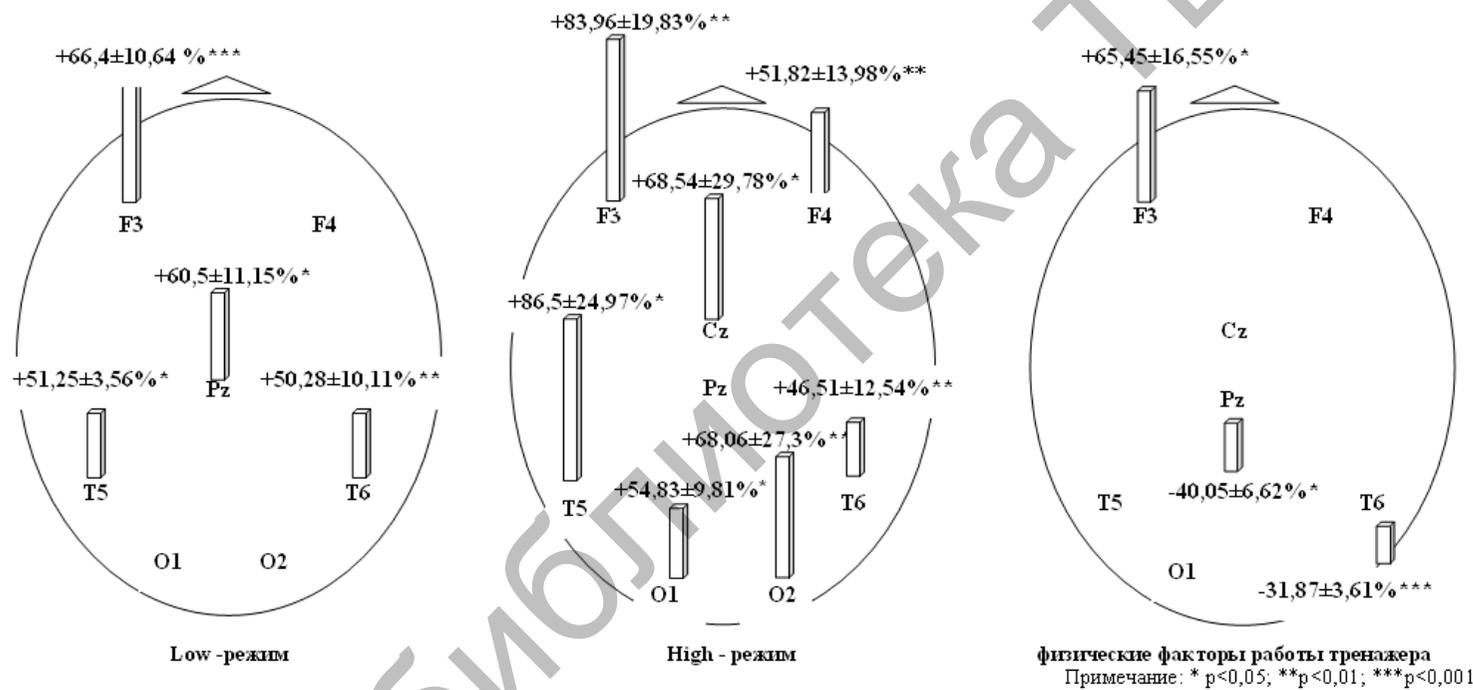
Power Plate четырехглавых мышц у испытуемых были зарегистрированы существенные различия в изменении мощности спектра ритмов ЭЭГ. Так, в дельта-диапазоне ЭЭГ у 43% испытуемых статистически достоверно увеличивалась мощность в отведениях F₃ (66,4±10,64 %, p<0,001), Pz (60,5±11,15%, p<0,05), T₅ (51,25±3,56%, p<0,05) и в T₆ (50,28±10,11%, p<0,01) (табл. 1, рисунок). Это указывает на синхронизацию обширных подкорково-корковых нейронных сетей мозга испытуемых в ответ на интенсивную стимуляцию проприоцептивной системы.

Таблица 1
Средние значения мощности частотных диапазонов ЭЭГ до и после Low-режима активации проприоцептивной системы, мкВ² (M±m)

Отведения	Этап	Ритмы ЭЭГ					
		дельта	тета1	тета2	альфа	бета1	бета2
F ₃	фон	14,27±3,5	4,96±1,52	7,79±5,16	31,41±13,76	3,2±0,67	1,06±0,19
	Low	28,22±7,81***	6,74±2,34	11,53±7,95	44,34±18,29	4,12±0,86	1,6±0,34
F ₄	фон	9,84±2,19	4,51±1,91	7,93±4,53	39,83±12,57	3,04±0,53	1,54±0,2
	Low	35,94±21,22	6,73±2,71	13,37±8,19	51,03±17,57	4,55±0,97	2,52±0,41
C _z	фон	12,11±2,94	6,37±2,35	14,74±6,16	52,75±24,42	4,62±0,26	2,7±0,64
	Low	30,71±15,11	8,44±2,98*	22,04±10,65***	65,4±30,23	6,25±0,58	3,53±0,67
P _z	фон	11,88±2,75	7,27±5,01	19±9,4	39,15±19,05	5,43±0,84	1,33±0,34
	Low	20,55±6,47*	10,6±7,64	29,46±15,52	52,64±25,83	5,38±0,8	1,93±0,47
T ₅	фон	5,86±1,25	5,35±1,78	5,68±2,57	21,9±17,78	1,84±0,01	1,94±0,42
	Low	25,3±17,52*	7,24±2,45	7,68±3,61	28,22±22,27	2,37±0,16	2,64±0,64*
T ₆	фон	6,43±1,17	3,22±0,99	2,67±0,62	12,93±4,77	1,42±0,3	0,86±0,19
	Low	17,8±6,85**	4,29±1,26	1,68±0,38***	16,86±6,17	1,8±0,34	1,4±0,25*
O ₁	фон	14,6±5,93	7,22±4,16	5,21±1,78	44,34±12,54	5,47±1,39	1,41±0,19
	Low	38,52±22,23	9,08±4,96	3,05±0,9***	29,08±8,24***	7,18±1,82	1,96±0,28*
O ₂	фон	14,95±6,38	8,95±6,92	3,78±1,96	57,11±23,39	4,93±0,95	2,24±0,67
	Low	21,53±7,55	11,55±8,7	4,86±2,62	72,82±29,39	6,63±1,38	2,89±0,79*

Примечание. * – p<0,05; ** – p<0,01; *** – p<0,001.

В этих же условиях исследования в тета1-ритме ЭЭГ у 52% испытуемых выявлено статистически значимое увеличение мощности только в одном отведении Cz (35,67±3,95%, p<0,05).



Р и с у н о к . Динамика мощности дельта-диапазона ЭЭГ в условиях Low и High -режимах активации проприоцептивной системы и после действия физических факторов работы тренажера Power Plate

Разнонаправленная динамика мощности тета2-ритма ЭЭГ выявлена у 40% испытуемых. Увеличение мощности этого ритма на $39,35 \pm 8,29\%$ ($p < 0,001$), зарегистрировано в отведении Cz, а в отведениях T₆ и O₁, напротив, выявлено явление десинхронизации вследствие уменьшения мощности тета2-ритма на $36,16 \pm 2,73\%$ ($p < 0,001$) и $34,93 \pm 5,14\%$ ($p < 0,001$) соответственно. Явление десинхронизации в альфа-диапазоне ЭЭГ зарегистрировано у 40% испытуемых в O₁ отведении, в котором произошло уменьшение мощности на $35,01 \pm 2,31\%$ ($p < 0,001$).

Синхронизация бета2-ритма ЭЭГ в условиях Low-режима активации проприоцептивной системы выявлена у 44% испытуемых в темпоральных и затылочных отведениях. При этом мощность ритма ЭЭГ увеличивалась в отведениях T₅ ($32,22 \pm 5,3\%$, $p < 0,05$), T₆ ($70,35 \pm 15,4\%$, $p < 0,05$), O₁ ($38,21 \pm 10,37\%$, $p < 0,05$) и O₂ ($35,51 \pm 5,29\%$, $p < 0,05$).

ЭЭГ в условиях High-режима активации проприоцептивной системы. После 30 с проприоцептивной стимуляции на тренажере Power Plate четырехглавых мышц у испытуемых также были зарегистрированы существенные различия в изменении мощности ритмов ЭЭГ. Явление синхронизации в дельта-диапазоне ЭЭГ выявлено у 60% испытуемых. Обращает на себя внимание значительный прирост мощности дельта-ритма и распространенность активации нейронных сетей в пределах одной гемисферы и на межполушарном уровне. Как показано в табл. 2 в этих условиях исследования у испытуемых статистически достоверно увеличивалась мощность дельта-диапазона ЭЭГ в отведениях F₃ ($83,96 \pm 19,83\%$, $p < 0,01$), F₄ ($51,82 \pm 13,98\%$, $p < 0,01$), Cz ($68,54 \pm 29,78\%$, $p < 0,05$), T₅ ($86,5 \pm 24,97\%$, $p < 0,05$), T₆ ($46,51 \pm 12,54\%$, $p < 0,01$), O₁ ($54,83 \pm 9,81\%$, $p < 0,05$) и O₂ ($68,06 \pm 27,3\%$, $p < 0,01$) (рис. 1).

Синхронизация тета1-ритма ЭЭГ у 52% испытуемых выявлена только в отведении O₁ ($46 \pm 12,82\%$, $p < 0,05$). Явление синхронизации бета2-ритма ЭЭГ отмечено у 48% испытуемых: мощность этого ритма статистически достоверно увеличивалась в темпоральных отведениях левой и правой гемисфер: T₅ ($44,45 \pm 12,74\%$, $p < 0,05$) и T₆ ($49,39 \pm 15,36\%$, $p < 0,01$).

Влияние физических факторов работы тренажера Power Plate на ритмы ЭЭГ. Тренажер Power Plate при его работе генерирует звуковые и вибрационные стимулы, которые также воспринимаются испытуемыми. Чтобы оценить вклад этих физических факторов в генез динамики ритмов ЭЭГ в серии исследований мы проводили регистрацию ЭЭГ без проприоцептивной стимуляции во время работы тренажера Power Plate, когда испытуемые находились рядом с работающим тренажером. В большинстве случаев зарегистрировано явление десинхронизации ритмов ЭЭГ. Исключение составила

синхронизация дельта-диапазона ЭЭГ в отведении F₃ (65,45±16,55%, p<0,05) у 52% исследуемых и синхронизация бета2-ритма ЭЭГ у 28% испытуемых в отведениях T₅ (42,56±17,77%, p<0,05) и T₆ (55,15±14,09%, p<0,01) (рисунок).

Таблица 2

Средние значения мощности частотных диапазонов ЭЭГ до и после High-режима активации проприоцептивной системы, мкВ² (M±m)

Отведение	Этап	Ритмы ЭЭГ					
		дельта	тета1	тета2	альфа	бета1	бета2
F ₃	фон	2,93±1,98	2,86±1,6	3,33±1,5	11,48±3,8	2,99±0,97	1,41±0,81
	High	24,78±5,38**	4,38±2,47	4,88±2,46	7,41±2,38	2,01±0,59	1,81±0,92
F ₄	фон	12,76±2,38	5,32±0,86	17,78±9,72	2,29±0,38	1,33±0,02	0,98±0,19
	High	20,03±4,39**	3,66±0,59	10,91±5,92	3,44±0,66	1,86±0,12	1,32±0,24
C _z	фон	13,19±2,16	4,65±0,39	29,8±15,92	9,15±5,35	1,54±0,25	0,89±0,14
	High	21,25±3,49*	5,87±0,37	18,14±9,93	11,63±6,45	2,27±0,28	1,31±0,16
P _z	фон	8,1±1,6	4,77±0,64	8,74±3,57	25,99±14,01	5,85±0,88	3,11±0,34
	High	12,1±2,74	6,4±0,74	11,91±5,24	16,66±9,67	5,78±0,89	3,06±0,32
T ₅	фон	7,83±1,86	1,71±0,44	1,93±0,47	14,29±12,14	4,52±1,27	1,63±0,24
	High	13,62±2,3*	2,71±0,84	2,81±0,74	17,67±14,64	5,78±1,56	2,39±0,44*
T ₆	фон	5,56±1,38	2,51±0,8	2,06±0,66	13,66±9,68	1,57±0,68	0,54±0,08
	High	8,11±2**	3,23±0,86	2,83±0,93	10,66±7,8	2,14±0,93	0,76±0,08**
O ₁	фон	16,69±6,45	5,84±2,91	3,19±1,09	95,04±85,61	5,71±0,81	3,03±0,75
	High	23,62±8,31*	7,85±3,67*	5,79±2,31	116,8±105,1	6,24±0,99	3,94±0,84
O ₂	фон	12,36±4,6	6,89±4,63	2,32±1	7,44±5,01	4,63±2,91	1,99±0,57
	High	18,54±5,75**	8,68±5,55	3,43±1,6	12,38±9,2	6,21±3,93	2,61±0,68

Примечание. * – p<0,05; ** – p<0,01; *** – p<0,001.

В остальных случаях после Low и High режимов ускорения динамика ритмов ЭЭГ не имела достоверных значений.

Представленные данные свидетельствуют о том, что проприоцептивная стимуляция, вызванная ритмическим рефлекторным сокращением четырехглавых мышц бедра испытуемых в условиях ускорения разной степени (Low и High), синхронизирует активность корковых нейронных сетей мозга, генерирующих ритмы ЭЭГ. Наиболее генерализованный характер феномен синхронизации в ответ на активацию проприоцептивной сенсорной системы проявляется в дельта-диапазоне ЭЭГ. Для синхронизации дельта-диапазона ЭЭГ в High-режиме ускорения на тренажере Power Plate по сравнению с таковым

при Low-режиме характерно распространение процесса на лобные, темпоральные и затылочные области коры головного мозга, а также переход межполушарной синхронизации с темпоральных областей (отведение Pz) в лобные области коры головного мозга (отведение Cz).

Причем, если при Low-режиме у 43% испытуемых выявлена синхронизация в дельта-диапазоне ЭЭГ, то при High-режиме – синхронизация диапазона отмечается у 60% участников исследования.

Процесс синхронизации в тета1- и тета2 ритмов, зарегистрированный как межполушарный феномен в отведении Cz при Low-режиме активации проприоцептивной системы, исчезает при предъявлении High-режима и смещается в этом случае в область затылочного отведения O₁.

В работе выявлен процесс синхронизации бета-2 ритма ЭЭГ в правой и левой темпоральных и затылочных областях коры головного мозга области в ответ на интенсивную проприоцептивную стимуляцию при Low-режиме и сохранение синхронизации ритма в симметричных темпоральных областях (T₅ и T₆) при High-режиме. Можно предположить, что синхронизация бета2-ритма в отведениях T₅ и T₆ обусловлена процессами восприятия звуковых стимулов, инициированных работой тренажера.

При анализе данных синхронизации ритмов ЭЭГ в ответ на интенсивную стимуляцию проприорецепторов мышц испытуемых в дельта-диапазоне, а также бета2-ритма и в отведении Cz тета-диапазона следует учитывать явления десинхронизации и синхронизации ритмов ЭЭГ, которые возникают при воздействии физических звуковых и вибрационных факторов, создаваемых при работе тренажера Power Plate. Например, синхронизация бета2-ритма ЭЭГ в отведениях T₅ и T₆ нами зарегистрирована как при проприоцептивной стимуляции, так и без таковой (серия исследования ЭЭГ при действии звука и вибрации при работе тренажера). В дельта-диапазоне ЭЭГ в отведении F₃ зарегистрирована синхронизация как при проприоцептивной стимуляции, так и при действии физических факторов работающего тренажера (звук-вибрация). Однако при High-режиме проприоцептивной стимуляции процент прироста мощности дельта-ритма в отведении F₃ составил $83,96 \pm 19,83\%$, а при воздействии только факторов звука и вибрации – $65,45 \pm 16,55\%$.

Межгрупповые различия при физической нагрузке ускорением низкой и высокой интенсивности и воздействия физических факторов работы тренажера Power Plate выявлены по показателям мощности в дельта-диапазоне ЭЭГ в отведениях F₄, Pz, T₆, O₁, O₂ и в бета2-диапазоне в T₆ ($p < 0,05$).

В нашей работе впервые показано, что прирост мощности дельта-квантуемого ритма ЭЭГ является наиболее стабильным ответом

функциональной активности нейронных сетей коры головного мозга в ответ на интенсивную проприоцептивную стимуляцию на тренажере Power Plate.

Дельта-ритм ЭЭГ рассматривается в качестве глобального, базового режима работы неокортекса, охватывающего сравнительно большие области коры и способствующего интеграции пространственно распределенных нейронных сетей [28; 33]. Дельта-диапазон ЭЭГ выступает в качестве нейрофизиологического коррелята эмоционально-мотивационных процессов и состояний. Так, увеличение дельта активности отмечается при голоде, сексуальном возбуждении, чувстве боли, при введении наркотических веществ. При этом осцилляции дельта в диапазоне ЭЭГ зависят от активности дофаминергической системы мозга [32; 35].

Имеется положительная корреляция между активностью дельта ритма и секрецией гормона роста и введением тестостерона у мужчин и отрицательная корреляция между дельта- активностью и секрецией кортизола. По литературным данным, увеличение мощности дельта осцилляций находят у мужчин после введения тестостерона [35], который усиливает сексуальную мотивацию и уменьшает поведенческое торможение и уровень тревожности [38]. Установлена положительная корреляция мощности дельта волн с секрецией гормона роста во время сна, причём наибольшее количество гормона роста (85%) секретируется в первые 3 часа после засыпания, во время медленно-волнового сна, когда наблюдается наибольшая мощность дельта активности [18; 25].

В связи со сказанным выше, важно подчеркнуть, что после тренировки ускорением у испытуемых происходит увеличение секреции анаболических гормонов [8; 10; 17; 22]. Тренинг ускорением повышает уровни анаболических гормонов в плазме крови спортсменов и преимущественно активирует тип IIb быстрых мышечных волокон. Рекрутирование высокопороговых волокон во время тренинга ускорением формирует в мышце анаболический ответ подобно тому, как это происходит при чрезмерно высокой физической нагрузке или в велосипедном спорте. Однако при тренинге ускорением анаболический эффект достигается быстрее, очень просто и значителен по силе. В частности уровень гормона роста в плазме крови после 10 минутного тренинга ускорением возрастают на 460%, повышается также концентрация тестостерона. Этот гормональный профиль сочетается при тренинге ускорением с ростом содержания в крови серотонина и норадреналина и стабилизации или снижения уровней кортизола в пост-тренировочном периоде [26; 39]. Поэтому гормональный фон при тренинге ускорением обеспечивает силовую адаптацию к нагрузкам [12] и профилактику стресса.

Дельта-квантующий механизм коры больших полушарий головного мозга участвует в мониторинге метаболических и автономных функций, а также чувствителен к изменениям дыхательного [9] и сердечного ритмов [5; 21; 40], связан с функциональной перестройкой вегетативных центров в стволе мозга [24]. Так установлена взаимосвязь между колебаниями симпатовагусного баланса и изменениями в дельта-волновой активности во время ночного сна [11], между продолжительностью кардиоинтервалов и соотношением дельта-, тета- активностей ЭЭГ во время парадоксального сна [29].

В тоже время, исследованиями ряда авторов [14–16] установлено, что физиологические эффекты, возникающие в организме человека при физической нагрузке ускорением, обусловлены интенсивной активацией проприоцептивного аппарата. Степень активации восходящей проприоцептивной афферентации контролирует стволовые механизмы регуляции дыхания и кровообращения [30; 31], а на уровне гипоталамуса (мышечно-гипоталамическая ось) – секрецию анаболических гормонов [8].

В литературе имеются данные о том, что дельта – ритм ЭЭГ служит нейрофизиологическим коррелятом сложных когнитивных процессов. Процессы дельта-квантования характерны для сенсорной обработки, модуляции сенсорные входов, дельта-ритм облегчает проведение значимой информации и подавляет информационный шум [23; 34]. Тем самым дельта – ритм участвует в процессе внимания, его распределения и избирательности, обеспечивая усиление и ускорение реагирования на предъявление стимула [20; 36]. Из стимулов окружающей среды, воспринимаемых мозгом, дельта-квантование выделяет те из них, которые важны для удовлетворения биологических потребностей или достижения сиюминутных целей. Так, всплески дельта активности на ЭЭГ появляются в эксперименте во время обнаружения сигнала, оценки и категоризации стимула, принятия решения [7; 33]. Дельта активность выступает также в качестве ведущего механизма консолидации следов памяти, реализации рабочей памяти [37; 41] и абстрактного мышления [27].

Заключение. Анализ полученных в настоящей работе данных и литературных первоисточников позволяет сделать заключение о том, что проприоцептивная система организма человека посредством вовлечения в активность процессов дельта-квантования электрической активности в нейронных сетях головного мозга участвует в контроле физиологических функций при локомоции. Прирост проприоцептивной афферентации при двух режимах стимуляции проприорецепторов скелетных мышц (Low и High) на тренажере Power Plate увеличивает мощность дельта-диапазона ЭЭГ и его распространенность в

синхронизированных нейронных сетях коры головного мозга (Low- отведения F₃, P_z, T₅, T₆; High – отведения F₃, F₄, C_z, T₅, T₆, O₁, O₂). С учетом генеза и функционального значения дельта-диапазона ЭЭГ можно констатировать следующее. При локомоции, к одному из видов которой относится физическая нагрузка ускорением на тренажере Power Plate, стимуляция восходящей соматической афферентной системы синхронизирует активность нейронных сетей головного мозга человека. Синхронизация электрической активности обширных нейронных сетей подкорковых образований и коры больших полушарий головного мозга обеспечивает контроль познавательной деятельности (внимание, память), мотивационное поведение, анаболическое и антистрессовое обеспечение локомоторной деятельности.

Список литературы

1. Котельников Г.П., Пятин В.Ф., Булгакова С.В., Широлапов И.В. Равноускоренный тренинг увеличивает минеральную плотность костной ткани и сывороточную концентрацию остеокальцина у женщин пожилого возраста // Успехи геронтологии. 2010. Т. 23, № 2. С. 257–262.
2. Пятин В.Ф., Широлапов И.В. Однократная вибрационная физическая нагрузка значительно увеличивает скорость экспираторного воздушного потока у человека // Вестн. Твер. гос. ун-та. Сер. Биология и экология. 2009. Вып.11, № 2. С. 38–43.
3. Пятин В.Ф., Жестков А.В., Широлапов И.В., Никитин О.Л., Лимарева Л.В., Зубова И.А. Адаптационные возможности системы иммунитета женщин пожилого возраста в условиях равноускоренного тренинга: результаты 24-недельного исследования // Аллергология и иммунология. 2010. Т. 11, № 1. С. 42–47.
4. Сергеева М.С., Пятин В.Ф., Королев В.В., Коровина Е.С. Исследование мозговой активности человека при интенсивной стимуляции проприорецепторов скелетных мышц // Медицина в XXI веке: традиции и перспективы // Сб. тр. междунар. Интернет-конф. (Казань, 12–15 марта 2012 г.). Казань: Альянс, 2012. С. 227–230.
5. Ako M., Kawara T., Uchida S., Miyazaki S., Nishihara K., Mukai J., Hirao K., Ako J., Okubo Y. Correlation between electroencephalography and heart rate variability during sleep // Psychiatry Clin. Neurosci. 2003. Vol. 57, № 1. P. 59–65.
6. Bailey S.P., Hall E.E., Folger S.E., Miller P.C. Changes in EEG during graded exercise on a recumbent cycle ergometer // Journal of Sports Science and Medicine. 2008. Vol. 7. P. 505–511.

7. *Basar E., Basar-Eroglu C., Karakas S., Schurmann M.* Are cognitive processes manifested in event-related gamma, alpha, theta and delta oscillations in the EEG? // *Neurosci. Lett.* 1999. Vol. 259, № 3. P. 165–168.
8. *Bosco C., Iacovelli M., Tsarpela O., Cardinale M., Bonifazi M., Tihanyi J., Viru M., De Lorenzo A., Viru A.* Hormonal responses to whole-body vibration in men // *Eur. J. Appl. Physiol.* 2000. Vol. 81, № 6. P. 449–454.
9. *Busek P., Kemlink D.* The influence of the respiratory cycle on the EEG // *Physiol. Res.* 2005. Vol. 54, № 3. P. 327–333.
10. *Cardinale M., Wakeling J.* Whole body vibration exercise: are vibrations good for you? // *Br. J. Sports Med.* 2005. Vol. 39, № 9. P. 585–589.
11. *Charloux A., Otzenberger H., Gronfier C., Lonsdorfer-Wolf E., Piquard F., Brandenberger G.* Oscillations in sympatho-vagal balance oppose variations in delta-wave activity and the associated renin release // *J. Clin. Endocrinol. Metab.* 1998. Vol. 83, № 5. P. 1523–1528.
12. *Cormie P., Deane R.S., Triplett N.T., McBride J.M.* Acute effects of whole-body vibration on muscle activity, strength, and power // *J. Strength Cond. Res.* 2006. Vol. 20, № 2. P. 257–261.
13. *Crabbe J.B., Dishman R.K.* Brain electrocortical activity during and after exercise: a quantitative synthesis // *Psychophysiology.* 2004. Vol. 41, № 4. P. 563–574.
14. *De Doncker L., Picquet F., Petit J.* Characterisation of spindle afferents in rat soleus muscle using ramp-and-hold and sinusoidal stretches // *J. Neurophysiol.* 2003. Vol. 89, № 1. P. 442–449.
15. *De Doncker L., Picquet F., Petit J., Falempin M.* Effects of hypodynamia-hypokinesia on the muscle spindle discharges of rat soleus muscle // *J. Neurophysiol.* 2003. Vol. 89, № 6. P. 3000–3007.
16. *Falempin M., In-Albon S.* Influence of brief daily tendon vibration on rat soleus muscle in non-weight-bearing situation // *J. Appl. Physiol.* 1999. Vol. 87, № 1. P. 3–9.
17. *Gosselink K.L., Roy R.R., Zhong H., Grindeland R.E., Bigbee A.J., Edgerton V.R.* Vibration-induced activation of muscle afferents modulates bioassayable growth hormone release // *J. Appl. Physiol.* 2004. Vol. 96, № 6. P. 2097–2102.
18. *Gronfier C., Luthringer R., Follenius M., Schaltenbrand N., Macher J.P., Muzet A., Brandenberger G.* A quantitative evaluation of the relationships between growth hormone secretion and delta wave electroencephalographic activity during normal sleep and after enrichment in delta waves // *Sleep.* 1996. Vol. 19, № 10. P. 817–824.
19. *Gwin J.T., Ferris D.P.* An EEG-based study of discrete isometric and isotonic human lower limb muscle contractions // *J. Neuroeng. Rehabil.* 2012. Vol. 9, № 1. P. 35.

20. *Harmony T., Fernández T., Silva J., Bernal J., Díaz-Comas L., Reyes A., Marosi E., Rodríguez M., Rodríguez M.* EEG delta activity: an indicator of attention to internal processing during performance of mental tasks // *Int. J. Psychophysiol.* 1996. Vol. 24, № 1–2. P. 161–171.
21. *Jurysta F., van de Borne P., Lanquart J.P., Migeotte P.F., Degaute J.P., Dumont M., Linkowski P.* Progressive aging does not alter the interaction between autonomic cardiac activity and delta EEG power // *Clin. Neurophysiol.* 2005. Vol. 116, № 4. P. 871–877.
22. *Kvorning T., Bagger M., Caserotti P., Madsen K.* Effects of vibration and resistance training on neuromuscular and hormonal measures // *Eur. J. Appl. Physiol.* 2006. Vol. 96, № 5. P. 615–625.
23. *Lakatos P., O'Connell M.N., Barczak A., Mills A., Javitt D.C., Schroeder C.E.* The leading sense: supramodal control of neurophysiological context by attention // *Neuron.* 2009. Vol. 64, № 3. P. 419–430.
24. *Lambertz M., Langhorst P.* Simultaneous changes of rhythmic organization in brainstem neurons, respiration, cardiovascular system and EEG between 0.05 and 0.5 Hz // *J. Auton. Nerv. Syst.* 1998. Vol. 68, № 1–2. P. 58–77.
25. *Liao F., Taishi P., Churchill L., Urza M.J., Krueger J.M.* Localized suppression of cortical growth hormone releasing hormone receptors state-specifically attenuates EEG delta waves // *J. Neurosci.* 2010. Vol. 30, № 11. P. 4151–4159.
26. *Mester J., Kleinoder H., Yue Z.* Vibration training: benefits and risks // *J. Biomech.* 2006. Vol. 39, № 6. P. 1056–1065.
27. *Michel C.M., Henggeler B., Brandeis D., Lehmann D.* Localization of sources of brain alpha, theta, delta activity and the influence of the mode of spontaneous mentation // *Physiol. Meas.* 1993. Vol. 14, № 4A. P. 21–26.
28. *Nunez P.L.* Neocortical dynamics and human EEG rhythms. N. Y.: Oxford University Press, 1995. 708 p.
29. *Pedemonte M., Rodríguez-Alvez A., Velluti R.A.* Electroencephalographic frequencies associated with heart changes in RR interval variability during paradoxical sleep // *Auton. Neurosci.* 2005. Vol. 123 (1-2). P. 82–86.
30. *Potts J.T.* Inhibitory neurotransmission in the nucleus tractus solitarii: implications for baroreflex resetting during exercise // *Exp. Physiol.* 2005. Vol. 91, № 1. P. 59–72.
31. *Pyatin V.F., Tatarnikov V. S., Glazkova E.N.* Activity of neurons of the cerebral A5 zone of rat induced by adequate stimulation of muscle afferents: On the control of arterial pressure and respiration during muscle activity // *Neurophysiology.* 2007. Vol. 39, № 6. P. 382–390.

32. Reid M.S., Prichep L.S., O'leary S., Ciptlet D., Tom M.L., Howard B. Quantitative electroencephalographic studies of cue-induced cocaine craving // Clin. Electroencephalogr. 2003. Vol. 34, № 3. P. 110–123.
33. Roschke J., Fell J. Spectral analysis of P300 generation in depression and schizophrenia // Neuropsychobiology. 1997. Vol. 35, № 2. P. 108–114.
34. Schroeder C.E., Lakatos P., Kajikawa Y., Partan S., Puce A. Neuronal oscillations and visual amplification of speech // Trends Cogn. Sci. 2008. Vol. 12, № 3. P. 106–113.
35. Schutter Dennis J.L.G., van Honk J. Decoupling of midfrontal delta–beta oscillations after testosterone administration // Int. J. Psychophysiol. 2004. Vol. 53, № 1. P. 71–73.
36. Stefanics G., Hangya B., Hernádi I., Winkler I., Lakatos P., Ulbert I. Phase entrainment of human delta oscillations can mediate the effects of expectation on reaction speed // J. Neurosci. 2010. Vol. 30, № 41. P. 13578–13585.
37. Steriade M., Timofeev I. Neuronal plasticity in thalamocortical networks during sleep and waking oscillations // Neuron. 2003. Vol. 37, № 4. P. 563–576.
38. Svensson A.I., Akesson P., Engel J.A., Soderpalm B. Testosterone treatment induces behavioral disinhibition in adult male rats // Pharmacol. Biochem. Behav. 2003. Vol. 75, № 2. P. 481–490
39. Van der Meer G, Zeinstra E., Tempellars J., Hopson S. Handbook of acceleration training. Science, principles, and benefits // Healthy Learning. 2007. 181 p.
40. Yang C.C., Shaw F.Z., Lai C.J., Lai C.W., Kuo T.B. Relationship between electroencephalogram slow-wave magnitude and heart rate variability during sleep in rats // Neurosci. Lett. 2003. Vol. 336, № 1. P. 21–24.
41. Zarjam P., Epps J., Chen F. Characterizing working memory load using EEG delta activity // 19th European Signal Processing Conference. 2011. P. 1554–1558.

AN INCREASE OF POWER IN THE DELTA-RHYTHM EEG AFTER EXERCISE ON THE SIMULATOR POWER PLATE

**V.F. Pyatin, M.S. Sergeeva, E.S. Korovina,
V.V. Korolev, O.V. Lavrov**

Samara State Medical University of the Health Ministry

The purpose of the study – the study of the effects of intensive proprioceptive afferentation caused by the acceleration training on the simulator Power Plate, on the electrical activity of the human cerebral cortex. Growth of

proprioceptive afferentation in two modes of stimulation of skeletal muscle proprioceptors (Low – 30Hz, 18 m/s² and High – 30 Hz, 31 m/s²) on the simulator Power Plate increases the power of the delta-band EEG and the prevalence of synchronized neural networks of the cerebral cortex (Low- diversion of F3, Pz, T5, T6; High - diversion of F3, F4, CZ, T5, T6, O1, O2). In view of genesis and functional significance of the Delta band it can be stated that under conditions of intense activation of the ascending somatic afferent system, the latter controls the function of neural networks of the human brain that are responsible for cognitive activity (attention, memory), motivational behavior, as well as anabolic and antystressor software locomotor activity during the Power Plate acceleration training.

Keywords: *EEG delta rhythm, physical activity accelerated, intensive proprioceptive stimulation; Simulator Power Plate.*

Об авторах:

ПЯТИН Василий Федорович–доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой нормальной физиологии, ГБОУ ВПО «Самарский государственный медицинский университет Минздравсоцразвития», 443079, Самара, ул. Гагарина, д. 18 e-mail: pyatin_vf@list.ru

СЕРГЕЕВА Мария Станиславовна–кандидат биологических наук, доцент кафедры нормальной физиологии, ГБОУ ВПО «Самарский государственный медицинский университет Минздравсоцразвития», 443079, Самара, ул. Гагарина, д. 18 e-mail: marsergr@yandex.ru

КОРОЛЕВ Василий Викторович–ассистент кафедры нормальной физиологии, ГБОУ ВПО «Самарский государственный медицинский университет Минздравсоцразвития», 443079, Самара, ул. Гагарина, д. 18 e-mail: korolev163@mail.ru

КОРОВИНА Екатерина Сергеевна–студентка ГБОУ ВПО «Самарский государственный медицинский университет Минздравсоцразвития», 443079, Самара, ул. Гагарина, д. 18 e-mail: korovina_ekateri@mail.ru

ЛАВРОВ Олег Владимирович–кандидат медицинских наук, доцент, ГБОУ ВПО «Самарский государственный медицинский университет Минздравсоцразвития», 443079, Самара, ул. Гагарина, д. 18 e-mail: ovlavrov@mail.ru