

## ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММЫ У СПОРТСМЕНОВ С ВЫСОКОЙ УСТОЙЧИВОСТЬЮ ПОЗЫ В СТОЙКАХ СО ЗРИТЕЛЬНОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

А.А. Мельников<sup>1</sup>, М.В. Дроненко<sup>1</sup>, В.С. Березин<sup>1</sup>, В.Л. Бойков<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет спорта «ГЦОЛИФК», г. Москва, Россия

<sup>2</sup>Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославский государственный педагогический университет им. К.Д. Ушинского», г. Ярославль, Россия

**Аннотация.** Цель работы – выявить особенности электроэнцефалограммы у спортсменов (n=88) с высокой устойчивостью позы в тестах со зрительной обратной связью. Электроэнцефалограмму регистрировали в положении сидя с закрытыми глазами. Постуральную устойчивость определяли в обычной стойке с открытыми и закрытыми глазами, в стойках со зрительной обратной связью с масштабом увеличения видимых колебаний в 1, 2, 4, 8 и 16 раз. Спортсмены с высокой устойчивостью в тестах со зрительной обратной связью проявляли сниженную мощность дельта- и тета-ритмов, но повышенную мощность бета- и гамма-ритмов в височных областях коры мозга. Связь постуральной устойчивости с бета-активностью может быть обусловлена большей эффективностью тормозной активности в сенсомоторных процессах регуляции позы.

**Ключевые слова:** постуральный контроль, зрительная обратная связь, электроэнцефалограмма, бета-ритм, спортсмены.

## ELECTROENCEPHALOGRAPHIC FEATURES IN ATHLETES WITH HIGH POSTURAL STABILITY IN VISUAL FEEDBACK TESTS

A.A. Mel'nikov<sup>1</sup>, M.V. Dronenko<sup>1</sup>, V.S. Berezin<sup>1</sup>, V.L. Bojkov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Russian University of Sports "GTSOLIFK", Moscow, Russia

<sup>2</sup>Yaroslavl State Pedagogical University named after K.D. Ushinsky, Yaroslavl, Russia

**Abstract.** The aim of the work was to identify the electroencephalogram features in athletes (n=88) with high postural stability in visual feedback tests. The electroencephalogram was recorded in a sitting position with closed eyes. Postural stability was assessed in a standard stance with eyes open and closed, in stands with visual feedback with a scale of visible oscillation magnification of 1, 2, 4, 8 and 16 times. Athletes with high postural stability in the visual feedback tests demonstrated reduced relative power of delta and theta rhythms, but increased power of beta and gamma rhythms in the temporal cortex. The relationship between postural stability and beta activity may be due to the greater effectiveness of inhibitory activity in the sensorimotor processes of posture regulation.

**Keywords:** postural control, visual feedback, electroencephalogram, beta rhythm, athletes.

**Введение.** Совершенная способность к постуральному равновесию способствует повышению спортивной результативности в некоторых видах спорта [1]. Высокая способность к стабилизации позы позволяет не только решать проблему сохранения равновесия, но и одновременно освобождать ресурсы коры головного мозга на решение других когнитивных и двигательных задач с большей скоростью и эффективностью [2]. Поскольку постуральное равновесие совершенствуется тренировками, в мозге происходят адаптационно-пластические изменения, которые могут отражаться в

активности различных ритмов электроэнцефалограммы.

Ведущую роль в регуляции вертикальной позы играют корковые и подкорковые механизмы обработки информации. Анализ сенсорной информации, ее интеграция с целью генерации адекватных сенсорных коррекций и запуск двигательных программ поддержания равновесия – все эти процессы происходят в различных отделах головного мозга. Определенное значение в понимании эффективной постуральной регуляции, наблюдаемой у спортсменов, могут иметь показатели биоэлектрической активности

мозга, записанные в состоянии покоя и во время движения. Действительно, в состоянии покоя с закрытыми глазами у элитных каратистов наблюдалась более высокая амплитуда теменного и затылочного альфа-1-ритма по сравнению с новичками [3]. У квалифицированных стрелков мощность в альфа- и бета-диапазоне была выше во время прицеливания, чем при обычном стоянии без прицеливания [4]. Кроме того, выявлена связь высокого статического равновесия с пониженной мощностью низкочастотного тета-ритма [5]. Особый интерес может представлять электрическая активность в бета-ритме электроэнцефалограммы (ЭЭГ). Действительно, бета-ритмическая активность отражает активность тормозных нейронных сетей коры мозга [6], которые могут определять эффективность постуральных регуляций посредством уравнивания избыточной активности мышц при стоянии.

Таким образом, исследования, которые бы анализировали корреляции между постуральной стабильностью при усложнении задач с использованием зрительной обратной связи с показателями ЭЭГ-ритмов мозга в состоянии покоя у спортсменов, немногочисленны. Поэтому целью данной работы было выявить особенности электроэнцефалограммы у спортсменов с высокой устойчивостью позы в тестах со зрительной обратной связью.

#### Методы и организация исследования.

**Обследуемые спортсмены.** В обследовании приняли добровольное участие 88 здоровых спортсменов (19 девушек) в возрасте от 18 до 36 лет, различных специализаций, с текущей недельной тренировочной нагрузкой более 6 часов в неделю, не имеющих острых травм на момент обследования.

**Определение постуральной устойчивости.** Показатель площади колебаний общего центра давления (ОЦД) ( $So_{цд}$ , мм\*мм) определяли на стабильнографическом АПК «Стабилан-01» в обычной биопорной стойке с параллельным расположением стоп на уровне клинической базы и в программном тесте «Мишень» с ЗОС о движении собственного центра давления на экране монитора. Испытуемому давалась инструкция сохранять маркер-ОЦД в центре мишени.

Обследование включало серию последовательных тестов продолжительностью 40 секунд с интервалом отдыха 30 секунд. Последовательность тестов была следующей:

- 1) стойка с открытыми глазами (ОГ);
- 2) стойка с закрытыми глазами (ЗГ);
- 3) стойка с масштабом перемещения маркера ОЦД равного 1/1 (ЗОС1/1);
- 4) стойка с увеличенным масштабом в 2 раза (ЗОС1/2);
- 5) стойка с увеличенным масштабом в 4 раза (ЗОС1/4);
- 6) стойка с увеличенным масштабом в 8 раз (ЗОС1/8);
- 7) стойка с увеличенным масштабом в 16 раз (ЗОС1/16), то есть смещение ОЦД на стабильноплатформе на 1 мм отражалось как смещение маркера ОЦД на экране равное 16 мм).

Предварительно проводился инструктаж.

Выделение групп с высокой (High Stability), средней (Mean Stability) и низкой (Low Stability) постуральной устойчивостью проводилось на основе значения  $So_{цд}$  в тесте ЗОС1/16. Все спортсмены со значениями  $So_{цд}$  в тесте ЗОС1/16 меньше нижнего квартиля составили группу «High Stability» ( $So_{цд} \leq 29,6$  мм\*мм,  $n=22$ ), со значениями  $So_{цд}$  между нижним и верхним квартилями вошли в группу «Middle Stability» ( $ЗОС\ 1/16=29,6-61,4$  мм\*мм,  $n=44$ ) и со значениями выше верхнего квартиля составили группу «Low Stability» ( $So_{цд} \geq 61,4$ ,  $n=22$ ). Группы с разной постуральной устойчивостью не различались по длине тела ( $175 \pm 6$  см,  $180 \pm 8$  см и  $180 \pm 4$  см), массе тела ( $70 \pm 10$  кг,  $76 \pm 12$  кг и  $77 \pm 9$  кг) и длине стоп ( $28 \pm 2,7$  см,  $28 \pm 2,5$  см,  $29,4 \pm 3,4$  см), недельной нагрузке ( $12 \pm 6,3$  часов,  $11 \pm 6,8$  часов,  $10 \pm 5,7$  часов).

**Электроэнцефалографическое тестирование.** Сигнал ЭЭГ регистрировали у испытуемых в положении сидя с закрытыми глазами (30 с) перед проведением постуральных тестов с помощью беспроводной растяжимой ленты-гарнитуры «NeuroPlay-6C» со встроенными сухими электродами (Нейроассистивные технологии) в 6 отведениях: О1, О2, Т3, Т4, Fp1, Fp2. Частота регистрации сигнала составляла 125 Гц, полоса пропускания: 0-40 Гц. Схема

отведения – монополярная, в соответствии с системой «10-20%», референтный электрод располагался на левом ухе. Для коррекции артефактов и расчета абсолютной (мкВ2/Гц) и относительной мощностей (PW, %) в дельта- (PW-дельта, 0,5-4 Гц), тета- (PW-тета, 4-8 Гц), альфа- (PW-альфа, 8-14 Гц), бета1- (PW-бета1, 14-20 Гц), бета2- (PW-бета2, 20-30 Гц) и гамма-ритмов (PW-гамма, 30-45 Гц) использовали программный комплекс ЭЭГ-анализа «Brainsys».

**Статистика.** Результаты на рисунках представлены как средняя арифметическая ( $M \pm 95\%$  доверительный интервал (95% Дов. Инт)), в таблицах – среднее арифметическое ( $M \pm$  среднее квадратическое отклонение ( $\sigma$ )). Различия между тремя группами определяли с помощью однофакторного анализа (ANOVA), в случае выявления различий попарные сравнения выполнялись с помощью апостериорного LSD критерия. Изменение Соцд в тестах с ЗОС разного масштаба относительно условий ОГ в отдельных группах оценивали с помощью апостериорного парного LSD-критерия в ANOVA для повторных измерений.

Корреляция Спирмена использована для определения корреляций между относительной мощностью ритмов ЭЭГ в различных отведениях с Соцд в постуральных тестах. Анализ выполнен в программе Statistica V12 (StatSoft).

**Результаты исследования и их обсуждение.** Динамика Соцд в постуральных тестах со ЗОС у спортсменов. Выделение 3 групп на основе Соцд в тесте с ЗОС1/16 выявило значительные различия в устойчивости позы практически во всех тестах, в том числе в стойках с ОГ и ЗГ. Анализ динамики Соцд в группах во всей серии тестов показал, что группа «High Stability» эффективно использовала ЗОС и уменьшала Соцд в тестах со ЗОС с масштабом от 1/1 до 1/16 (рис.). Кроме того, в стойке с ЗГ Соцд оставалось без изменений, указывая на отсутствие влияния зрительной информации на стабильность позы. Схожая картина в динамике Соцд отмечалась в группе «Middle Stability», только в тестах ЗОС 1/4-1/16 устойчивость позы была в этой группе ниже, чем в группе «High Stability».

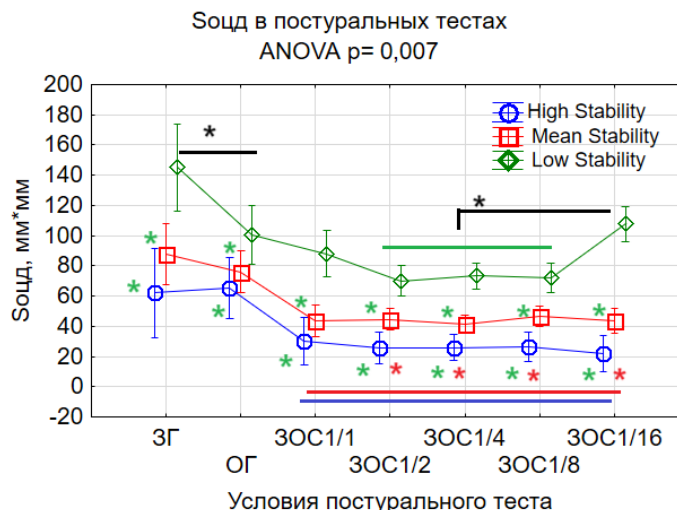


Рис. Динамика площади колебаний ОЦД (Соцд) в тестах со зрительной обратной связью возрастающего масштаба усиления в группах низкой (Low Stability), средней (Middle Stability) и высокой устойчивости позы (High Stability)

Примечание: \* –  $p < 0,01$  по сравнению с группой «Low Stability»; \* –  $p < 0,05$  по сравнению с группой «Middle Stability». — — — — —  $p < 0,05$  по сравнению с ОГ в группе «Low Stability»; — — — — —  $p < 0,05$  по сравнению с ОГ в группе «High Stability»; — — — — —  $p < 0,05$  по сравнению с ОГ в группе «Middle Stability». ОГ – стойка с открытыми глазами; ЗГ – стойка с закрытыми глазами; ЗОС1/1(1/2)(1/4)(1/8)(1/16) – стойка со зрительной обратной связью с масштабом увеличения амплитуды колебаний ОЦД в 1 (в 2) (в 4) (в 8) (в 16) раз. ANOVA – различия в динамике Соцд во всех тестах между тремя группами по данным однофакторного анализа для повторных измерений.

Таблица  
Особенности ЭЭГ в положении сидя у спортсменов с разной поструральной устойчивостью  
в тестах со ЗОС,  $M \pm \sigma$

Показатель	High Stability, N=22	Middle Stability, N=44	Low Stability, N=22	ANOVA, p
Pw-дельта O1, %	20,9±12,1	20,4±11,1	22,2±12,1	0,840
Pw-дельта T3, %	23,8±11,6*	27,3±10,7	31,3±10,0	0,080
Pw-дельта Fp1, %	35,8±10,1	35,0±14,1	38,0±14,0	0,686
Pw-дельта Fp2, %	34,7±10,7	33,3±13,4	38,3±13,1	0,333
Pw-дельта T4, %	21,1±10,9	22,3±7,7	24,6±9,5	0,431
Pw-дельта O2, %	22,8±13,0	18,0±12,1	20,2±11,8	0,330
Pw-тета O1, %	13,2±5,2	13,2±4,6	12,7±4,5	0,903
Pw-тета T3, %	14,4±5,7*	16,8±5,4	17,8±3,9	0,097
Pw-тета Fp1, %	18,5±5,8	17,0±5,9	19,1±5,6	0,342
Pw-тета Fp2, %	19,4±5,3	18,2±6,4	18,9±5,2	0,706
Pw-тета T4, %	14,5±5,4	16,9±5,0	15,7±4,7	0,178
Pw-тета O2, %	12,0±4,8	12,4±5,2	12,4±4,5	0,945
Pw-альфа O1, %	30,5±13,0	38,7±14,5	36,5±15,2	0,085
Pw-альфа T3, %	19,9±7,8	17,3±5,8	20,0±9,6	0,242
Pw-альфа Fp1, %	19,5±7,9	22,0±9,4	20,1±9,3	0,507
Pw-альфа Fp2, %	20,4±7,8	23,7±9,0	20,7±8,4	0,229
Pw-альфа T4, %	23,4±8,9	24,8±7,8	23,6±9,4	0,780
Pw-альфа O2, %	36,6±17,9	45,5±16,8	45,1±15,3	0,115
Pw-бета1 O1, %	10,6±4,3*	9,2±3,1	8,2±2,5	0,062
Pw-бета1 T3, %	12,2±3,3*	11,4±3,0*	9,7±2,3	0,020
Pw-бета1 Fp1, %	8,1±3,0	8,0±3,0	7,1±2,9	0,471
Pw-бета1 Fp2, %	8,1±2,6	8,2±2,9	7,3±2,8	0,413
Pw-бета1 T4, %	12,8±2,9*	12,4±2,9*	11,3±3,2	0,196
Pw-бета1 O2, %	9,6±4,7	9,1±4,1	7,5±2,4	0,166
Pw-бета2 O1, %	11,6±4,8*#	8,6±3,7	8,7±3,4	0,012
Pw-бета2 T3, %	13,8±5,7*	12,1±4,4*	10,0±3,5	0,026
Pw-бета2 Fp1, %	8,4±4,0	8,2±3,9	7,2±3,0	0,491
Pw-бета2 Fp2, %	8,2±4,1	7,7±3,1	7,1±3,0	0,553
Pw-бета2 T4, %	13,7±7,4	11,3±3,6	11,2±3,8	0,144
Pw-бета2 O2, %	8,8±3,1*	7,4±3,7	6,8±2,9	0,161
Pw-гамма O1, %	15,3±8,3#	9,9±6,8	11,8±6,7	0,021
Pw-гамма T3, %	15,9±8,2*	15,1±7,0*	11,2±4,9	0,053
Pw-гамма Fp1, %	9,7±5,2	9,7±5,7	8,4±4,9	0,641
Pw-гамма Fp2, %	9,2±4,3	8,9±4,9	7,7±4,4	0,555
Pw-гамма T4, %	14,5±9,0	12,3±5,7	13,6±7,1	0,456
Pw-гамма O2, %	10,2±5,3	7,5±5,8	8,0±5,9	0,216

Примечание: \* –  $p < 0,05$  по сравнению с группой низкой устойчивости позы (Low Stability), # –  $p < 0,05$  по сравнению с группой средней устойчивости позы (Middle Stability). High Stability – группа с высокой устойчивостью позы. ANOVA, p – при сравнении средних в трех группах по данным однофакторного анализа. Pw – относительная спектральная мощность ЭЭГ-ритма (%), альфа – ЭЭГ-ритм в диапазоне частоты 8-14 Гц, бета1 – ЭЭГ-ритм в диапазоне частоты 14-20 Гц, бета2 – ЭЭГ-ритм в диапазоне частоты 20-30 Гц, гамма – ЭЭГ-ритм в диапазоне частоты 30-45 Гц, тета – ЭЭГ-ритм в диапазоне частоты 4-8 Гц, дельта – ЭЭГ-ритм в диапазоне частоты 0,5-4 Гц. O1/O2 – левое/правое затылочное отведение, T3/T4 – левое/правое височное отведение, Fp1/Fp2 – левое/правое лобное отведение.



*Особенности электроэнцефалограммы в состоянии покоя у спортсменов с разной поструральной устойчивостью в тестах со зрительной обратной связью.* Сравнение PW ритмов в группах с разной устойчивостью позы показало (табл.), что группа «High Stability» отличалась сниженной мощностью дельта- ( $p < 0,05$ ) и тета-ритмов ( $p < 0,05$ ) в височном отведении Т3, а также повышенными величинами PW-бета1 в О1, Т3, Т4 (все  $p < 0,05$ ) и бета2 в О1 и Т3 ( $p < 0,05$ ) отведениях по сравнению с группой «Low Stability». Также в группе «High Stability» PW-бета2 в О1 ( $p < 0,05$ ), а также PW-гамма в височной зоне Т3 была выше ( $p < 0,05$ ) по сравнению с группой «Low Stability», а в затылочном отведении О1 выше ( $p < 0,05$ ), чем в группе «Middle Stability». У спортсменов группы «Middle Stability» также был выше уровень PW-бета1 и PW-бета2 в Т3 (оба  $p < 0,05$ ) по сравнению с группой «Low Stability». Таким образом, спортсмены с высокой стабильностью позы (группа «High Stability») в условиях ЗОС проявляли повышенную бета-активность в височных и затылочных зонах коры, но сниженную низкочастотную активность в дельта- и тета-диапазонах ритмов в височных зонах коры в состоянии покоя с ЗГ.

*Корреляция Соцд в поструральных тестах с относительной мощностью ЭЭГ-ритмов у спортсменов.* Корреляционный анализ выявил положительные корреляции PW-дельта ( $r = 0,22$ ;  $p < 0,05$ ) и PW-тета ( $r = 0,25$ ;  $p < 0,05$ ) в левой височной области с Соцд в тесте с ЗОС1/16, что, предположительно, указывает на негативное влияние высокой низкочастотной активности нейронов височной области на поддержание равновесия в условиях неадекватной обратной зрительной информации о колебаниях собственного тела. Напротив, PW-бета1 в областях О1 ( $r = -0,24$ ;  $p < 0,05$ ), Т3 ( $r = -0,28$ ;  $p < 0,05$ ) и Т4 ( $r = -0,27$ ;  $p < 0,05$ ) с Соцд в тесте с ЗОС1/16 были отрицательные, что указывает на позитивное влияние высокочастотной активности в бета-диапазоне в височной и затылочной зонах на сохранение поструральной устойчивости в тесте с ЗОС 1/16. Схожие корреляции отмечались между PW-бета1 во всех областях коры головного мозга с Соцд в тесте с ЗОС1/8 ( $r = -(0,21-0,27)$ ;

$p < 0,05$ ). PW-бета2 в Fp1 ( $r = -0,21$ ;  $p < 0,05$ ) и в Т3 ( $r = -0,24$ ;  $p < 0,05$ ) также отрицательно коррелировали с Соцд в тесте с ЗОС1/16. PW-гамма в Т3 ( $r = -0,22$ ;  $p < 0,05$ ) коррелировала с Соцд в тесте с ЗОС1/16, а PW-гамма в Fp1 ( $r = -0,23$ ;  $p < 0,05$ ) и в Fp1 ( $r = -0,25$ ;  $p < 0,05$ ) коррелировали с Соцд в тесте с ЗОС1/8, что указывает на положительные эффекты высокочастотной гамма-активности в левой височной и лобной зонах коры головного мозга в регуляции вертикальной позы.

**Закключение.** В результате нашей работы мы определили, что спортсмены с высокой устойчивостью позы в условиях ЗОС увеличенного масштаба обладали сниженной абсолютной мощностью низкочастотных дельта- и тета-ритмов в височных областях; повышенной мощностью бета1- и бета2-ритмов в височных и затылочных областях, а также повышенной абсолютной мощностью высокочастотного гамма-ритма в затылочных и височных областях коры головного мозга, зарегистрированных в положении сидя. Эти ЭЭГ-особенности в общей группе спортсменов были связаны с меньшей площадью колебаний ОЦД в тестах со зрительной обратной связью.

Полученные данные об особенностях пострурального баланса согласуются с нашими, ранее опубликованными, данными о том, что не все спортсмены способны стабилизировать позу в условиях предоставления зрительной обратной связи о колебаниях собственного тела [7]. По-видимому, спортсмены с низкой устойчивостью в условиях ЗОС являются зрительно зависимыми, то есть система регуляции позы полагается, главным образом, на зрительную информацию. Как результат, в группе «Low Stability» снижалась устойчивость позы в стойке с закрытыми глазами, а в тесте ЗОС1/16 Соцд возвращалась к уровню, отмечаемому в стойке с ОГ и становилось больше, чем в тестах ЗОС1/1-ЗОС1/8 (рис.). Напротив, спортсмены из групп «High Stability» и, в меньшей мере, из группы «Middle Stability» сохраняли повышенную устойчивость позы во всех тестах ЗОС, а в стойке с ЗГ амплитуда колебаний у них оставалась без изменений.

Анализ нейрональной активности головного мозга по данным ЭЭГ позволил

выяснить, что высокая поструральная устойчивость в тестах со ЗОС была связана с низкой PW в дельта- и тета-ритмах и, напротив, повышенной PW в бета1-, бета2- и гамма-ритмах в височных областях головного мозга. Большое число корреляций поструральной устойчивости было выявлено с бета-ритмами. Механизм отрицательных связей бета-ритмов с устойчивостью позы в тестах со ЗОС не ясен. Однако считается, что повышенная мощность бета-ритма может отражать высокую активность тормозных нейронных сетей, что обеспечивает высокий уровень баланса активирующих и тормозных процессов при интеграции сенсомоторных процессов в системе регуляции позы. Как результат эффективного торможения, использование зрительной информации в условиях значительного ее искажения, то есть в тестах ЗОС с масштабом 1/16, позволяет системе регуляции позы игнорировать ее и отдавать предпочтение более правильным сенсорным сигналам,

например, проприоцептивным, вестибулярным и тактильным, и генерировать более эффективные команды поструральным мышцам. Косвенно на положительное значение повышенной бета-активности мозга на многие процессы, связанные с вниманием и обучением, указывают работы, в которых показана сниженная мощность бета-ритма у детей с синдромом дефицита внимания [8], у лиц, быстро принимающих необдуманные решения [9], а также у детей меньшего, то есть незрелого, возраста по сравнению с более старшими [10].

Таким образом, можно заключить, что спортсмены с высокой поструральной устойчивостью в условиях ЗОС большого масштаба отличаются повышенной мощностью бета-ритмов и сниженной мощностью дельта- и тета-ритмов ЭЭГ, регистрируемых в условиях покоя. Предположительно, механизм корреляций может быть обусловлен большей эффективностью тормозных процессов в системе регуляции позы.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. A systematic review of the relationship between physical activities in sports or daily life and postural sway in upright stance / H. Kiers, J. van Dieën, H. Dekkers [et al.] // *Sports Med.* – 2013. – Vol. 43. – № 11. – P. 1171–1189. DOI: 10.1007/s40279-013-0082-5
2. Age-related differences in attentional cost associated with postural dual tasks: increased recruitment of generic cognitive resources in older adults / M.P. Boisgontier, I.A. Beets, J. Duysens [et al.] // *Neurosci Biobehav Rev.* – 2013. – Vol. 37. – № 8. – P. 1824–1837. DOI: 10.1016/j.neubiorev.2013.07.014
3. Resting state cortical rhythms in athletes: a high-resolution EEG study / C. Babiloni, N. Marzano, M. Iacono [et al.] // *Brain Research Bulletin.* – 2010. – Vol. 81. – № 1. – P. 149–156. DOI: 10.1016/j.braresbull.2009.10.014.
4. Brain dynamics during the shooting preparatory period: a comparison of shooting and motor demands / L.Q. Hung, I.F. Chen, C.J. Huang [et al.] // *Physical Education Journal.* — 2014. – Vol. 47. – № 2. – P. 195–204.
5. Hülsdünker, T. Higher Balance Task Demands are Associated with an Increase in Individual Alpha Peak Frequency / T. Hülsdünker, A. Mierau, H.K. Strüder // *Front. Hum. Neurosci.* – 2016. – Vol. 9. – P. 695. DOI: 10.3389/fnhum.2015.00695.
6. On the human sensorimotor-cortex beta rhythm: sources and modeling / O. Jensen, P. Goel, N. Kopell, [et al.] // *NeuroImage.* – 2005. – Vol. 26. – № 2. – P. 347–355. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2005.02.008.
7. Мельников, А.А. Влияние зрительной обратной связи на регуляцию вертикальной позы у спортсменов / А.А. Мельников, В.С. Березин, Л.И. Мельникова // *Физическое воспитание и спортивная тренировка.* – 2023. – Т. 44. – № 2. – С. 93–98. [In English] Melnikov A.A., Berezin V.S., Melnikova L.I. The effect of visual feedback on the regulation of vertical posture in athletes. *Fizicheskoe vospitanie i sportivnaya trenirovka*, 2023, vol. 44, no. 2, pp. 93–98. (in Russ.)
8. Resting-state EEG gamma activity in children with attention-deficit/hyperactivity disorder / R.J. Barry, A.R. Clarke, M. Hajos [et al.] // *Clin Neurophysiol.* – 2010. – Vol. 121. – № 11. – P. 1871–1877. DOI: 10.1016/j.clinph.2010.04.022.
9. Dissociable functional activities of cortical theta and beta oscillations in the lateral prefrontal cortex during intertemporal choice / D.Y. Gui, T. Yu, Z. Hu [et al.] // *Sci Rep.* – 2018 – Vol. 8. – № 1. – P. 11233. DOI: 10.1038/s41598-018-21150-1.
10. Co-maturation of theta and low-beta rhythms during child development / E.I. Rodríguez-

Martínez, C.I. Barriga-Paulino, M.A. Rojas- Vol. 28. – № 2. – P. 250-260. DOI: 10.1007/s10548-  
Benjumea, C.M. Gómez // Brain Topogr. – 2015. – 014-0369-3.

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

**Андрей Александрович Мельников** – доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой физиологии, Российский университет спорта «ГЦОЛИФК», Москва, e-mail: meln1974@yandex.ru

**Мария Владимировна Дроненко** – магистрант 2 курса, Российский университет спорта «ГЦОЛИФК», Москва, e-mail: dronenkom@gmail.com

**Владислав Сергеевич Березин** – аспирант кафедры физиологии, Российский университет спорта «ГЦОЛИФК», Москва, e-mail: vlad129bs@gmail.com

**Василий Леонидович Бойков** – кандидат биологических наук, доцент кафедры физического воспитания, Ярославский государственный педагогический университет им. К.Д. Ушинского, Ярославль, e-mail: 2bl@mail.ru

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

**Andrej A. Mel'nikov** – Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Department of Physiology, Russian University of Sports "GTSOLIFK", Moscow, e-mail: meln1974@yandex.ru

**Maria V. Dronenko** – Master's student, Russian University of Sports "GTSOLIFK", Moscow, e-mail: dronenkom@gmail.com.

**Vladislav S. Berezin** – Post-Graduate Student of the Department of Physiology, Russian University of Sports "GTSOLIFK", Moscow, e-mail: vlad129bs@gmail.com

**Vasilij L. Bojkov** – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Physical Education, Yaroslavl State Pedagogical University named after K.D. Ushinsky, Yaroslavl, e-mail: 2bl@mail.ru

**Для цитирования:** Особенности электроэнцефалограммы у спортсменов с высокой устойчивостью позы в стойках со зрительной обратной связью / А.А. Мельников, М.В. Дроненко, В.С. Березин, В.Л. Бойков // Современные вопросы биомедицины. – 2025. – Т. 9. – № 2(32). DOI: 10.24412/2588-0500-2025\_09\_02\_16

**For citation:** Mel'nikov A.A., Dronenko M.V., Berezin V.S., Bojkov V.L. Electroencephalographic features in athletes with high postural stability in visual feedback tests. *Modern Issues of Biomedicine*, 2025, vol. 9, no. 2(32). DOI: 10.24412/2588-0500-2025\_09\_02\_16