

## НЕЙРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ТОЧНОСТЬ И УСТОЙЧИВОСТЬ ЦЕЛЕНАПРАВЛЕННЫХ ДВИЖЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ СТРЕЛЬБЫ ИЗ ЛУКА

А.Б. Трембач, доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры адаптивной физической культуры, руководитель научно-практического центра «Нейробиоуправления»,

О.И. Шестаков, аспирант, заслуженный мастер спорта,

Т.В. Пономарева, кандидат биологических наук, декан факультета адаптивной и оздоровительной физической культуры,

Е.Р. Миниханова, лаборант кафедры адаптивной физической культуры,

Кубанский государственный университет физической культуры, спорта и туризма, г. Краснодар.

Контактная информация для переписки: 350015, Россия, г. Краснодар, ул. Буденного, 161,

e-mail: alex\_trem@mail.ru.

Достижение максимального результата при стрельбе из лука определяется не только высокой точностью, но и ее стабильностью. В отдельных работах исследованы центральные механизмы организации целенаправленных движений высокой точности по показателям электроэнцефалограммы. Однако устойчивость высокоточных выстрелов до настоящего времени не выяснена.

Целью настоящего исследования явилось определение структурно-функциональной организации при стрельбе из лука в зависимости от точности и устойчивости его реализации. В исследовании приняло участие четыре спортсмена по стрельбе из лука в возрасте 16-19 лет, квалификации мастера спорта. Посредством электроэнцефалографа регистрировалась электроэнцефалограмма (ЭЭГ) в состоянии покоя, при подготовке к выстрелу и его реализации. Рассчитывались индивидуальные усредненные топографические карты мощности спектра ЭЭГ в состоянии стоя с открытыми глазами и в фазе прицеливания перед высокоточным выстрелом. Достоверность различий определялась посредством однофакторного дисперсионного анализа. Исследуемые были разделены по рейтингу в зависимости от количества высокоточных выстрелов. У спортсменов пространственное распределение значимых изменений мощности спектра ЭЭГ в низкочастотных



диапазонах существенно отличалось, а в высокочастотных диапазонах они были однородными. Для построения усредненных групповых карт мощности спектра ЭЭГ интегрировались достоверные значения исследуемых показателей всех спортсменов по отведениям и диапазонам.

Сравнительный анализ динамики мощности спектра ЭЭГ показал, что в низкочастотных диапазонах при высокоточных выстрелах наблюдалось повышение мощности спектра ЭЭГ у всех спортсменов в ограниченном количестве отведений. В высокочастотных диапазонах количество отведений резко возрастало в левом полушарии. Индивидуальное проявление в низкочастотных диапазонах пространственного распределения повышенной мощности спектра ЭЭГ у каждого спортсмена характеризовала устойчивость высокоточных выстрелов. В высокочастотных диапазонах таких индивидуальных различий не было. Выявленные закономерности формирования высокоточных целенаправленных движений и их устойчивости позволяют заключить, что нейрофизиологические механизмы этих двух феноменов различны.

**Ключевые слова:** целенаправленные движения, стрельба из лука, электроэнцефалограмма, спортивный результат, точность и устойчивость выстрелов, нейрофизиологические механизмы.

**Для цитирования:** Трембач А.Б., Шестаков О.И., Пonomарева Т.В., Миниханова Е.Р. Нейрофизиологические механизмы, определяющие точность и устойчивость целенаправленных движений на примере стрельбы из лука // Физическая культура, спорт – наука и практика. – 2018. – № 4. – С. 82-87.

**For citation:** Trembach A., Shestakov O., Ponomareva T., Minikhanova E. Neurophysiological mechanisms determining accuracy and stability of purposeful movements in archery. *Fizicheskaja kul'tura, sport – nauka i praktika [Physical Education, Sport – Science and Practice.]*, 2018, no 4, pp. 82-87 (in Russian).

**Введение.** Целенаправленные движения человека обеспечивают адекватное воздействие на внешнюю среду. Примером их проявления служат такие виды спорта, как стрельба из пистолета, винтовки, лука. В настоящее время к раскрытию механизмов результативности существенно повысился интерес исследователей [2, 3, 6]. Высокая точность попадания в цель, в частности, характерна для стрельбы из лука [1]. Однако достижение максимального результата определяется не только высокой точностью, но и ее стабильностью, как на тренировке, так и в соревновательной деятельности. На тренировке спортсмен производит в среднем 300 выстрелов, которые разделены на отдельные серии по 30 выстрелов с интервалом отдыха в 10-15 минут. При таком подходе имеет существенное значение выносливость спортсмена, которая определяет устойчивость высокоточного выстрела в течение тренировки. При соревновательной деятельности максимальный спортивный результат также обусловлен наибольшим количеством выстрелов высокой точности в день пристрелки, в квалификационный раунд и финал [7]. В отдельных работах исследованы центральные механизмы организации целенаправленных движений высокой точности по показателям электроэнцефалограммы на примере стрельбы из лука [3, 4, 10]. Однако механизмы устойчивости высокоточного выстрела на тренировочных занятиях практически не исследованы [5]. В связи с вышеизложенным, целью настоящего исследования явилось определение структурно-функциональной организации при стрельбе из лука в зависимости от точности и устойчивости его реализации.

**Методика исследования.** В исследовании приняла участие четыре спортсмена молодежной сборной команды России по стрельбе из лука в возрасте 16-19 лет, квалификации мастера спорта. Согласно Хельсинской декларации испытуемые были проинформированы о целях и задачах исследования и дали письменное согласие на участие в нем. Моторная задача заключалась в максимальной точности попадания стрелы в мишень с расстояния 18 метров. Каждый испытуемый выполнял 2 серии по 30 выстрелов с интервалом между ними 15 минут. Посредством электроэнцефалографа «Энцефалан-ЭЭГР-19/26» фирмы «Медиком МТД» г. Таганрог телеметрически регистрировалась электроэнцефалограмма (ЭЭГ) в состоянии покоя, при подготовке к вы-

стрелу и его реализации. Электрическая активность головного мозга определялась в 19 отведениях по системе 10-20 (Fp1; Fpz; Fp2; F3; Fz; F4; FC3; FCz; T3; C3; Cz; C4; T4; T5; P3; Pz; P4; T6; O1; Oz; O2). Полученные результаты ЭЭГ анализировались посредством программы WinEEG фирмы «Мицар» г. Санкт-Петербург, и рассчитывались усредненные топографические карты мощности спектра ЭЭГ в частотных диапазонах 4-8; 8-10; 10-12; 12-24; 24-35 Гц. Усредненные топографические карты мощности спектра ЭЭГ анализировались в состоянии стоя с открытыми глазами и в фазу прицеливания перед высокоточным выстрелом. В первой экспериментальной ситуации продолжительность анализа ЭЭГ составляла 30 секунд, а при прицеливании 3 секунды, эпоха анализа при расчете усредненных топографических карт ЭЭГ – 1 секунду, количество усреднений – 80. Достоверность различий исследуемых показателей определялась посредством однофакторного дисперсионного анализа (Statistika 10).

**Результаты исследования.** Исследуемые были разделены по рейтингу в зависимости от количества высокоточных выстрелов (таблица 1). Такой методический подход позволил выявлять высокоточные выстрелы, которые многократно повторялись в течение двух серий.

Таблица 1  
**Рейтинг спортсменов-лучников по количеству высокоточных выстрелов**

Спортсмены	10 очков	8, 7 очков
1. Д-в	31	4
2. Д-в	28	11
3. Л-в	27	15
4. М-в	17	15

У четырех лучников при прицеливании достоверное повышение мощности спектра ЭЭГ в исследуемых областях коры больших полушарий в различных частотных диапазонах представлено на рисунке 1.

У первого спортсмена достоверное повышение мощности спектра ЭЭГ определялось в диапазоне 4-8 Гц преимущественно в левом полушарии, в диапазонах 8-10 и 10-12 Гц мощность спектра также сохранялась в левом полушарии, включая нижнетеменные и затылочные области. У второго спортсмена существенное повышение мощности спектра ЭЭГ проявлялось в центральной лобной и левой затылочной областях в диапазоне 4-8 Гц, а в 8-10 и 10-12 Гц только в левой затылочной области. У третьего спортсмена в диапазонах 4-8, 8-10 и 10-12 Гц выявлялись достоверные максимальные значения мощности спектра ЭЭГ в левом полушарии. В правом полушарии мощность спектра была существенно ниже. У четвертого спортсмена мощность спектра ЭЭГ в диапазоне 4-8 Гц существенно увеличи-

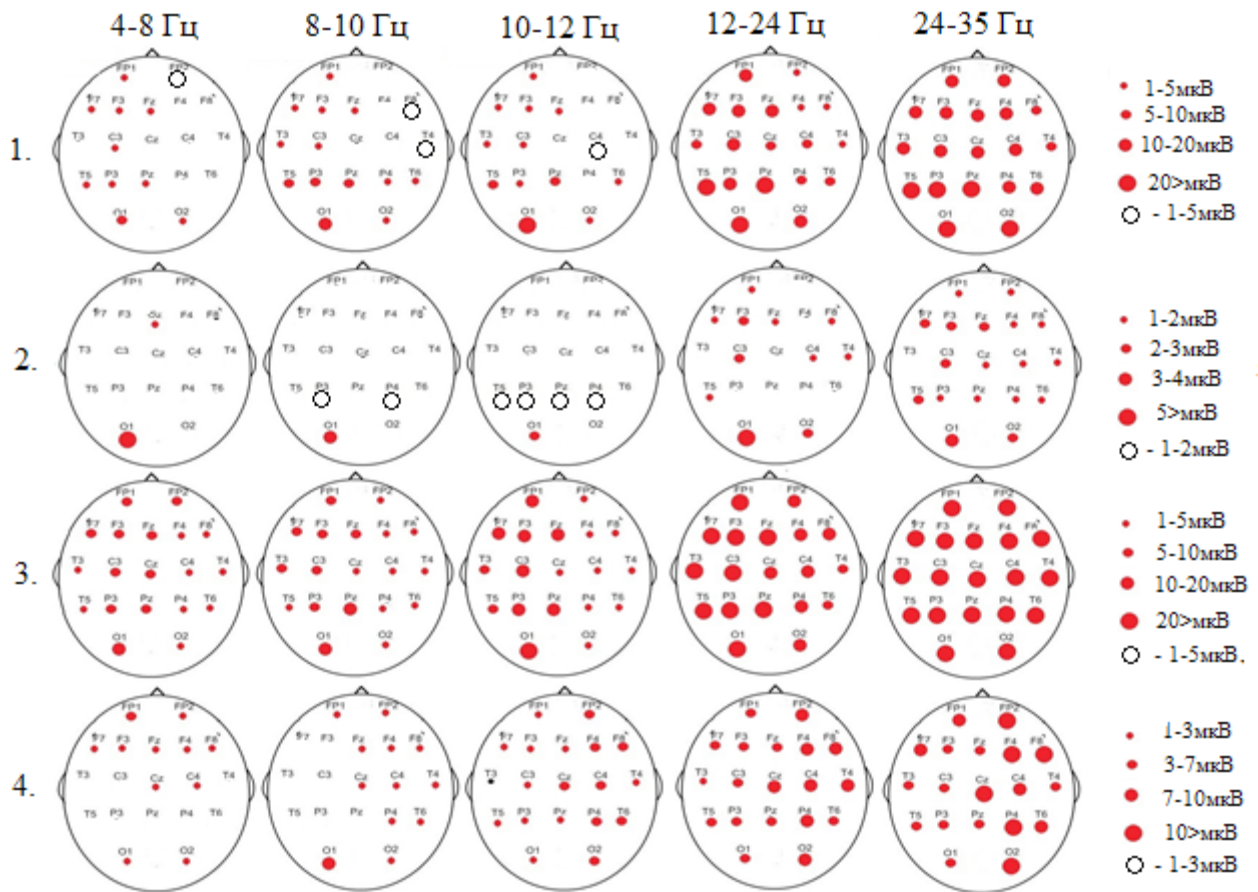


Рисунок 1. Усредненные индивидуальные топографические карты мощности спектра ЭЭГ при прицеливании по сравнению с состоянием покоя

валась в правом и левом полушариях, в диапазоне 8-10 Гц – возрастала в правом полушарии и в левых лобной и затылочной областях. Величина мощности спектра ЭЭГ в этих частотных диапазонах была одинаковой в обоих полушариях. В диапазоне 10-12 Гц достоверные изменения мощности спектра ЭЭГ преимущественно в правом полушарии, по сравнению с левым. В высокочастотных диапазонах у всех спортсменов наблюдалось максимальное повышение мощности спектра ЭЭГ в лобных, моторных, соматосенсорных, зрительной областях преимущественно левого и незначительно правого полушарий.

В большинстве современных работ, в которых определяются существенные различия электрофизиологических коррелятов в различных экспериментальных условиях, осуществляется посредством сравнения усредненных групповых топографических карт ЭЭГ при значительном количестве испытуемых, выполняющих однократные произвольные движения [3]. Однако электрофизиологическая характеристика ЭЭГ у различных испытуемых может существенно отличаться [8, 9]. Такая вариативность может снижать выявление достоверных параметров мощности спектра ЭЭГ. В связи с тем, что в наших экспериментальных условиях испы-

туемые выполняют многократные однотипные движения (60 выстрелов за 2 серии), усреднение топографических карт мощности спектра ЭЭГ осуществлялось у каждого из них. Снижение вариативности ЭЭГ позволило существенно повысить достоверные различия при статистическом анализе двух экспериментальных ситуаций. Для построения усредненных групповых карт мощности спектра ЭЭГ интегрировались достоверные значения исследуемых показателей всех спортсменов по отведениям и диапазонам. По нашему мнению, такой методический подход позволяет повысить существенные различия мощности спектра ЭЭГ между анализируемыми экспериментальными условиями. На рисунке 2 представлены групповые топографические карты общих достоверных изменений мощности спектра ЭЭГ при прицеливании по сравнению с исходным уровнем.

Сравнительный анализ динамики мощности спектра ЭЭГ показал, что в низкочастотных диапазонах при высокоточных выстрелах наблюдалось повышение мощности спектра ЭЭГ у всех спортсменов в ограниченном количестве отведений. В диапазоне 4-8 Гц мощность спектра ЭЭГ увеличивалась в центральной лобной и левой затылочной областях, в диапазоне 10-12 Гц

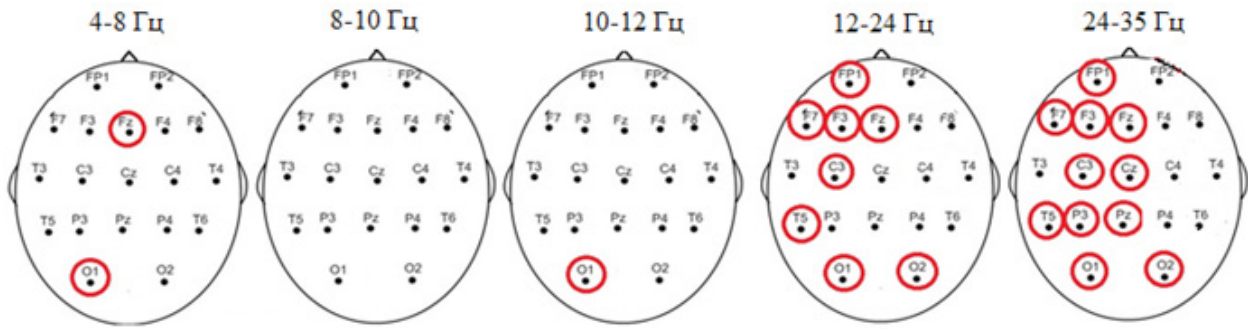


Рисунок 2. Усредненные групповые топографические карты мощности спектра ЭЭГ при прицеливании по сравнению с состоянием покоя

Таблица 2

**Индивидуальная локализация мощности спектра ЭЭГ в низкочастотных диапазонах в зависимости от устойчивости высокоточного выстрела**

Спортсмены	4-8 Гц	8-10 Гц	Гц
1. Д-в	8 (Fp1; F7; F3; C3; T5; P3; Pz; O2)	13 (Fp1; F7; F3; Fz; T3; C3; T5; P3; Pz; P4; T6; O1; O2)	11 (Fp1; F7; F3; Fz; T3; C3; T5; P3; Pz; T6; O2)
2. Д-в	-	1 (O1)	-
3. Л-в	17 (Fp1; Fp2; F7; F3; F4; F8; T3; C3; Cz; C4; T4; T5; P3; Pz; P4; T6; O2)	19 (Fp1; Fp2; F7; F3; Fz; F4; F8; T3; C3; Cz; C4; T4; T5; P3; Pz; P4; T6; O1; O2)	18 (Fp1; Fp2; F7; F3; Fz; F4; F8; T3; C3; Cz; C4; T4; T5; P3; Pz; P4; T6; O2)
4. М-в	9 (Fp1; Fp2; F7; F3; F4; F8; Cz; C4; O2)	11 (Fp1; Fp2; Fz; F4; F8; Cz; C4; T4; P4; T6; O2)	18 (Fp1; Fp2; F7; F3; Fz; F4; F8; T3; C3; Cz; C4; T4; T5; P3; Pz; P4; T6; O2)

– в левой затылочной области. В высокочастотных диапазонах количество отведений, имеющих достоверные значения, у всех испытуемых резко возросло в левом полушарии: лобные, моторные сенсомоторные, теменные и затылочные области.

Полученные данные свидетельствуют о том, что электрическая активность в низкочастотных диапазонах при высокоточном выстреле характеризуется всего лишь двумя областями коры больших полушарий. В диапазоне 4-8 Гц максимальная точность выстрела определялась активностью центральной лобной и зрительной областями, в диапазоне 10-12 Гц – зрительной левой областью. В высокочастотных диапазонах при высокоточном выстреле проявлялась активность всего левого полушария. Эти биологические маркеры определяют точность выстрела, но не его устойчивость при многократном повторении спортивного упражнения. Необходимо отметить, что в низкочастотных диапазонах пространственное распределение повышенной мощности спектра ЭЭГ проявлялось индивидуально у каждого спортсмена. В высокочастотных диапазонах таких индивидуальных различий не было. Таким образом, по организации электрической активности низкочастотных диапазонов можно судить о выносливости

спортсмена, которая характеризуется стабильностью повторения высокоточных выстрелов. Анализ этих данных представлен в таблице 2.

У первого по рейтингу спортсмена устойчивость высокоточных выстрелов определялась активностью премоторных, моторных и нижнетеменных областей левого полушария. У второго спортсмена повышенная мощность спектра ЭЭГ определялась лишь в левой зрительной области. У третьего спортсмена увеличение мощности спектра ЭЭГ выявлялось в левом и правом полушарии. У четвертого спортсмена проявлялось повышение мощности спектра в диапазонах 4-8 и 8-10 Гц в правом полушарии, а в диапазоне 10-12 Гц в обоих полушариях.

Высокая устойчивость выстрела (первый спортсмен по рейтингу), по-видимому, связана с тем, что для достижения максимальной точности требуется синхронная деятельность основных центров не только планирования (Fz) и зрительного представления о трехмерной организации внешнего мира (O1), определяющихся по низкочастотной электрической активности, но и формирования и реализации программы целенаправленного произвольного движения в ее высокочастотной составляющей. Снижение и повышение

площади распределения электрической активности (второй и третий спортсмен по рейтингу) в низкочастотных диапазонах левого и правого полушария приводило к уменьшению точности выстрела. Увеличение мощности спектра ЭЭГ (четвертый спортсмен по рейтингу) в правом полушарии сопровождалось самым низким уровнем устойчивости высокоточных выстрелов. По-видимому, такая низкая устойчивость высокоточных выстрелов связана с включением в регуляцию прицельных движений центров правого полушария.

**Заключение.** Выявленные закономерности формирования высокоточных целенаправленных движений и их устойчивости при стрельбе из лука позволяют заключить, что нейрофизиологические механизмы этих двух феноменов различны. Дальнейшие исследования в этом направлении позволят разработать программы на основе биологической обратной связи по ЭЭГ для совершенствования тренировочных занятий и повышения спортивного результата.

**ЛИТЕРАТУРА:**

1. Байдыченко, Т.В. Методика педагогической оценки эффективности спортивной подготовки стрелков из лука высокой квалификации / Т.В. Байдыченко, В.А. Драугелите, И.И. Сысоев // Экстремальная деятельность человека. – 2017. – № 3(44). – С. 64-69.
2. Городничев Р.М. О проблемах регуляции движений при стрельбе из лука // Современные подходы к совершенствованию технической подготовленности в стрелковых видах спорта: Материалы всероссийской научно-практической конференции (7-10 апреля 2015 г.). – Великие Луки, 2015. – С. 20-23.
3. Напалков Д.А. Аппаратные методы диагностики и коррекции функционального состояния стрелка: Методические рекомендации / Д.А. Напалков, П.О. Ратманова, М.Б. Коликов. – М.: МАКС Пресс, 2009. – 212 с.

4. Напалков Д.А. Электроэнцефалографические корреляты оптимального функционального состояния головного мозга спортсмена в стрелковом спорте / Д.А. Напалков, П.О. Ратманова, Р.Н. Салихова, М.Б. Коликов // Бюллетень сибирской медицины. – 2013. Т. 12. – № 2. – С. 219-226.
5. Трембач А.Б. Электрофизиологическая характеристика целенаправленных движений человека в зависимости от их точности и стабильности результата / А.Б. Трембач, О.И. Шестаков, С.П. Лавриченко, Е.Р. Миниханова, А.А. Олефиренко // Материалы научной и научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава КГУФКСТ (23-30 мая 2017 года, г. Краснодар). – Краснодар: КГУФКСТ, 2017 – С. 196-198.
6. Шестаков О.И. Фазовый анализ целенаправленных движений по биомеханическим и электрофизиологическим маркерам при стрельбе из лука / О.И. Шестаков, Т.В. Пономарева, С.В. Фомиченко, А.Б. Трембач, Е.Р. Миниханова // Физическая культура, спорт – наука и практика. – 2017. – № 4. – С. 70-74
7. Kim W, Chahg Y, Kim J, Seo J, Ryu K, Lee E, Woo M, Janelle CM. An fMRI study of differences in brain activity among elite, expert, and novice archers at the moment of optimal aiming // Cogn Behav Neurol. 2014 Dec; 27(4):173-82.
8. Loze G.M., Collins D., Holmes P.S. Pre-shot EEG alpha-power reactivity during expert air-pistol shooting: a comparison of best and worst shots // J. Sports Sci. 2001. № 19. P. 727-733.
9. Napalkov D.A., Kolikoff M., Ratmanova P., Shulgovsky V.V. Aiming in sport shooting: An interaction between visual and somatosensory systems // Perception. 2006. V. 35. P. 189.
10. Tamura Y, Hoshiyama M, Nakata H, Hiroe N, Inui K, Kaneoke Y, Inoue K, Kakigi R. Functional relationship between human rolandic oscillations and motor cortical excitability: an MEG study // Eur J Neurosci. 2005 May, 21(9):2555-62.

**NEUROPHYSIOLOGICAL MECHANISMS DETERMINING ACCURACY AND STABILITY OF PURPOSEFUL MOVEMENTS IN ARCHERY**

A. Trembach, Doctor of Biological Sciences, Professor, Professor of the Adaptive Physical Education Department, Head of the Scientific and Practical Center of «Neurobioupravlenie»,  
 O. Shestakov, Postgraduate student, Honored Master of Sports,  
 T. Ponomareva, Candidate of Biological Sciences, Dean of the Adaptive and Health Physical Education Faculty,  
 E. Minikhanova, Laboratory Assistant of the Adaptive Physical Education Department, Kuban State University of Physical Education, Sports and Tourism, Krasnodar.  
 Contact information for correspondence: 350015, Russia, Krasnodar, Budennogo str., 161,  
 e-mail: alex\_trem@mail.ru.

The achievement of the maximum result in archery is determined not only by a high accuracy, but also by its stability. The central organization mechanisms of purposeful movements of a high accuracy by electroencephalogram

indicators have been studied in particular works. However, the stability of highly-accurate shots is not clarified until now.

The purpose of this study was the determination of

a structural and functional organization in archery depending on the accuracy and stability of its implementation. Four archery athletes at the age of 16-19 of Master of Sports qualification took part in the study. Electroencephalogram (EEG) at rest, in preparation for the shot and its execution has been recorded by the electroencephalograph. The individual averaged topographic maps of power of EEG spectrum in the standing state with open eyes and in the aiming phase before the highly-accurate shot have been calculated. The significance of differences has been determined by the single-factor analysis of the variance. The testees have been divided by rating depending on the number of highly-accurate shots. The spatial distribution of the significant power changes of EEG spectrum in the low-frequency ranges was fundamentally different among the athletes, and in the high-frequency ranges they were homogeneous. For the development of the average group power maps of EEG spectrum, the reliable values of the studied indicators of all the athletes have been integrated by lead and range.

The comparative analysis of power dynamics of EEG spectrum showed that the increase of the power of the EEG spectrum of all the athletes in the limited number of leads had been observed in the low-frequency ranges during high-accurate shots. The number of leads dramatically increased in the left hemisphere in the high-frequency ranges. The individual manifestation of the spatial distribution of the increased power of the EEG spectrum of each athlete in the low-frequency ranges characterized the stability of high-accurate shots. There were no such individual differences in the high-frequency ranges. The revealed patterns of formation of high-accurate purposeful movements and their stability allow to conclude that the neurophysiologic mechanisms of these two phenomena are different.

**Keywords:** purposeful movements, archery, electroencephalography, accuracy and stability, neurophysiological mechanisms.

**References:**

1. Baydychenko T.V., Draugelite V.A., Sysoyev I.I. Methodology of educational evaluation of the effectiveness of sports training bowmen of high skill. *Ekstremal'naya deyatel'nost' cheloveka* [Extreme human activities], Moskva, 2017, no 3(44), pp. 64-69. (in Russian).
2. Gorodnichev R.M. On the problems of regulation of movements in archery // *Sovremennyye podkhody k sovershenstvovaniyu tekhnicheskoy podgotovlennosti v strelkovykh vidakh sporta. Materialy vsrossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (7-10 aprelya 2015 g.)* [Modern approaches to improving technical training in shooting sports: Materials of the all-Russian scientific-practical conference (7-10 April 2015)], Great Luke, 2015, pp. 20-23. (in Russian).

3. Napalkov D.A., Ratmanova P.O., Kolikov M.B. *Apparatsnyye metody diagnostiki i korrektsii funktsional'nogo sostoyaniya strelka: Metodicheskiye rekomendatsii* [Technical methods of diagnostics and correction of the functional state of the shooter: Methodical recommendations], Moscow: MAKS Press, 2009, 212 p. (in Russian).
4. Napalkov D.A., Ratmanova P.O., Salikhova R.N., Kolikov M.B. Electroencephalographic correlates of optimal functional state of the brain of the athlete in shooting sports. *Byulleten' sibirskoy meditsiny* [Bulletin of Siberian medicine], 2013, T. 12, no 2, pp. 219-226. (in Russian).
5. Trembach A.B., Shestakov O.I., Lavrichenko S.P., Minikhanova Ye.R., Olefirenko A.A. Electrophysiological characteristics of targeted human movements based on their accuracy and stability of result. *Materialy nauchnoy i nauchno-prakticheskoy konferentsii professorsko-prepodavatel'skogo sostava KGUFKST (23-30 maya 2017 goda, g. Krasnodar)* [Materials of scientific and scientific-practical conference of the faculty CHURCHST (23-30 may 2017, Krasnodar)]. – Krasnodar: KGUFKST, 2017 – С. 196-198. (in Russian).
6. Shestakov O.I., Ponomareva T.V., Fomichenko S.V., Trembach A.B., Minikhanova Ye.R. Phase analysis of targeted movements on the biomechanical and electrophysiological markers in archery. *Fizicheskaya kul'tura, sport – nauka i praktika* [Physical culture, sport – science and practice], Krasnodar: KGUFKST, 2017, no 4, pp. 70-74. (in Russian).
7. Kim W, Chahg Y, Kim J, Seo J, Ryu K, Lee E, Woo M, Janelle CM. An Fmri Study of Differences in Brain Activity Among Elite, Expert, and Novice Archers at the Moment of Optimal Aiming // *Cogn Behav Neurol*. 2014 Dec; 27(4):173-82.
8. Loze G.M., Collins D., Holmes P.S. Pre-Shot EEG Alpha-Power Reactivity During Expert Air-Pistol Shooting: a Comparison of Best and Worst Shots // *J. Sports Sci*. 2001, no 19, pp. 727-733.
9. Napalkov D.A., Kolikoff M., Ratmanova P., Shulgovsky V.V. Aiming in Sport Shooting: an Interaction Between Visual and Somatosensory Systems // *Perception*. 2006, v. 35, pp. 189.
10. Tamura Y, Hoshiyama M, Nakata H, Hiroe N, Inui K, Kaneoke Y, Inoue K, Kakigi R. Functional Relationship Between Human Rolandic Oscillations and Motor Cortical Excitability: an MEG Study // *Eur J Neurosci*. 2005 May, 21(9):2555-62.

**Поступила / Received 09.10.2018**

**Принята в печать / Accepted 07.12.2018**