

УДК 612.821.014.421.7:796.071:799.3

## ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАФИЧЕСКИЕ КОРРЕЛЯТЫ ОПТИМАЛЬНОГО ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ГОЛОВНОГО МОЗГА СПОРТСМЕНА В СТРЕЛКОВОМ СПОРТЕ

Напалков Д.А.<sup>1</sup>, Ратманова П.О.<sup>1</sup>, Салихова Р.Н.<sup>1</sup>, Коликов М.Б.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва*

<sup>2</sup> *Российский государственный университет физической культуры, спорта, молодежи и туризма, г. Москва*

### РЕЗЮМЕ

Цель работы – детальный анализ альфа-диапазона электроэнцефалограммы стрелков различного уровня. Показана зависимость выраженности альфа-диапазона электроэнцефалограммы перед выстрелом от уровня мастерства спортсмена. Рассматривается сдвиг доминирующей частоты альфа-диапазона в период, предшествующий выстрелу, в более высокочастотную область относительно фонового альфа-ритма. Обсуждаются физиологические механизмы выявленных отличий между стрелками и испытуемыми контрольной группы при помощи тренингов на основе биоуправления.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** электроэнцефалограмма, альфа-ритм, оптимальное функционирование, биологическая обратная связь, стрельба.

### Введение

В начале XXI в. тренинги с использованием биологической обратной связи (БОС) получили широкое распространение в различных видах спорта высших достижений. Для них используются программы, направленные на снятие соревновательного стресса и предстартового напряжения. Хорошо отработаны технологии, связанные с формированием у спортсмена оптимального уровня активации.

Яркий пример удачного применения биоуправления в стрелковом спорте – подготовка олимпийского чемпиона в стрельбе из пневматической винтовки А. Биндра к соревнованиям в Пекине [10]. Непосредственно перед Олимпиадой с ним было проведено 150 ч тренинга с использованием БОС на основе физиологических показателей: дыхания, температуры и сопротивления кожи, частоты сердечных сокращений, различных частотных диапазонов электроэнцефалограммы (ЭЭГ). Тренировки проходили как в компьютерном контуре, так и непосредственно на огневом рубеже.

Несмотря на то что использование БОС при подготовке спортсменов приносит свои плоды, многие

теоретические аспекты применения данного метода требуют дальнейшего изучения. При применении БОС на основе различных ритмов ЭЭГ человека далеко не всегда можно дать физиологически обоснованный ответ на вопрос, что именно мы тренируем, увеличивая или снижая выраженность того или иного ритма. В то же время тренинг, основанный на использовании ЭЭГ, имеет огромные перспективы. Достаточно упомянуть работы О.М. Базановой [1, 2], описывающие повышение исполнительского мастерства музыкантов с помощью метода биоуправления. Только использование ЭЭГ в качестве сигнала для БОС позволит перейти с уровня тренировки регуляции общей активации организма спортсмена к формированию у него оптимального взаимодействия структур головного мозга, необходимого для демонстрации выдающихся результатов. Для перехода на такой качественно новый уровень при подготовке спортсменов в первую очередь необходимо выделить электрофизиологические корреляты состояний, обеспечивающих наивысшие возможности человека в стрелковом спорте.

В последние десятилетия ряд исследований показал, что в электроэнцефалограмме спортсменов, достигших высоких результатов в точностных видах спорта, перед совершением действия (выстрел в стрельбе, удар по мячу в гольфе) наблюдается выра-

✉ *Напалков Дмитрий Анатольевич*, тел. 8 (495) 939-54-86; e-mail: napalkov@neurobiology.ru

женная альфа-активность [5, 7, 11–13, 20]. «Парадоксальность» [23] проявления этой активности заключается прежде всего в том, что она наблюдается в период, в котором сосредоточена весьма интенсивная работа мозга, определяющая успешность действия. Так, в период, предшествующий выстрелу, стрелок поднимает оружие, задерживает дыхание, совмещает прицельные приспособления с мишенью, достигает наибольшей устойчивости системы «тело стрелка – оружие» и нажимает на спусковой крючок.

Первые работы, описывающие изменения ЭЭГ в процессе стрельбы, появились в конце XX в. [12, 22]. Авторы показали, что перед выстрелом из пневматической винтовки и перед выпуском стрелы из лука мощность альфа-диапазона ЭЭГ квалифицированных стрелков достоверно увеличивается по сравнению с состоянием спокойного бодрствования в отведении Т<sub>3</sub>. В то же время в отведении Т<sub>4</sub> достоверных изменений мощности альфа-диапазона ЭЭГ не происходит. Интересно то, что данная феноменология не наблюдается у опытных стрелков при выполнении других видов деятельности, не связанных со стрельбой [11, 13].

В последующие годы было показано [20], что у одного и того же спортсмена перед результативными выстрелами альфа-активность в затылочных отведениях выражена лучше, чем перед неудачными выстрелами. Кроме того, выявлено, что выраженность альфа-диапазона перед выстрелом в большинстве отведений выше у высококвалифицированных стрелков, чем у начинающих спортсменов [7, 13, 21], а у испытуемых перед выстрелом она увеличивается в ходе тренировочного процесса [8, 9, 16].

Несмотря на большое количество исследований альфа-ритма ЭЭГ в период перед выстрелом, остается неясным, коррелятом каких именно мозговых процессов является описанная выше феноменология. Следует заметить, что до сих пор не был исследован базовый вопрос о том, включаются ли при прицеливании какие-то особые механизмы генерации альфа-ритмики или же происходит лишь усиление работы тех же генераторов, которые активны, например, в спокойном бодрствовании с закрытыми глазами.

Целью данной работы являлся детальный анализ альфа-активности стрелков различного уровня мастерства в частотной и пространственной областях.

## Материал и методы

В исследовании приняли участие 26 испытуемых (правшей мужского и женского пола) в возрасте от 21 до 41 года. Из них девять испытуемых достигли высокой квалификации в пулевой стрельбе (кандидаты в мастера спорта, мастера спорта); пятеро испытуемых

достигли высшей квалификации в пулевой стрельбе и на момент обследования входили в состав национальной сборной команды России (мастера спорта международного класса, заслуженные мастера спорта, из них два чемпиона мира среди военнослужащих, два чемпиона Европы и одна олимпийская чемпионка); двое испытуемых достигли уровня мастера спорта международного класса в стрельбе из классического лука (чемпионы Европы); 10 испытуемых не имели специальной стрелковой подготовки и составили контрольную группу.

Исследование проводили согласно принципам Хельсинкской декларации. Протокол эксперимента был одобрен этическим комитетом биологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова.

Регистрацию физиологических показателей проводили в стрелковом тире РГУФКСиТ и в Центре олимпийской подготовки (г. Новогорск) при искусственном освещении. По прибытии в тир испытуемым объясняли цели и методику эксперимента, с испытуемыми контрольной группы проводили инструктаж по технике изготовления и стрельбы, а также по технике безопасности при обращении с оружием. Во время стрельбы испытуемые принимали стандартную стрелковую изготовку для стрельбы из пистолета. Лучники совершали выстрел в стандартной изготовке для стрельбы из классического лука.

Электроэнцефалограмму регистрировали в 13 отведениях (F<sub>3</sub>, F<sub>z</sub>, F<sub>4</sub>, T<sub>7</sub>, T<sub>8</sub>, C<sub>3</sub>, C<sub>z</sub>, C<sub>4</sub>, P<sub>3</sub>, P<sub>z</sub>, P<sub>4</sub>, O<sub>1</sub>, O<sub>2</sub>) относительно объединенных ушных электродов в положении стоя с закрытыми глазами (1 мин), в положении стоя с открытыми глазами (1 мин) и в процессе стрельбы. Одновременно с ЭЭГ регистрировали электрокардиограмму, пневмограмму, электроокулограмму, электромиограмму (*m. deltoideus* при стрельбе из пистолета, *m. deltoideus* и *m. trapezius* при стрельбе из лука) и отметку выстрела. Запись и обработку экспериментальных данных проводили с помощью интегрированной системы Сонар [4]. Полоса пропускания от 1 до 30 Гц, частота оцифровки 512 Гц. В некоторых случаях дополнительно проводили регистрацию с помощью беспроводного усилителя-полиграфа КАРДи3-9 с программным обеспечением «Неокортекс». Полоса пропускания от 0,5 до 40 Гц, частота оцифровки 1 000 Гц.

После удаления артефактов производили спектральный анализ ЭЭГ в состоянии спокойного бодрствования с открытыми и закрытыми глазами, а также в период, предшествующий выстрелу (5 с). Выделяли следующие диапазоны: альфа-1 (7–9 Гц), альфа-2 (9–11 Гц), альфа-3 (11–14 Гц) и суммарный альфа (7–14 Гц). По полученным данным строили амплитудные

карты. Кроме того, во всех функциональных пробах анализировали выраженность пиков спектра ЭЭГ в диапазоне от 1 до 30 Гц.

Стандартную статистическую обработку данных проводили с помощью программы Statistica 6.0, используя непараметрические критерии Манна–Уитни и Вилкоксона для парных данных. Различия считали достоверными при  $p < 0,05$ .

## Результаты

По данным спектрального анализа, в состоянии спокойного бодрствования с закрытыми глазами и у испытуемых контрольной группы, и у спортсменов в ЭЭГ преобладал выраженный альфа-ритм. Как и следовало ожидать, наиболее высокой его амплитуда была в затылочных и теменных отведениях (рис. 1). При открывании глаз у испытуемых обеих групп наблюдали депрессию альфа-ритма.

В период, предшествующий выстрелу, у испытуемых контрольной группы депрессия альфа-ритма была выражена еще больше, чем при открывании глаз. В то же время у стрелков высшей квалификации (мастеров спорта международного класса (МСМК), заслуженных мастеров спорта (ЗМС)) можно было наблюдать увеличение амплитуды спектра ЭЭГ в альфа-диапазоне по сравнению с состоянием спокойного бодрствования с открытыми глазами. Имела место и описанная в ряде работ [11, 12] асимметрия выраженности альфа-активности в височных отведениях с преобладанием

амплитуды спектра альфа-диапазона ЭЭГ в отведении  $T_7$ .

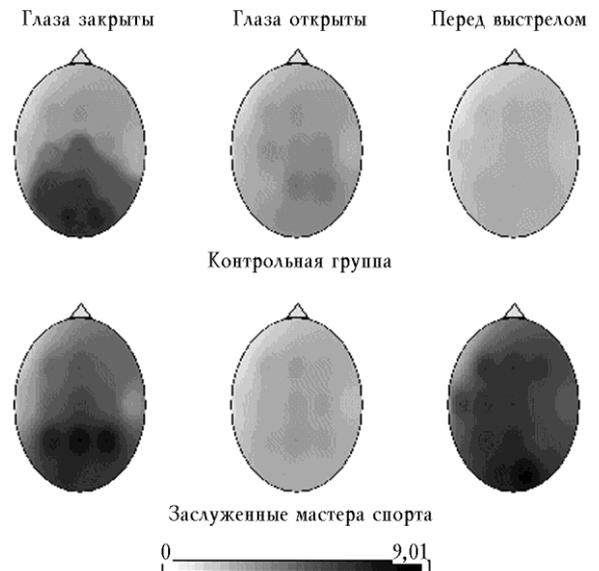


Рис. 1. Усредненные по группам испытуемых карты топографического распределения амплитуды спектра суммарного альфа-диапазона ЭЭГ (7–14 Гц) во время различных состояний

Примечательно, что в период, предшествующий выстрелу, альфа-активность хорошо выражена и у стрелков из классического лука высокой квалификации, которые перед выстрелом развивают существенное мышечное усилие, растягивая и удерживая тетиву лука (рис. 2).

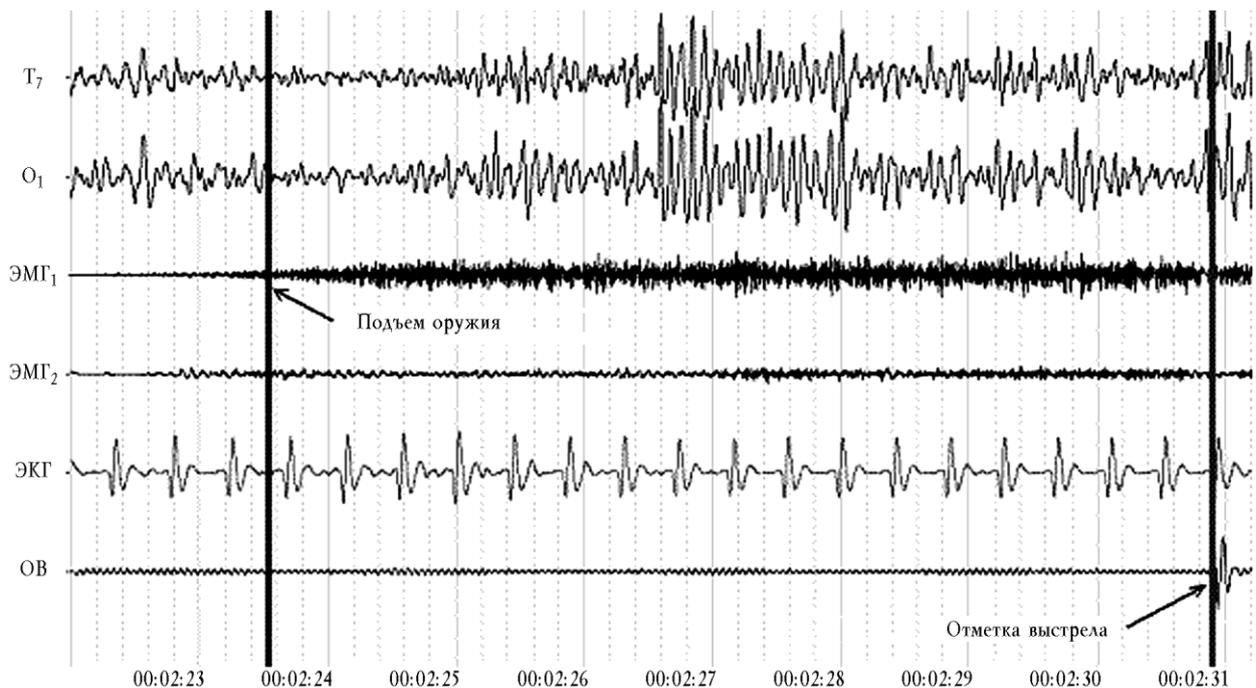


Рис. 2. Фрагмент ЭЭГ стрелка из классического лука (МСМК) во время подготовки к выстрелу. Регистрация с помощью полиграфа КАРДиЗ-9: Т<sub>7</sub>, О<sub>1</sub> – отведения ЭЭГ; ЭМГ<sub>1</sub> – канал электромиограммы дельтовидной мышцы левой руки; ЭМГ<sub>2</sub> – канал электромиограммы правой трапецевидной мышцы; ЭКГ – канал электрокардиограммы; ОВ – канал отметки выстрела

Интересно было выяснить, зависит ли выраженность альфа-диапазона ЭЭГ в период, предшествующий выстрелу, от уровня спортивного мастерства стрелка. Кроме того, представлялось необходимым нормировать амплитуду альфа-диапазона для снижения возможного влияния индивидуально-типологических особенностей ЭЭГ испытуемых на результаты исследования. Сравнение проводили между четырьмя группами испытуемых: 1-я – контрольная группа (испытуемые, не имеющие стрелковой подготовки); 2-я – кандидаты в мастера спорта (КМС); 3-я – мастера спорта (МС); 4-я – заслуженные мастера спорта, члены национальной сборной России.

Для нивелирования индивидуально-типологических различий выраженность альфа-диапазона ЭЭГ в период, предшествующий выстрелу, нормировали для каждого испытуемого относительно того же показателя в состоянии спокойного бодрствования с открытыми глазами. Вычисления проводили по формуле  $K = (a - b)/(a + b)$ , где  $a$  – значение амплитуды спектра альфа-диапазона ЭЭГ перед выстрелом;  $b$  – значение амплитуды спектра альфа-диапазона ЭЭГ в состоянии спокойного бодрствования с открытыми глазами. Таким образом, положительные значения данного коэффициента соответствуют увеличению выраженности альфа-диапазона ЭЭГ в период, предшествующий выстрелу, относительно состояния спокойного бодрствования с открытыми глазами, а отрицательные – снижению данного показателя. Среднегрупповые значения коэффициента в центральных, теменных, затылочных и височных отведениях представлены на рис. 3.

В ряду «контрольная группа – КМС – МС – ЗМС» наблюдается зависимость рассчитанного коэффициента от уровня спортивного мастерства, которая подтверждается данными корреляционного анализа (в отведениях С<sub>3</sub> и Р<sub>3</sub> получен максимальный коэффициент корреляции Пирсона  $r = 0,9$ ;  $p < 0,01$ ; в отведении Т<sub>8</sub> получен минимальный коэффициент корреляции Пирсона  $r = 0,7$ ;  $p < 0,01$ ).

Для более детального анализа в частотной области альфа-диапазон ЭЭГ разделили на три поддиапазона: альфа-1 (7–9 Гц); альфа-2 (9–11 Гц) и альфа-3 (11–14 Гц). Провели сравнение выраженности данных поддиапазонов у стрелков высшей квалификации и у испытуемых контрольной группы в период, предшествующий выстрелу.

В поддиапазоне альфа-1 у стрелков высшей квалификации выявлены достоверно большие амплитуды спектра альфа-активности в отведениях F<sub>3</sub>, Т<sub>7</sub> и О<sub>2</sub> по сравнению с испытуемыми контрольной группы ( $p < 0,05$ , критерий Манна–Уитни). В поддиапазоне альфа-2 достоверные различия между группами получены в отведениях F<sub>3</sub>, Т<sub>7</sub>, С<sub>3</sub>, Р<sub>z</sub> и О<sub>2</sub> ( $p < 0,05$ , критерий Манна–Уитни). В поддиапазоне альфа-3 у стрелков высшей квалификации показано достоверное увеличение альфа-активности во всех отведениях, кроме отведения Р<sub>4</sub>. В отведениях Т<sub>8</sub>, Р<sub>3</sub> и О<sub>1</sub> эти отличия от контрольной группы сопоставимы с теми, что были выявлены в других поддиапазонах – альфа-1 и альфа-2 ( $p < 0,05$ , критерий Манна–Уитни). Тогда как в других отведениях (F<sub>3</sub>, F<sub>4</sub>, F<sub>z</sub>, Т<sub>7</sub>, С<sub>3</sub>, С<sub>4</sub>, С<sub>z</sub>, Р<sub>z</sub>, О<sub>2</sub>) изменения более выражены, а различия между группами высоко достоверны ( $p < 0,01$ , критерий Манна–Уитни).

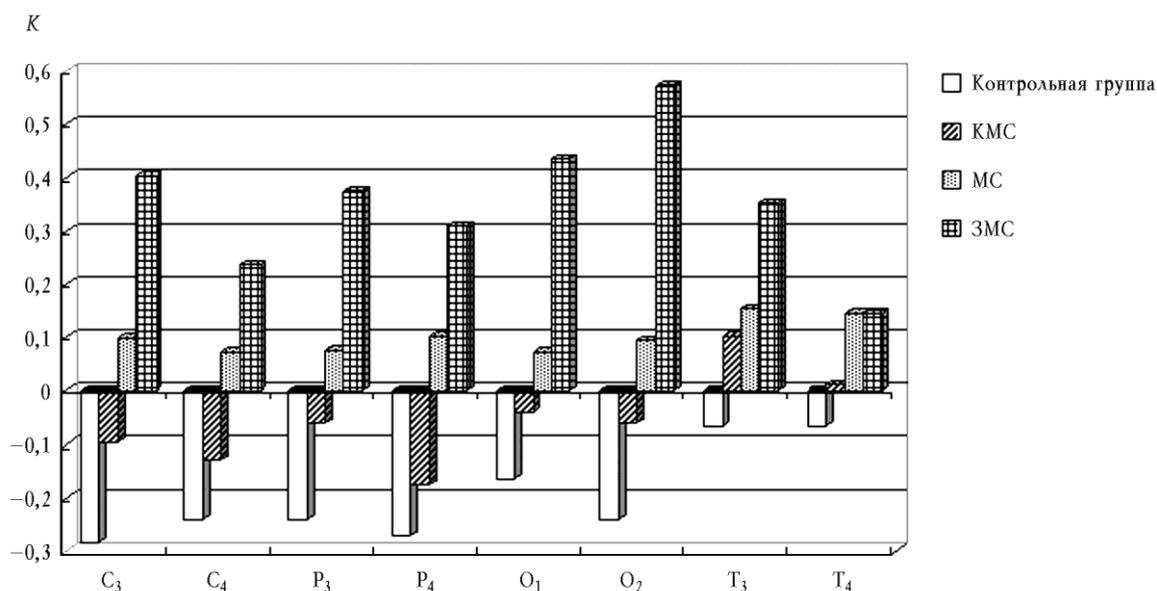


Рис. 3. Относительные изменения амплитуды спектра альфа-диапазона ЭЭГ  $K$  в отведениях  $C_3$ ,  $C_4$ ,  $P_3$ ,  $P_4$ ,  $O_1$ ,  $O_2$ ,  $T_3$ ,  $T_4$  у испытуемых контрольной группы и стрелков различной квалификации

Таким образом, наибольшие различия между ЭЭГ стрелков и испытуемых контрольной группы наблюдаются в поддиапазоне альфа-3, а не в поддиапазоне альфа-2, к которому относится альфа-ритм здорового человека в его классическом определении.

В этой связи представляет интерес вопрос о том, является ли альфа-активность в состоянии, предшествующем выстрелу, аналогичной «классическому» альфа-ритму, наиболее выраженному при закрытых глазах, или же она представляет собой отдельный феномен. Для изучения этого вопроса был проведен анализ доминирующей частоты ЭЭГ у спортсменов высшей квалификации (МСМК и ЗМС) в трех состояниях: в состоянии спокойного бодрствования с закрытыми глазами, в состоянии спокойного бодрствования с открытыми глазами и во время периода, предшествующего выстрелу.

В приведенном на рис. 4 примере частотная область «классического» альфа-ритма, выраженного при закрытых глазах и не выраженного при открытых глазах, составляет примерно 8–12 Гц, в то время как альфа-активность, выраженная перед выстрелом, развивается в области более высоких частот. Эта тенденция выявлена у каждого из обследованных стрелков высшей квалификации. Среднее значение доминирующей частоты спектра ЭЭГ в состоянии спокойного бодрствования с закрытыми глазами составляет  $(9,9 \pm 0,2)$  Гц ( $M \pm m$ ,  $n = 5$ ), а во время периода, предшествующего выстрелу, –  $12,6 \pm 0,6$  Гц ( $M \pm m$ ,  $n = 5$ ). Различия доминирующей частоты в двух исследованных состояниях статистически достоверны ( $p < 0,05$ , критерий Вилкоксона для парных данных). Данная закономерность характер-

на и для обследованных двух стрелков из классического лука квалификации МСМК.

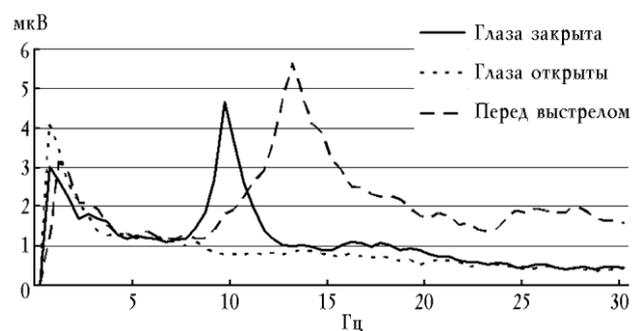


Рис. 4. Соотношение спектров ЭЭГ в отведении  $O_2$  в состоянии спокойного бодрствования с открытыми глазами, с закрытыми глазами и перед выстрелом из пневматического пистолета у заслуженного мастера спорта

## Обсуждение

В настоящее время имеется ряд гипотез, позволяющих объяснить «парадоксальное» [23] появление альфа-ритма в период, предшествующий выстрелу. Наиболее распространено представление о том, что наблюдаемая на ЭЭГ картина является следствием автоматизации навыков и «экономии» нервных процессов у квалифицированных спортсменов [11, 13, 14, 17]. Предполагается, что в процессе тренировок управление основными стереотипными операциями переходит на более низкие уровни регуляции, за счет чего активация большинства областей коры у опытных стрелков снижается [7].

Данная гипотеза показывает влияние моторного обучения на ритмику коры больших полушарий.

В исследовании в ряду «контрольная группа – КМС – МС – ЗМС» наблюдается зависимость выраженности альфа-диапазона ЭЭГ от уровня спортивного мастерства. В то же время возникает вопрос о том, на каком из уровней спортивного мастерства двигательные навыки становятся стереотипными и автоматическими. В большинстве работ, посвященных влиянию тренировочного процесса на параметры ЭЭГ [9, 16, 19], испытуемыми были начинающие стрелки. Если же говорить о стрелках уровня кандидата в мастера спорта, то можно предположить, что эти спортсмены провели большое число тренировок, достаточное для автоматизации двигательных навыков. Можно утверждать, что депрессия альфа-ритма в период перед выстрелом выражена у них слабее, чем у начинающих стрелков. В то же время при спектральном анализе ЭЭГ-пика в диапазоне 11–14 Гц (как у ЗМС) у них не наблюдается.

В связи с этим представляют интерес другие гипотезы, объясняющие хорошую выраженность альфа-диапазона ЭЭГ у стрелков высшего уровня. Согласно одной из них [20], в течение нескольких секунд перед выстрелом происходит так называемое рассеяние, отвлечение зрительного внимания от мишени, что и приводит к большей выраженности альфа-диапазона ЭЭГ. Анализ действий стрелков высшей квалификации позволяет говорить о том, что в период, предшествующий выстрелу, происходит переключение внимания со зрительного на кинестетическое, направленное на стабилизацию тела и оружия [5, 21]. Можно сказать, что опытный стрелок попадает в мишень не за счет усиленного использования зрения, а за счет контроля устойчивости системы «тело стрелка – оружие» и формирования системы «тело стрелка – оружие – мишень». Иллюстрацией данного утверждения служит тот факт, что на Олимпийских играх в Лондоне новый рекорд установил Им Донг Хьюн – южнокорейский стрелок из лука, обладающий очень слабым зрением (10%), но выступающий тем не менее среди обычных спортсменов.

Шоу [23] обратил внимание на то, что перед выполнением сложно координированного моторного действия стрелок сконцентрирован на внутреннем плане его выполнения, а не на внешних объектах. Привлекая данные ряда исследований, автор предполагает, что альфа-ритм депрессирует при наличии внимания (*attention*), но хорошо выражен, когда испытуемый сосредоточен на намерении (*intention*).

Интересно, что у высококвалифицированных спортсменов перед выстрелом происходит не усиление альфа-ритма с частотой, характерной для данного испытуемого при закрытых глазах, а появление нового

спектрального пика с частотой на 2–3 Гц выше. Данная закономерность присутствовала у всех обследованных спортсменов высшей квалификации вне зависимости от используемого ими типа оружия. Это позволяет предположить иное, отличное от альфа-ритма (в его классическом определении) функциональное значение наблюдаемой феноменологии. Именно с высокочастотными составляющими альфа-диапазона ЭЭГ многие исследователи [15, 18] связывают активную роль в ограничении сенсорного потока и подавлении обработки ненужной в данный момент информации. В таком случае повышенная альфа-активность перед выстрелом может отражать ингибирующие влияния на обширные нейронные сети с целью подавления когнитивных действий, которые могут вмешиваться в процессы процедурной памяти, вовлеченные в сенсорно-двигательную интеграцию.

По-видимому, высот спортивного мастерства достигают только те спортсмены, которые в совершенстве овладели не только моторными навыками и техникой стрельбы, но и техникой избирательной обработки информации головным мозгом. Вот как описывает оптимальное для стрельбы функциональное состояние олимпийский чемпион и многократный чемпион Европы и мира А. Хаджибеков (интервью телепрограмме «Технологии спорта»): «Перед самым выстрелом сердце начинает замирать, процессы все останавливаются, отключаются практически все мышцы, сознание начинает постепенно отключаться. Это идеальная картина для того, чтобы замереть, ничего не двигается. ...Иногда делаешь выстрел, он прозвучал, через некоторое время сам себя спрашиваешь, а где это я и что я здесь делаю?»

В данном ключе можно трактовать и наблюдаемую асимметрию амплитуды альфа-диапазона ЭЭГ в височных отведениях с преобладанием слева. Хофлер и соавт. [13] предположили, что этот феномен является коррелятом ингибирования активности речевых зон для подавления внутренней речи. Данная точка зрения соответствует мнению ряда тренеров и спортивных психологов, считающих, что подавление процессов вербально-логического мышления является одним из условий высокорезультативной стрельбы [3, 10].

## Заключение

Для совершенствования применяемых технологий биоуправления представляется необходимым выделить различные этапы спортивного совершенствования и достичь четкого понимания их электрофизиологических коррелятов. Исходя из полученных данных и данных, имеющихся в литературе, можно заключить,

что на начальных этапах обучения идет активное формирование собственно двигательных навыков – стрелок обучается принимать правильную изготовку, удерживать оружие и т.д. В ходе тренировок происходит автоматизация навыков и снижение общего уровня активации при выполнении спортивного действия. По-видимому, это коррелирует с увеличением выраженности альфа-ритма в его классическом определении.

Несколько иной представляется ситуация спортивного совершенствования в случае, когда спортсмен уже достиг определенных высот мастерства. На этом уровне собственно двигательные навыки уже отшлифованы в результате многолетней практики и достигают уровня автоматизации. Представляется вероятным, что на высших ступенях спортивного мастерства именно работа, направленная на формирование оптимального функционального состояния нервной системы (а не на моторное обучение) имеет наибольшее значение. Для достижения выдающихся результатов надо добиться оптимальной организации и взаимодействия структур мозга, участвующих в процессе и подавить «шум» [6] от ненужной в данный момент активности. По-видимому, коррелятом именно такого состояния является сдвиг частоты доминирующего ритма в более высокочастотную область.

Вероятно, именно формирование описываемого состояния и представляет наибольшие трудности при переходе к высшим ступеням спортивного мастерства. Как правило, спортсмен формирует оптимальное состояние интуитивно, стараясь запомнить и воспроизвести те ощущения, которые соответствовали наиболее результативным выступлениям. Многие спортсмены, несмотря на интенсивные тренировки, не могут сформировать его самостоятельно, и рост их результативности останавливается. В данном случае именно тренировки с использованием биоуправления на основе параметров ЭЭГ, соответствующих оптимальному, могут оказаться особенно эффективными.

#### Литература

1. Базанова О.М., Мерная Е.М., Штарк М.Б. Биоуправление в психомоторном обучении. Электрофизиологическое обоснование // Рос. физиол. журн. им. И.М. Сеченова. 2008. Т. 94, № 5. С. 539–556.
2. Базанова О.М., Штарк М.Б. Нейробиоуправление в оптимизации функционирования музыкантов-исполнителей // Бюл. СО РАМН. 2004. Т. 113, № 3. С. 114–123.
3. Блеер А.Н., Коликов М.Б., Напалков Д.А. и др. Методы оптимизации психофизиологического состояния стрелка при формировании двигательных навыков стрельбы из короткоствольного оружия. М.: МАКС-Пресс, 2006. 100 с.
4. Кулаичев А.П. Компьютерная электрофизиология. М.: Изд-во МГУ, 2002. 379 с.
5. Напалков Д.А., Ратманова П.О., Коликов М.Б. Аппаратные методы диагностики и коррекции функционального состояния стрелка: методические рекомендации. М.: МАКС-Пресс, 2009. 212 с.
6. Ajemian R., D'Ausilio A., Moorman H., Bizzi E. Why professional athletes need a prolonged period of warm-up and other peculiarities of human motor learning // *Mot. Behav.* 2010. V. 42, № 6. P. 381–388.
7. Del Percio C., Babiloni C., Bertollo M. et al. Visuo-attentional and sensorimotor alpha rhythms are related to visuo-motor performance in athletes // *Hum. Brain Mapp.* 2009. V. 30, № 11. P. 3527–3540.
8. Di Russo F., Pitzalis S., Aprile T., Spinelli D. Effect of practice on brain activity: an investigation in top-level rifle shooters // *Med. Sci. Sports Exerc.* 2005. V. 37, № 9. P. 1586–1593.
9. Domingues C.A., Machado S., Cavaleiro E.G. et al. Alpha absolute power: motor learning of practical pistol shooting // *Arq. Neuropsiquiatr.* 2008. V. 66, № 2B. P. 336–340.
10. Harkness T. Psykinetics and Biofeedback: Abhinav Bindra wins India's first-ever individual Gold Medal in Beijing Olympics // *Biofeedback.* 2009. V. 37, № 2. P. 48–52.
11. Hatfield B.D., Haufler A.J., Hung T.M., Spalding T.W. Electroencephalographic studies of skilled psychomotor performance // *J. Clin. Neurophysiol.* 2004. V. 21, № 3. P. 144–156.
12. Hatfield B.D., Landers D.M., Ray W.J., Daniels F.S. An electroencephalographic study of elite rifle shooters // *Am. Marksman.* 1982. V. 7. P. 6–8.
13. Haufler A.J., Spalding T.W., Santa Maria D.L., Hatfield B.D. Neuro-cognitive activity during a self-paced visuospatial task: Comparative EEG profiles in marksmen and novice shooters // *Biol. Psychol.* 2000. V. 53, № 2–3. P. 131–160.
14. Hung T.M., Haufler A.J., Lo L.C. et al. Visuomotor expertise and dimensional complexity of cerebral cortical activity // *Med. Sci. Sports Exerc.* 2008. V. 40, № 4. P. 752–759.
15. Jensen O., Mazaheri A. Shaping functional architecture by oscillatory alpha activity: gating by inhibition // *Front. Hum. Neurosci.* 2010. V. 4. P. 186.
16. Kerick S.E., Douglass L.W., Hatfield B.D. Cerebral cortical adaptations associated with visuomotor practice // *Med. Sci. Sports Exerc.* 2004. V. 36, № 1. P. 118–129.
17. Kerick S.E., McDowell K., Hung T.M. et al. The role of the left temporal region under the cognitive motor demands of shooting in skilled marksmen // *Biol. Psychol.* 2001. V. 58, № 3. P. 263–277.
18. Klimesch W., Sauseng P., Hanslmayr S. EEG alpha oscillations: The inhibition–timing hypothesis // *Brain Res. Rev.* 2007. V. 53. P. 63–68.
19. Landers D.M., Han M., Salazar W., Petruzzello S.J. Effect of learning on encephalographic and electrocardiographic patterns in novice archers // *Int. J. Sport Psychol.* 1994. V. 22. P. 56–71.
20. 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.
21. 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.
22. Salazar W., Landers D.M., Petruzzello S.J. et al. Hemispheric asymmetry, cardiac response, and performance in elite archers // *Res. Q. Exerc. Sport.* 1990. V. 61, № 4. P. 351–359.

23. Shaw J.C. Intention as a component of the alpha-rhythm response to mental activity // *Int. J. Psychophysiol.* 1996.

V. 24, № 1–2. P. 7–23.

Поступила в редакцию 22.11.2012 г.

Утверждена к печати 07.12.2012 г.

**Напалков Дмитрий Анатольевич** (✉) – канд. биол. наук, доцент кафедры высшей нервной деятельности биологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова (г. Москва).

**Ратманова Патриция Олеговна** – канд. биол. наук, ст. науч. сотрудник кафедры высшей нервной деятельности биологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова (г. Москва).

**Салихова Роксана Назыфовна** – инженер-лаборант кафедры высшей нервной деятельности биологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова (г. Москва).

**Коликов Михаил Борисович** – руководитель специализации теории и методики стрелкового спорта кафедры теории и методики прикладных видов спорта и экстремальной деятельности РГУФКСИТ (г. Москва).

✉ **Напалков Дмитрий Анатольевич**, тел. 8 (495) 939-54-86; e-mail: napalkov@neurobiology.ru

## ELECTROENCEPHALOGRAPHIC MARKERS OF OPTIMAL PERFORMANCE IN MARKSMEN

**Napalkov D.A.<sup>1</sup>, Ratmanova P.O.<sup>1</sup>, Salykhova R.N.<sup>1</sup>, Kolikoff M.B.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Moscow State University, Moscow, Russian Federation*

<sup>2</sup> *RSUPES & T, Moscow, Russian Federation*

### ABSTRACT

The goal of the research was a detailed characterization of the pre-shot EEG alpha activity of marksmen. It was found out that the amplitude of the spectrum of alpha activity is dependent upon the level of the sportsmen. It is discussed that the pre-short alpha is not similar with alpha rhythm in its classical definition.

**KEY WORDS:** EEG, alpha-rhythm, optimal performance, biofeedback, shooting.

*Bulletin of Siberian Medicine, 2013, vol. 12, no. 2, pp. 219–226*

### References

1. Bazanova O.M., Mernaya Ye.M., Shtark M.B. *Russian Physiological Journal named after I.M. Sechenov*, 2008, vol. 94, no. 5, pp. 539–556 (in Russian).
2. Bazanova O.M., Shtark M.B. *Bulletin of the Siberian Branch of Russian Academy of Medical Sciences*, 2004, vol. 113, no. 3, pp. 114–122. (in Russian)
3. Bleyer A.N., Kolikov M.B., Napalkov D.A. et al. *Methods of optimization of psycho physiological state of the arrow while forming of skills of shooting from short arms*. Moscow, MAKS-Press, 2006. 100 p. (in Russian).
4. Kulaichev A.P. *Computer electrophysiology*. Moscow, Moscow State University Publ., 2002. 379 p. (in Russian).
5. Napalkov D.A., Ratmanova P.O., Kolikov M.B. *Instrumental methods of diagnostics and correction of the functional state of the arrow: methodical recommendations*. Moscow, MAKS-Press, 2009. 212 p. (in Russian).
6. Ajemian R., D'Ausilio A., Moorman H., Bizzi E. Why professional athletes need a prolonged period of warm-up and other peculiarities of human motor learning. *Mot. Behav.*, 2010, vol. 42, no. 6, pp. 381–388.
7. Del Percio C., Babiloni C., Bertollo M. et al. Visuo-attentional and sensorimotor alpha rhythms are related to visuo-motor performance in athletes. *Hum. Brain Mapp.*, 2009, vol. 30, no. 11, pp. 3527–3540.
8. Di Russo F., Pitzalis S., Aprile T., Spinelli D. Effect of practice on brain activity: an investigation in top-level rifle shooters. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 2005, vol. 37, no. 9, pp. 1586–1593.
9. Domingues C.A., Machado S., Cavaleiro E.G. et al. Alpha absolute power: motor learning of practical pistol shooting. *Arq. Neuropsiquiatr.*, 2008, vol. 66, no. 2B, pp. 336–340.
10. Harkness T. Psykinetics and Biofeedback: Abhinav Bindra wins India's first-ever individual Gold Medal in Beijing Olympics. *Biofeedback*, 2009, vol. 37, no. 2, pp. 48–52.
11. Hatfield B.D., Haufler A.J., Hung T.M., Spalding T.W. Electroencephalographic studies of skilled psychomotor performance. *J. Clin. Neurophysiol.*, 2004, vol. 21, no. 3, pp. 144–156.
12. Hatfield B.D., Landers D.M., Ray W.J., Daniels F.S. An electroencephalographic study of elite rifle shooters. *Am. Marksman*, 1982, vol. 7, pp. 6–8.
13. Haufler A.J., Spalding T.W., Santa Maria D.L., Hatfield B.D. Neuro-cognitive activity during a self-paced visuospatial task: Comparative EEG profiles in marksmen and novice shooters. *Biol. Psychol.*, 2000, vol. 53, no. 2–3, pp. 131–160.
14. Hung T.M., Haufler A.J., Lo L.C. et al. Visuomotor expertise and dimensional complexity of cerebral cortical activity. *Med. Sci.*

- Sports Exerc.*, 2008, vol. 40, no. 4, pp. 752–759.
15. Jensen O., Mazaheri A. Shaping functional architecture by oscillatory alpha activity: gating by inhibition. *Front. Hum. Neurosci.*, 2010, vol. 4, pp. 186.
  16. Kerick S.E., Douglass L.W., Hatfield B.D. Cerebral cortical adaptations associated with visuomotor practice. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 2004, vol. 36, no. 1, pp. 118–129.
  17. Kerick S.E., McDowell K., Hung T.M. et al. The role of the left temporal region under the cognitive motor demands of shooting in skilled marksmen. *Biol. Psychol.*, 2001, vol. 58, no. 3, pp. 263–277.
  18. Klimesch W., Sauseng P., Hanslmayr S. EEG alpha oscillations: The inhibition–timing hypothesis. *Brain Res. Rev.*, 2007, vol. 53, pp. 63–68.
  19. Landers D.M., Han M., Salazar W., Petruzzello S.J. Effect of learning on encephalographic and electrocardiographic patterns in novice archers. *Int. J. Sport Psychol.*, 1994, vol. 22, pp. 56–71.
  20. 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.
  21. Napalkov D.A., Kolikoff M., Ratmanova P., Shulgovsky V.V. Aiming in sport shooting: An interaction between visual and somatosensory systems. *Perception*, 2006, vol. 35, p. 189.
  22. Salazar W., Landers D.M., Petruzzello S.J. et al. Hemispheric asymmetry, cardiac response, and performance in elite archers. *Res. Q. Exerc. Sport*, 1990, vol. 61, no. 4, pp. 351–359.
  23. Shaw J.C. Intention as a component of the alpha-rhythm response to mental activity. *Int. J. Psychophysiol.*, 1996, vol. 24, no. 1–2, pp. 7–23.

**Napalkov Dmitry A.** (✉), Department of Higher Nervous Activity, Biological Faculty of Moscow State University, Moscow, Russian Federation.

**Ratmanova Patritya O.**, Department of Higher Nervous Activity, Biological faculty of Moscow State University Moscow, Russian Federation.

**Salikhova Roksana N.**, Department of Higher Nervous Activity, Biological Faculty of Moscow State University, Moscow, Russian Federation.

**Kolikov Mikhail B.**, Department of Theory and Methodology of Applied Sports and Extreme Activities RSUPES & T, Moscow, Russian Federation.

✉ **Napalkov Dmitry A.**, Ph. +7 (495) 939-54-86; e-mail: napalkov@neurobiology.ru