На правах рукописи

ШЕСТАКОВ ОЛЕГ ИГОРЕВИЧ

ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОФИЗИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ГОЛОВНОГО МОЗГА И МЫШЕЧНОЙ СИСТЕМЫ В РАЗЛИЧНЫЕ ПЕРИОДЫ СТАНОВЛЕНИЯ ЦЕЛЕНАПРАВЛЕННОГО ДВИЖЕНИЯ ПРИ СТРЕЛЬБЕ ИЗ ЛУКА

1.5.5 – физиология человека и животных

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Майкоп– 2025

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Кубанский государственный университет физической культуры, спорта и туризма» Министерство спорта Российской Федерации.

Научный руководитель: **Бердичевская Елена Маевна**
доктор медицинских наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный университет физической культуры, спорта и туризма», Министерства спорта Российской Федерации, профессор кафедры физиологии (г.Краснодар)

Официальные оппоненты: **Челноков Андрей Алексеевич**
доктор биологических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Великолукская государственная академия физической культуры и спорта", Заведующий кафедрой естественно-научных дисциплин (г. Великие Луки)

Водолажский Герман Игоревич
доктор биологических наук, доцент,
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Кавказский федеральный университет», профессор кафедры физической культуры факультета физической культуры и спорта (г. Ставрополь)

Ведущая организация: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Министерства науки и высшего образования Российской Федерации «Национальный исследовательский Томский государственный университет»

Защита состоится 04.12.2025 г. в 9.00 часов на заседании диссертационного совета 24.2.267.02 при ФГБОУ ВО «Адыгейский государственный университет» по адресу: 385000, Республика Адыгея, г. Майкоп, ул. Пионерская, 260, конференц-зал научной библиотеки АГУ.

С текстом диссертации можно ознакомиться в научной библиотеке им. Д. А. Ашхамафа ФГБОУ ВО «Адыгейский государственный университет» по адресу: 385000, Республика Адыгея, г. Майкоп, ул. Пионерская, 260, и на сайте университета https://adygnet.ru/nauka/aspirantura-doktorantura-dissertatsionnye-sovety/dissertation/7190/

Автореферат разослан «___»_____2025 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат биологических наук, доцент — Кузьмин Андрей Александрович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Государственная Программа РФ "Развитие физической культуры и спорта" нацелена, среди прочего, на повышение конкурентоспособности российского спорта на международной спортивной арене, в частности, на рост индекса физического объема инвестиций в основной капитал по виду экономической деятельности "Деятельность в области спорта" (Постановление Правительства РФ от 14 апреля 2021 г. N 592 "О внесении изменений в государственную программу Российской Федерации "Развитие физической культуры и спорта"). В этом отношении исследование физиологических механизмов результативности целенаправленных движений (ЦД) в стрельбе из лука, - как медалеёмкого и, в то же время, редкого вид спорта в России (Гумерова А.А., Костина Е.А., 2019), - является перспективным, в том числе для физиологии спорта. Постепенно утратив свое стратегическое (военное) значение этот вид деятельности занял прочные позиции в профессиональном спорте. Стрельба из лука - один из самых технически сложных видов спорта, имеющий многовековую историю и отличающийся высокой координацией ЦД, требующий развития точности, концентрации внимания, координации, волевых качеств, силовой выносливости, растяжки и статической выносливости определенных групп мышц, техники стрельбы, высокой степени чувствительности сенсорных систем организма. Для этого вида спорта характерны «закрытые навыки» в виде повторения точнейших автоматизированных движений (Арансон М.В и соавт., 2019). Именно точность выстрела, как результат ЦД лучника, предопределяет социальный соревновательный успех. Перечисленные качества, а также описанные в литературе кинематические характеристики лучника зависят от функционального состояния головного мозга, всей ЦНС, нервно-мышечного аппарата, - и взаимосвязаны с реализацией и результативностью движений (Бердичевкая Е.М., Тришин Е.С., 2020). Сочетание и выраженность вышеупомянутых физиологических свойств, обеспечивающих успешность ЦД лучника, не одинаковы у спортсменов разной квалификации. Но в доступной литературе межквалификационные различия стрелков из лука представлены не достаточно. Требуется более детальное, углубленное изучение данного вопроса в зависимости от квалификации лучника при выстрелах различной точности, в частности, выявление конкретных электроэнцефалографических и электромиографических особенностей, маркирующих различные периоды становления ЦД.

Степень разработанности темы. На современном этапе физиологических исследований ЦД, как и многие другие функции, изучаются в масштабах целостного организма (Островский М.А., 2017). Наиболее полная системная концепция движений разработана Гурфинкелем В.С. и соавт. (1965 - 2011). Сочетание синхронных локомоций, направленное на достижение единой цели, обеспечивает экономию энергии, например, в процессе обретения профессиональных навыков (Bizzi E., Cheung V.C.K. , 2013; Талис В. Л., Казенников О.В., 2020). Нередко используемая модель для исследования физиологических механизмов ЦД – стрельба из лука, - именуется, практически, идеальной (Пухов А.М., 2013, Трембач А.Б, 2016, Арансон М.В. и соавт., 2019). Материалы о механизмах ЦД представлены в литературе по трём аспектам отдельно: кинематическому, электромиографическому (ЭМГ) и нейрофизиологическому (Zulkifli A., 2014; Чермит К.Д. и соавт., 2015; Томиловская Е.С., Козловская И.Б., 2020; Бердичевская Е.М., Пантелеева А.М., 2021). Перечисленные направления развиваются и применительно к физиологии данного

вида спорта, но без комплексного их сочетания. Поэтому в настоящем исследовании мы осуществили комплексное изучение синхронных кинематических, ЭМГ и ЭЭГ особенностей данной модели, подразумевая тесную взаимосвязанность и, по сути, единство этих трёх компонентов в срабатывании целостного физиологического механизма ЦД. Обобщающих публикаций по анализу физиологических маркёров точности стрельбы из лука в зависимости от квалификации обнаружить не удалось. В отдельных частных исследованиях кинематических характеристик стрельбы из лука измерялись: скорость и длина дотяга (Ganter N. et al., 2010; Zulkifli A. et al., 2014), время реакции между сигналом кликера и выстрелом (Heller M., 2012). При этом анализу подвергалась лишь фаза прицеливания, тогда как другие фазы упражнения до сих пор не были маркированы. Ряд авторов выявили связь выраженности основного ритма ЭЭГ с точностью выстрела (C. D. Percioetal., 2009; C. Babiloni et al., 2009; L. Q. Hung et al., 2014; S. Di Fronzo et al., 2016).Однако другие частотные диапазоны колебаний ЭЭГ при выстрелах различной точности изучены в меньшей степени. В большинстве своём, встречаются не столько конкретные физиологические факты об ЭЭГ и других маркерах ЦД, сколько методические рекомендации к получению этих сведений, либо предпосылки к установлению самих маркеров (G.M. Lozeetal., 2001; B.D. Hatfield et al., 2004; D.A. Napalkov et al., 2008). Это может расцениваться как заданный вектор на пути поиска маркеров различной модальности для более детальной расшифровки специфического механизма ЦД на примере стрельбы из лука.

Цель исследования - выявить электроэнцефалографические и электромиографические особенности, маркирующие различные периоды становления целенаправленного движения у спортсменов лучников различной квалификации при выстрелах различной точности.

Задачи исследования:

1. Обосновать периоды и фазы формирования спортивного упражнения «Стрельба из лука» на основе анализа синхронной регистрации кинематических, электромиографических и нейрофизиологических параметров.
2. Выявить кинематические и электромиографические особенности точных и неточных выстрелов спортсменов лучников квалификации «КМС» и спортсменов лучников 1-го разряда.
3. Определить физиологические маркеры активности мышечной системы при точных и неточных выстрелах у спортсменов лучников различной квалификации по кинематическим и электромиографическим параметрам.
4. Определить электроэнцефалографические маркеры точных и неточных выстрелов у спортсменов лучников квалификации «КМС» и спортсменов лучников 1-го разряда.
5. Провести сравнительный межквалификационный анализ физиологических (электроэнцефалографических и электромиографических) особенностей точных и неточных выстрелов лучников.
6. Провести обобщенный анализ закономерностей электрофизиологической активности головного мозга и мышечной системы, детерминирующих физиологический механизм точности выстрела лучников различной квалификации.

Научная новизна работы. В работе впервые:

- установлены электромиографические маркеры реализации успешных выстрелов из лука: средняя площадь ЭМГ по всем исследуемым группам мышц и ее динамика между первой и последней секундой фазы прицеливания; соотношение направленности амплитудно-частотных сдвигов на ЭМГ. Менее квалифицированные спортсмены - перворазрядники (при сравнении с КМС) характеризуются: большей площадью ЭМГ исследуемых мышц, за исключением дельтовидных; более резким

усилением электрической активности нижних частей двуглавых и трапециевидных мышц к концу фазы прицеливания; большей амплитудой и частотой спектра ЭМГ всех мышц, кроме дельтовидных. Только у более квалифицированных спортсменов (КМС) к концу фазы прицеливания повышается амплитуда при снижении частоты в исследуемых группах мышц – соотношение, характеризующее оптимальную энергоэкономичную приспособительную целенаправленность движений, необходимую для формирования силовой выносливости лучника.

- синхронно установлены ЭЭГ-маркеры точности выстрелов лучников различной квалификации и на основании их оценки дан анализ физиологических особенностей периодов становления ЦД спортсменов различной квалификации при выстрелах различной точности. Показано маркирующее значение прицеливания и фазы предварительной подготовки выстрела из лука, когда упреждающе формируется психофизиологический настрой спортсмена, от которого зависит точность, концентрация внимания, оптимальная координация, волевые качества, силовая и статическая выносливость (включая выносливость исследуемых групп мышц), техника стрельбы. Зарегистрированы закономерности: чем мощнее основной ритм ЭЭГ в затылочных зонах на ранней подготовительной фазе, тем точнее впоследствии выстрел спортсмена-КМС. Чем меньше мощность основного ритма перворазрядника в височном отведении слева, тем точнее его выстрел. Для воспроизведения выстрела любой точности необходимо усиление мощности тета-колебаний в переднем левом лобном отведении вначале (при подготовке) и ослабление этого параметра (при сохранении более высокого его уровня, по сравнению с фоном) – в момент прицеливания. Общее квалификационное электрофизиологическое условие точности выстрела - сужение зоны распространения изменений мощности колебаний ЭЭГ в левом полушарии и стабильность данного параметра в правом полушарии, обеспечивающее концентрацию внимания; усиление корково-подкоркового церебрального взаимодействия в течение подготовительного периода, подтвержденное прямыми положительными корреляциями точности выстрела с абсолютными значениями мощности кросс-спектров низкочастотной альфа-активности ЭЭГ в задних левых височных отведениях.

-выявленные электроэнцефалографические и электромиографические особенности влияют на механизмы развития кинематических качеств лучника: мощностная церебральная активация подготовительных этапов выстрела КМС детерминирует формирование всё большей экономичности мышечного исполнения упражнения; оптимизируются характер энергообеспечения и управление ЦД, повышаются возможности достижения результата. И, наоборот, менее квалифицированный стрелок совершает неточный выстрел ценой относительно меньших мышечных усилий по сравнению с точным попаданием в цель. Мощностное ослабление активности нервных центров растормаживает локомоторный эффект. Переход к более высокой спортивной квалификации представляет собой подъем на качественно иной уровень электрофизиологической активности мозга, нервно-мышечной системы, развития кинематических характеристик.

- показаны межквалификационные различия лучников: семикратно большее число значимых связей между мощностными спектральными параметрами ЭЭГ в фазах «Подготовка, Изготовка, Прицеливание» и точностью попадания у КМС по сравнению с перворазрядниками как признак высокого уровня развития аппаратов управления функциональной системы ЦД «Стрельба из лука» по мере роста мастерства. На уровне исполнительных компонентов данной функциональной системы: длина дотяга, скорость прохождения стрелы из-под кликера, средняя

площадь ЭМГ, частота в левой дельтовидной мышце во время прицеливания у КМС меньше, чем у перворазрядников.

Теоретическая значимость работы. Полученные в исследовании новые знания обогащают и уточняют теории: взаимодействия биологического и социального в развитии человека (Ананьев Б.Г., Огнев Б.В., Шаханова А.В., Равич-Щербо И.В.); взаимодействия симметрии/асимметрии как парного метода познания сложных биологических объектов (Гарднер М., Дмитриева Н.В., Чермит К.Д., Степанов В.С., Суббота А.Г.); отражения межполушарного доминирования в мануальных действиях (Агеева С.Р., Бердичевская Е.М., Жаворонкова Л.А., Кураев Г.А., Ильин Е.П., Доброхотова Т.А., Фомина Е.В., Корашвили Н.Ш., Брагина Н.Н., Горбунова Е.И.); опорной афферентации в поддержании структурно-функционального гомеостаза постуральной мышцы (Козловская И.Б.). Теория функциональных систем П.К. Анохина и принцип системного квантования жизнедеятельности К.В. Судакова получили своё отражение и продолжение в интерпретации установленных фактов. Полученные данные расширяют и конкретизируют спортивно-физиологические представления о необходимости гармоничного взаимоотношения сознания и подсознания, интеллектуальной и эмоциональной сфер (судя по сопряжённым взаимоотношениям высокочастотных неокортикально генерируемых и более медленных диэнцефально генерируемых колебаний ЭЭГ, значимым для механизма формирования точности выстрела лучника), достигаемого с помощью нативной оптимизации корково-подкорковых церебральных взаимодействий, набирающих силу в процессе обретения профессионального мастерства.

Практическая значимость работы. Установленные маркеры точности ЦД спортсмена лучника позволят тренеру-специалисту расширить физиологическое понимание механизма ЦД с тем, чтобы объективно измерять уровень результативности воспитанника на основе параметров физиологических данных, прогнозировать результат, определять кинематический и ЭЭГ маркер. Данные могут быть применены в БОС-обучении и нейробиоуправлении. В социальном масштабе это может быть экономически выгодно обществу, как фактор повышения конкурентоспособности Российского спорта на международной спортивной арене, роста индекса физического объема инвестиций в основной капитал по виду экономической деятельности "Деятельность в области спорта".

Внедрение. Полученные результаты внедрены в учебный процесс Кубанского государственного университета физической культуры, спорта и туризма (акт внедрения от 01.06.2023г.), в тренировочный процесс Региональной спортивной общественной организации «Федерация стрельбы из лука Красноярского края» (акт внедрения от 01.09.2022г.), Региональной общественной организации «Федерация стрельбы из лука Республики Адыгея» (акт внедрения от 20.01.2020г.). Результаты исследования можно использовать в образовательном процессе вузов различной направленности в рамках преподавания дисциплин «Физиология», «Физиология спорта» и «Основы нейрофизиологии».

Теоретико-методологическая основа. Методологическую основу диссертации составили научные представления: о системной концепции движений (Гурфинкелем В.С. и соавт., 1965 – 2011); о функциональных системах (Анохин П.К., 1968); о функциональной асимметрии (Е.М. Бердичевская, 2008-2021); о нормальном перераспределении внутримозговой энергии (Водолажская М.Г. и соавт., 2006); о гравитации и позно-тонической двигательной системе (Козловская И.Б., 2017).

Методология работы представлена системным подходом к изучению многоуровневой иерархической регуляции ЦД на примере стрельбы из лука с доказательной иллюстрацией основного системного принципа – единства. Усиление и

увеличение числа связей между компонентами системы исследуемого упражнения с реверсией направленности по ряду закономерностей у более квалифицированных лучников по сравнению с менее квалифицированными спортсменами представляет собой фактологическую иллюстрацию диалектического закона перехода количественных изменений - в качественные в процессе повышения спортивного мастерства. Используемые в работе методы – синхронно регистрируемые 2D видеоанализ, ЭМГ и многоканальная ЭЭГ, - выявляли универсальную микроритмическую смену динамики и статики, синхронизации и десинхронизации, хаоса и упорядоченности, синергизма и антагонизма, иллюстрирующих диалектическое единство и борьбу противоположностей.

Организация и методы исследования. Исследование проведено на базе научной лаборатории кафедры адаптивной физической культуры КГУФКСТ с 2015 по 2022 годы. Обследованы 40 спортсменов правшей, занимающихся стрельбой в дивизионе классический лук. Исследуемые имели спортивную квалификацию от I разряда до кандидата в мастера спорта (КМС), средний возраст 19,5 ± 3,49 лет. Стаж спортивной деятельности от 2 до 12 лет. Все спортсмены получили подробную информацию по проводимым исследованиям и дали письменное согласие на участие в исследовании в соответствии с Хельсинской декларацией.

Исследования проводились в условиях, моделирующих соревновательную деятельность после общей и специальной разминки. Исследуемые были разделены на 2 группы: «КМС» («более квалифицированные») и «1-й разряд» («менее квалифицированные»). В начале исследования устанавливали датчики ЭМГ. На поясе находился блок электромиографа, подключались каналы отведений. При помощи манжетов устанавливали 15 светоотражающих маркеров и механо-оптический маркер на лук. Заключительным этапом была установка электродов 19-канальной ЭЭГ и дополнительных отведений: измерение окружности головы и выбор размера шлема; надевание шапочки и ее фиксация за счет специального ремня под подбородком, установка дополнительных датчиков двигательной активности (ДДА), электрокардиограммы (ЭКГ) и электроокулограммы (ЭОГ); соединение специальным кабелем (электродная сетка) разъемов шапочки и датчиков с электроэнцефалографом, закрепление всех проводов для минимизации помех при регистрации; заполнение специальным обезжиривающим гелем подэлектродного пространства для уменьшения сопротивления между электродом и участком скальпа (подэлектродного импеданса). Затем приступали к записи в следующей последовательности: 1) регистрация ЭЭГ исходного положения стоя, с открытыми и закрытыми глазами по 1 минуте на каждую пробу; 2) занятие спортсменом предварительной изготовки, регистрация ЭЭГ в течение 30 секунд; 3) регистрация ЭЭГ в ходе выполнения трех зачетных выстрелов по мишени. Запись производилась в моменты неподвижности головы, в течение 3-15 секунд; 4) запись результатов попаданий, двухминутный отдых и возвращение ко 2 этапу регистрации ЭЭГ. Моторная задача заключалась в максимальной точности попадания стрелы в мишень с расстояния 18 метров в специально оборудованном помещении. Каждый испытуемый выполнял 2 подхода по 10 серий из 3 выстрелов, с интервалом между подходами 15 минут. Выстрелы разной результативности были разделены на высокоточные (10 очков) и низкоточные (8, 7, 6 очков). Пробоины достоинством в 9 очков анализу не подвергались.

Для регистрации кинематических и ЭМГ-параметров использовался аппаратно-программный комплекс «СпортЛаб», разработанный ООО «Научно-медицинская фирма Биософт», г. Москва. Двухмерный видеоанализ включал аналоговую видеокамеру с частотой регистрации 25 Гц. Регистрация локомоций спортсмена происходила совместно с цифровой видеокамерой GoProHERO7, имеющей частоту

съемки 240 Гц, разрешение 1080 p, позволяющей на удалении 60 см от исследуемого получить точность регистрации маркеров 0,1 мм при динамическом движении. Регистрация кинематических параметров (перемещение координат в пространстве, их скорость и ускорение по Z и Y) осуществлялась по 16-ти маркерам (голова, симметричные плечевые, локтевые, лучезапястные, тазобедренные, коленные, голеностопные, плюсневые суставы стоп) с частотой дискретизации 25 Гц и дополнительно с частотой 240 Гц – для верхней части туловища.

Регистрация ЭЭГ осуществлялась при помощи электроэнцефалографа «Энцефалан-ЭЭГР-19/26» фирмы «Медиком МТД» г. Таганрог 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. Референтные электроды A1, A2 – на мочках ушей. В дополнении производилась запись ДДА, ЭКГ и 2 ЭОГ. ДДА имел сходство с датчиком храпа, устанавливался на рукоятке лука, в непосредственной близости к кликеру. Щелчок кликера точно отображался на ЭЭГ датчиком храпа. Кликер механически включал световой маркер и отображался небольшим пиком амплитуды на ЭЭГ, тем самым синхронизируя кинематические, ЭМГ и ЭЭГ-показатели. Зрительный контроль регистрировали с помощью датчиков ЭОГ справа и слева. ЭОГ позволила нам установить начало фазы прицеливания, которое определяется не только укладкой опорной руки под челюсть, но и переводом взгляда с кликера на прицел. Данное движение глазных яблок четко прослеживалось на записи ЭЭГ датчиком ЭОГ. Телеметрическая регистрация ЭЭГ-показателей позволяла испытуемому выполнять спортивное упражнение в естественных условиях.

Экспериментальные данные обрабатывали при помощи Statistica 10.0. Вычисляли: среднее арифметическое (M), ошибку среднего арифметического (±m). Различия считали статистически достоверными в случае достижения двустороннего уровня значимости $p < 0,05$. Достоверность различий показателей ЭЭГ определяли посредством однофакторного дисперсионного анализа. При расчете достоверности различий биодинамических характеристик применяли параметрический критерий (Стьюдента) и непараметрический критерий (Вилкоксона). Помимо этого, использовали параметрический корреляционный анализ по Пирсону. При необходимости для сравнения исследуемых параметров стандартизированные результаты рассчитывались в процентах. По результатам применения метода наименьших квадратов вычисляли коэффициент детерминированности (R^2), нормируемый от 0 до 1, который служил показателем достоверности аппроксимации.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. При развертывании целенаправленного движения «Выстрел из лука» выявляется три функциональных периода и семь фаз. Маркирующими становление движения и точность попадания в цель являются: первый период предварительной подготовки (в котором зарождается формирование нейрофизиологического паттерна и психофизиологической основы будущей точности попадания) и шестая фаза прицеливания, характер которой, судя по комплексной электроэнцефалографической, электромиографической и кинематической оценке, определяет уровень точности выстрела.

2. Нейрофизиологические маркеры точности выстрела из лука для КМС - одни, а для перворазрядников – другие. Точность выстрела КМС маркирует левополушарная затылочно-височно-лобная альфа-тета-активация мощности ЭЭГ в подготовительные фазы упражнения, а затем - диссоциация мощностей этих частотных диапазонов в момент прицеливания: продолжающиеся усиление абсолютной мощности альфа-ритма, и ослабление мощности тета-волн ЭЭГ. Точность выстрела перворазрядников маркирует ослабление мощности основного ритма в

височном отведении слева в первую фазу выстрела, а также сужение скальпового представительства альфа- и тета-частотных диапазонов ЭЭГ в момент прицеливания.

3. Кинематическими и электромиографическими маркерами реализации успешных выстрелов из лука являются: средняя площадь мышц и ее динамика; соотношение амплитудно-частотных сдвигов на ЭМГ. В итоге синхронизации (ЭМГ с ЭЭГ) более квалифицированные лучники осуществляют точный выстрел менее энергозатратно, а перворазрядники - более энергозатратно.

4. Физиологическим условием точности выстрела является сужение зоны распространения изменений мощности колебаний ЭЭГ в левом полушарии и стабильность данного параметра в правом полушарии. Уровень вовлечённости левого полушария более высок у КМС, а правого полушария – у перворазрядников. Большее число значимых связей между параметрами ЭЭГ и точностью попадания у КМС по сравнению с перворазрядниками указывает на высокий уровень развития функциональной системы ЦД «Стрельба из лука» по мере роста мастерства, о синергичности физиологических процессов при выполнении упражнения более квалифицированными лучниками и на недостаточный уровень становления - у перворазрядников. В исполнительном компоненте функциональной системы «Стрельба из лука»: длина дотяга, скорость прохождения стрелы из-под кликера, средняя площадь ЭМГ по всем исследуемым мышцам, частота в левой дельтовидной мышце во время прицеливания, - у КМС меньше, чем у перворазрядников, что указывает на более энергоэкономичное достижение полезного приспособительного результата у КМС по сравнению энергозатратной адаптированностью к соревновательным условиям перворазрядников.

Степень достоверности результатов. Достоверность полученных результатов определяется объемом репрезентативных выборок. Каждый из 40 лучников выполнил по 60 выстрелов; от каждого испытуемого было получено: 60 записей кинематических показателей, 60 записей ЭМГ и 60 записей ЭЭГ. Всего зарегистрировано 7200 записей. Математическому анализу подвергались 192 параметра видеоанализа и ЭМГ и 31416 параметр ЭЭГ от одного исследуемого, благодаря использованию цифрового оборудования, числу каналов и отведений, числу исследуемых частотных диапазонов ЭЭГ, количеству выстрелов, а также 7 фазам упражнения. Использованы классические и современные физиологические методы исследования, традиционные приёмы вариационной статистики с применением t-критерия Стьюдента при нормальном распределении, корреляционного анализа, метода наименьших квадратов.

Апробация результатов исследования. Основные положения настоящей работы представлены и обсуждены: на конференции «Современные методы организации тренировочного процесса, оценки функционального состояния и восстановления спортсменов» (Челябинск, 2017), на ежегодной отчетной научной конференции аспирантов и соискателей КГУФКСТ (Краснодар, 2016-2020), научной конференции «Университетский спорт: Здоровье и процветание нации» (Улан-Батор, 2018), научно-методической конференции профессорско-преподавательского состава КГУФКСТ (Краснодар, 2019), на VI съезде физиологов СНГ (Сочи, Дагомыс, 2019), на 15-й Международном междисциплинарном конгрессе (Судак, 2019), на IV Международной научно-практической конференции «Шаг в науку» (Грозный, 2021).

Публикации. По диссертации опубликовано 27 печатных работ, из них 8 статей в журналах, рекомендованных ВАК Министерства образования и науки РФ, одна из которых включена в международную реферативную базу данных Scopus.

Личный вклад автора. Автором лично определены цели и задачи исследования, выбраны методы; написан обзор литературы, проведено исследование, собраны

первичные данные; проанализированы, обобщены и описаны результаты исследования, подготовлены и опубликованы статьи.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 1.5.5 – «Физиология человека и животных» по следующим пунктам: 3. Закономерности и механизмы нервной и гуморальной регуляции, генетических, молекулярных, биохимических процессов, определяющих динамику и взаимодействие физиологических функций. 4. Закономерности функционирования основных систем организма (нервной, внутренней секреции, иммунной, сенсорной, двигательной, крови, кровообращения, лимфообращения, дыхания, выделения, пищеварения, репродуктивной и др.) при различных состояниях организма; 7. Исследование механизмов сенсорного восприятия и организации движений; 8. Физиологические основы высшей нервной деятельности у животных и психической деятельности у человека (механизмы обучения, памяти, эмоций, сознания, речи, организации целенаправленного поведения и др.); 9. Физиологические механизмы адаптации к различным формам, видам и условиям деятельности, в том числе экстремальным. Разработка технологий адаптивного управления физиологическими функциями экстремальных природно-климатических условиях.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из 187 страниц машинописного текста и включает: введение, 3 главы (литературный обзор, организация и методы научных исследований, а также описание собственных результатов), обсуждение собственных исследований, выводы, практические рекомендации и список сокращений. Список цитируемой литературы включает 330 библиографических ссылок, в том числе 122 - на иностранных языках. Диссертация включает 37 рисунков и 7 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Пространственно-временные интервалы при развертывании спортивного упражнения «Стрельба из лука». Во временнóм паттерне комплекса ЦД «Выстрел из лука» идентифицировались три основных функциональных периода и семь фаз, каждый из которых служит базой для последующих (рис. 1). Первый период предварительной подготовки включал в себя две фазы: подготовительную фазу и фазу изготовки. Второй динамический период состоял из фазы установки, фазы основного натяжения и фазы укладки. Третий период зрительно-моторной коррекции складывался из фазы прицеливания и собственно выстрела. Периоды и фазы определялись по реперным точкам передвижения в пространстве суставов верхних конечностей, электрической активности скелетных мышц и головного мозга. Маркирующими временными интервалами являлись: период предварительной подготовки (запуск нейрофизиологического механизма будущей точности попадания) и фаза прицеливания, характер которой, судя по комплексной синхронной кинематической, ЭМГ и ЭЭГ оценке, определял уровень точности выстрела.

Динамика кинематических, ЭМГ и ЭЭГ показателей точных и неточных выстрелов лучников различной квалификации. Точные выстрелы КМС (по сравнению с неточными попаданиями) характеризовались энергоэкономичным уменьшением частоты и отсутствием подъема амплитуды M. Triceps brachii sinister (рис. 2). Лишь при неточных выстрелах частоты M. Deltoideus sinister и M. Biceps brachii dexter уменьшались на последней секунде фазы прицеливания по сравнению с первой секундой. При выстрелах пониженной точности у КМС, в целом, регистрировалась бóльшая количественная активация мышц. Время прицеливания и

рейтинг функциональной вовлечённости мышц не предопределял точность выстрела не зависимо от квалификации спортсмена.

Точные выстрелы перворазрядников (по сравнению с их неточными попаданиями), наоборот, характеризовались энергозатратным учащением на фоне амплитудного всплеска M. Biceps brachii dexter, M. Trapezius sinister parsascendens. При точных выстрелах лучников первого разряда, в целом, отмечалась бóльшая активация мышц, чем при низкоточных выстрелах.

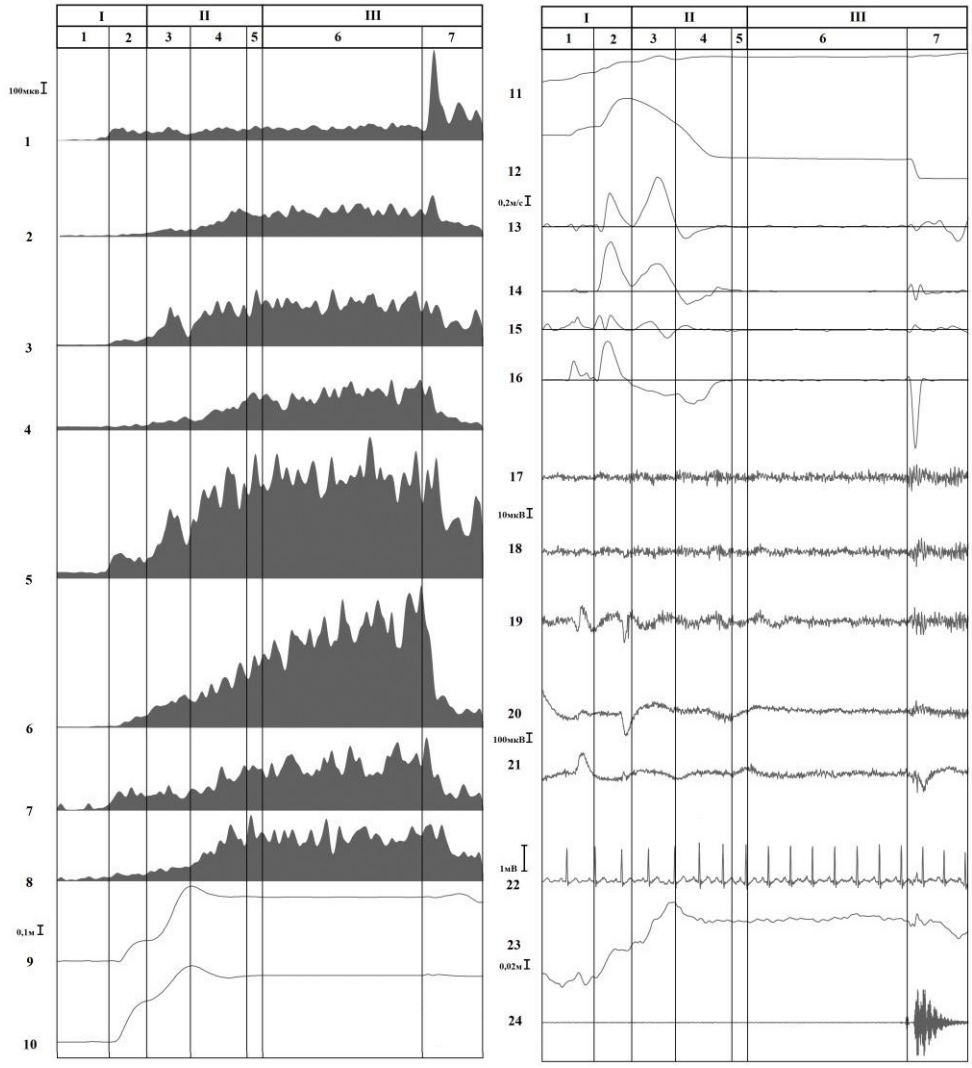


Рисунок 1–формирование фаз и периодов реализации выстрела на примере маркёров лучника из группы КМС (слева) и лучника из группы 1 разряда (справа).

По горизонтали – три периода и семь фаз. По вертикали сверху вниз - параметры: 1-8 - M. biceps brachii sinister, biceps brachii dexter, triceps brachii sinister, triceps brachii dexter, deltoideus sinister, deltoideus dexter, trapezius sinister pars ascendens, trapezius dexter pars ascendens, ЭМГ (мкВ); 9, 10 – координаты перемещения левого и правого лучезапястных суставов по оси Z (м), 11,12 – они же по оси Y (м); 13,14 – скорость перемещения левого и правого лучезапястных суставов по оси Z (м/с), 15,16 – по оси Y (м/с); 17-19 - O1, C3, Fp1 отведения ЭЭГ (мкВ); 20 – ЭКГ (мВ); 21, 22 - правая и левая ЭОГ (мкВ); 23 – РД (м); 24 – ДДА.

Кинематическими и ЭМГ-маркерами реализации успешных выстрелов из лука являлись: средняя площадь ЭМГ по всем исследуемым группам мышц и ее динамика между первой и последней секундой фазы прицеливания; соотношение

направленности амплитудно-частотных сдвигов на ЭМГ. Менее квалифицированные спортсмены (при сравнении с КМС) характеризовались: большей площадью ЭМГ исследуемых мышц, за исключением дельтовидных (рис. 3); более резким усилением электрической активности нижних частей двуглавых и трапециевидных мышц к концу фазы прицеливания; а также большей амплитудой и частотой спектра ЭМГ всех мышц, кроме дельтовидных (рис. 4). Только у более квалифицированных спортсменов к концу фазы прицеливания повышалась амплитуда при снижении частоты в исследуемых группах мышц (рис. 2).

К ЭЭГ-маркерам точных выстрелов из лука спортсменов более **высокой квалификации** были отнесены: 1) плавное усиление спектральной мощности тета-колебаний в отведении Fp1 в фазу подготовки, и затем ослабление его мощности (при сохранении более высокого мощностного уровня по сравнению с состоянием покоя) в фазу прицеливания (рис. 5); 2) альфа-ритм, топографически выявляемый в отведениях O1 и T3 в момент прицеливания (рис. 6), увеличивающий свою спектральную мощность заранее, начиная с двух предварительных подготовительных фаз упражнения (табл.). Отсутствие данной динамики показателей основного ритма ЭЭГ в момент прицеливания характерно для низкоточных выстрелов.

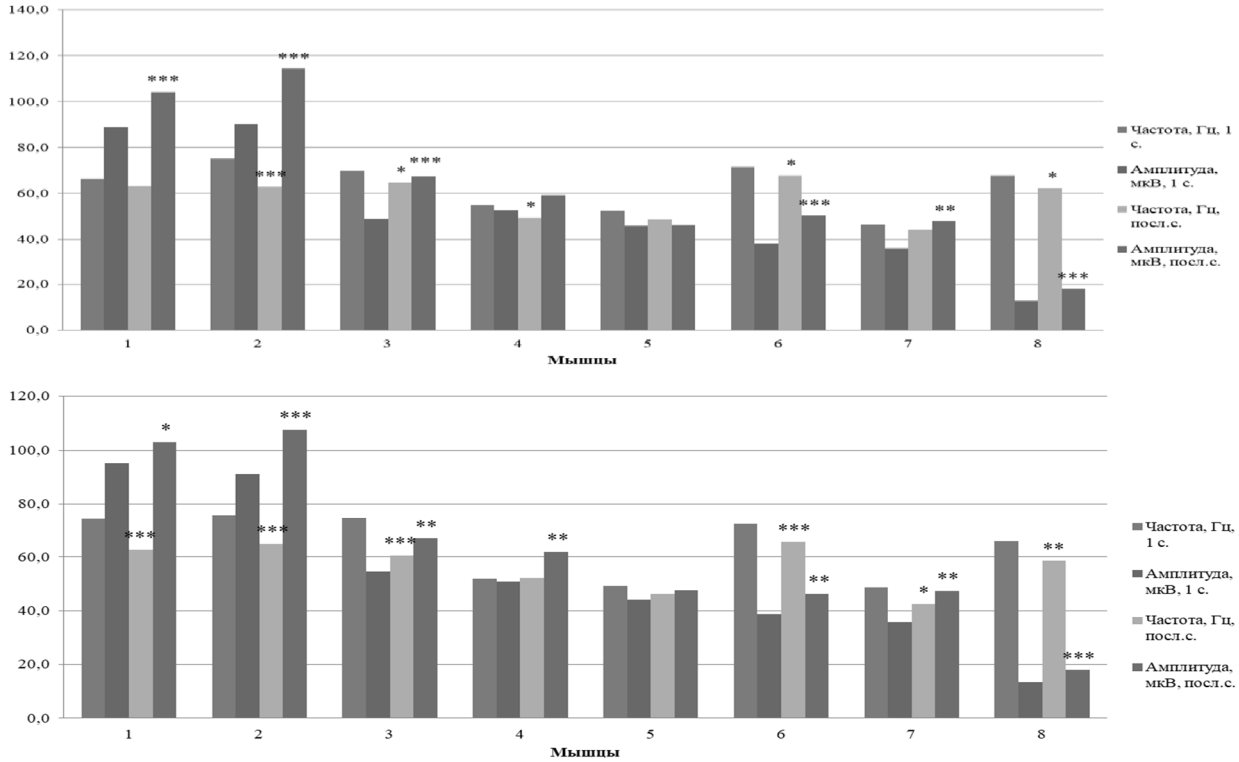


Рисунок 2 - Спектральные характеристики ЭМГ в первую и последнюю секунду фазы прицеливания при высокоточных (верхняя диаграмма) и низкоточных (нижняя диаграмма) выстрелах КМС.

Примечание: 1 - M. deltoideus sinister, 2 - M. deltoideus dexter, 3 - M. trapezius sinister pars ascendens, 4 - M. triceps brachii sinister, 5 - M. trapezius dexter pars ascendens, 6 - M. triceps brachii dexter, 7 - M. biceps brachii dexter, 8 - M. biceps brachii sinister.; * - $p \leq 0,05$; ** - $p \leq 0,01$; *** - $p \leq 0,001$.

ЭЭГ маркерами точных выстрелов из лука спортсменов **низкой квалификации** в подготовительной фазе упражнения явились: 1) ослабление мощности высокочастотных альфа-колебаний в переднем височном отведении слева (табл.). Маркёры фазы прицеливания (рис.7): 2) четырёхкратное сужение скальпового

представительства высокочастотных альфа-колебаний со смещением неокортикальных зон от затылочно-теменно-центральных и задне-лобных отделов к правому передне-лобному отведению; 3) двукратное сужение скальпового представительства низкочастотных альфа-колебаний, их левосторонняя концентрация в зрительных и фронтальных зонах; 4) троекратное сужение скальпового представительства тета-активности и её концентрация в левой зрительной зоне.

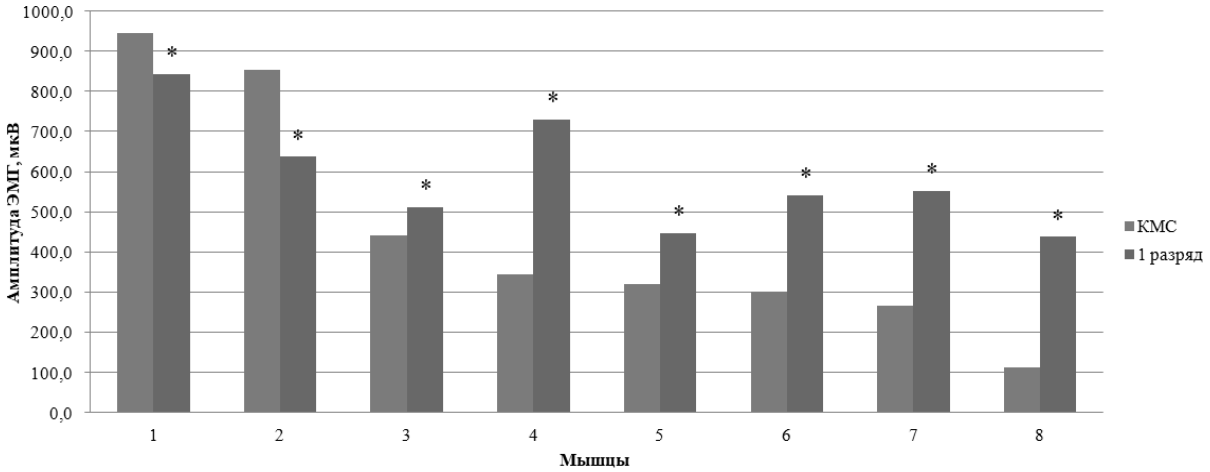


Рисунок 3 - Средняя площадь ЭМГ за 1 секунду во время фазы прицеливания лучников разной квалификации.

Примечания: 1 - M. deltoideus sinister, 2 - M. deltoideus dexter, 3 - M. trapezius sinister pars ascendens, 4 - M. triceps brachii sinister, 5 - M. trapezius dexter pars ascendens, 6 - M. triceps brachii dexter, 7 - M. biceps brachii dexter, 8 - M. biceps brachii sinister; * - P≤0,001.

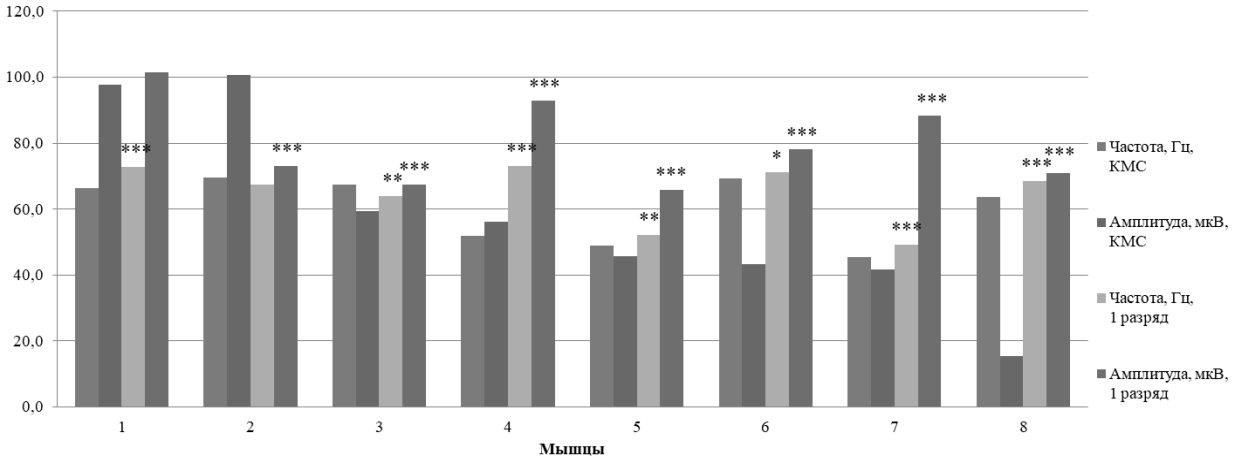


Рисунок 4 - Частота и амплитуда спектра ЭМГ фазы прицеливания в группах спортсменов различной квалификации.

Примечание: 1 - M. deltoideus sinister, 2 - M. deltoideus dexter, 3 - M. trapezius sinister pars ascendens, 4 - M. triceps brachii sinister, 5 - M. trapezius dexter pars ascendens, 6 - M. triceps brachii dexter, 7 - M. biceps brachii dexter, 8 - M. biceps brachii sinister.; * - p≤0,05; ** - p≤0,01; *** - p≤0,001.

Сравнительный анализ кинематических, ЭМГ и ЭЭГ показателей между спортсменами различной квалификации. Общим обязательным для обеих спортивных квалификаций условием точности выстрела явилось сужение зоны распространения изменений мощности колебаний ЭЭГ в левом полушарии и

стабильность данного параметра в правом полушарии (рис. 8). Однако уровень индивидуальной вовлечённости левого полушария, как видно из рис. 8, более высок у КМС, а правого полушария – у перворазрядников. Различиями между спортсменами двух групп таковы:

Различие первое. Маркеры точности ЦД «Выстрел из лука» для КМС – одни, а для перворазрядников – другие. И по ряду параметров - противоположны. Как известно, когда корреляционный анализ выявляет достоверную связь, то это свидетельствует о том, что данная зависимость на 95% безошибочности суждения является, в нашем случае, маркёром точности выстрела. Основной параметр с зеркально-противоположной направленностью корреляций у двух групп исследуемых (табл.) – выраженная связь между точностью попадания и мощностью спектра высокочастотного альфа-ритма в отведении Т3. По результатам нашего корреляционного анализа у КМС увеличение мощности альфа-ритм в Т3 в 1-ю же фазу выстрела детерминирует точность попадания. Это может свидетельствовать о том, что для успешности ЦД более квалифицированного лучника, развития его психических и двигательных качеств, концентрации внимания, координационных способностей организма, во-первых, необходима оптимально сформированная корково-подкорковая церебральная связь, во-вторых, эта физиологическая связь у КМС уже есть. Ведь по данным Жаворонковой Л.А. (2020), генератор альфа-активности ЭЭГ, регистрируемый в височном отделе, залегает в диэнцефалоне, а основной ритм, определяющийся в затылочных областях (например, в отведении О1, где корреляция с успешностью у КМС максимальна, табл.) генерируется неокортикально.

Таблица – Корреляция (R) точности выстрела (очки) лучников разной квалификации (n = 40) с абсолютными значениями мощности спектров ЭЭГ (мкВ^2/с) в динамике выполнения упражнения. Фрагмент

Группа	1 фаза, подготовка				2 фаза, изготовка				6 фаза, прицеливание			
	Отведения ЭЭГ											
	О 1 альфа 1	Fp 1 тета	Т 3 альфа 2	Кросс-спектр Т5 с альфа 1 в О1	О 1 альфа 1	Fp 1 тета	Т 3 альфа2	Кросс-спектр Т5 с альфа 1 в О1	О 1 альфа 1	Fp 1 тета	Т 3 альфа 2	Кросс-спектр Т5 с альфа 1 в О1
КМС n = 20	**0,65***	**0,45***	**0,54***	**0,52***	-0,21	-0,15	**0,47***	-0,35	0,02	**-0,69***	**0,44***	-0,10
1-й разрядn = 20	-0,09	-0,23	**-0,54***	-0,07	0,07	0,07	0,04	0,31	-0,26	-0,32	-0,23	-0,19
Все n = 40	-0,06	0,16	-0,21	-0,09	-0,05	-0,04	-0,07	0,16	-0,21	-0,24	-0,18	-0,17

Примечание: * - $P < 0,05$.

Данное предположение подтверждает показатель кросс-спектра Т5 с альфа 1 в О1, регистрируемый тоже слева и так же связанный с параметром точности по выраженности корреляции и по её направленности. В пользу этого же свидетельствует связь абсолютной мощности альфа-ритма в О1, однонаправленная с корреляцией показателя кросс-спектра и точности выстрела. Судя по обширному синергичному мощностному росту во всем частотном диапазоне «альфа-тета», у КМС в подготовительной фазе задействованы глубинные левополушарные слои неокортекса (альфа-ритм) и поверхностные слои подкорки (тета-активность). Таким образом, можно судить о вовлеченности корково-подкорковых взаимодействий в механизм формирования точности выстрела из лука. В психофизиологическом смысле это –

активизированное взаимоотношение сознания с подсознанием, состояние благоприятное для раскрытия творческих способностей, достижения высоких когнитивных и спортивных результатов, маркирующее точный выстрел в 1-й фазе. Далее, для точного выстрела КМС основной ритм в Т3 удерживает высокую мощность вплоть до фазы прицеливания, а тета-активность в момент прицеливания Fp2 несколько ослабевает по типу «затаивания». Синхронизация БЭАГМ в данный момент доминирует над десинхронизацией. У перворазрядников же такая закономерность не прослеживается. Наоборот, знак единственного достоверного R - противоположный, отрицательный. Это означает: «Чем меньше мощность основного ритма перворазрядника в височном отведении слева в подготовительный период упражнения, тем точнее его выстрел».

Различие второе. Семикратно большее число значимых связей между параметрами ЭЭГ и точностью попадания у КМС по сравнению с перворазрядниками указывает на высокий уровень развития функциональной системы «Стрельба из лука» по мере роста мастерства, о синергичности физиологических процессов при выполнении упражнения более квалифицированными лучниками. Выраженность силы связей обеспечивает сочетание надежности, экономичности нейродинамики с кинематической точностью попадания на фоне повышения запаса прочности целостного организма. Правомочность такой интерпретации подтверждают данные Черенковой Л.В., Бердичевской Е.М. (2018). Авторы, оценив когерентность ЭЭГ каноистов, выявили экономизацию центральных перестроек постуральной регуляции при непроизвольном контроле поддержания «удобной» стойки. В сформированной у КМС специальной функциональной системе ЦД «Стрельба из лука», естественно, проявляются и общие системные свойства: единство, сила взаимосвязей отдельных подсистем, их альтруизм, функциональная и структурная иерархия. У спортсменов 1-го разряда церебральный уровень регуляции будущей (пока ещё не сформированной) системы отличался единственной статистически значимой связью. Значит, их динамические стереотипы находятся пока лишь на начальных стадиях формирования, не до конца выработанные навыки ещё не переросли в профессионализм, в истинное мастерство. И поэтому для точности попадания: бóльшая мощность альфа - и тета-волн ЭЭГ в 1-ю фазу выстрела нужна мастерам, а меньшая - перворазрядникам. На дальнейших фазах у перворазрядников (судя по усредненным нейрокартам) по мере уточнения выстрела продолжает усугубляться сужение топографического представительства альфа-ритма: его мощность становится всё слабее и слабее настолько, что уже точный выстрел требует индивидуального сужения не только альфа-, но и тета-представительства по скальпу. Характер закономерности – преимущественно левосторонний. Вероятно, к моменту прицеливания это обеспечивает психофизиологическое состояние «затаивания», прежде всего, выражающиеся в кратковременном целесообразном торможении мыслительно-логических операций. Чем таковых меньше, тем точнее выстрел. А при этом, на периферическом (нижнем, исполнительном) уровне иерархической системы – мышечная активность, наоборот, реципрокно растет, становится более обширной. То есть, ослабляя свою мощность по ряду параметров ЭЭГ, мозг в данном случае оказывает растормаживающее влияние на мышцы, вызывая у перворазрядников в некотором смысле «излишнюю» избыточную активацию. Именно повышенная активация мышечного аппарата (исполнительного звена, получившего корректирующий сигнал из ЦНС) у менее квалифицированных лучников обеспечивают точный выстрел. Следовательно, перворазряднику нужно приложить больше мышечных усилий, чтобы совершить точный выстрел, и меньше усилий –

чтобы промахнуться. А КМС, наоборот, легче точно выстрелить и сложнее не попасть в цель. Настолько уже выработан профессионализм.

В центральном нервном звене, управляющим мышечным аппаратом, регулирующим и корригирующим его деятельность, - наблюдается зеркальная картина. Для точного выстрела мастера необходима определенная церебральная активация- усиление мощности по ряду параметров ЭЭГ, чтобы мышечная активность была несколько ограничена. У перворазрядников, наоборот, для точности попадания физиологически целесообразно ослабление мощности, особенно высокочастотного основного ритма в левом переднем височном отведении.

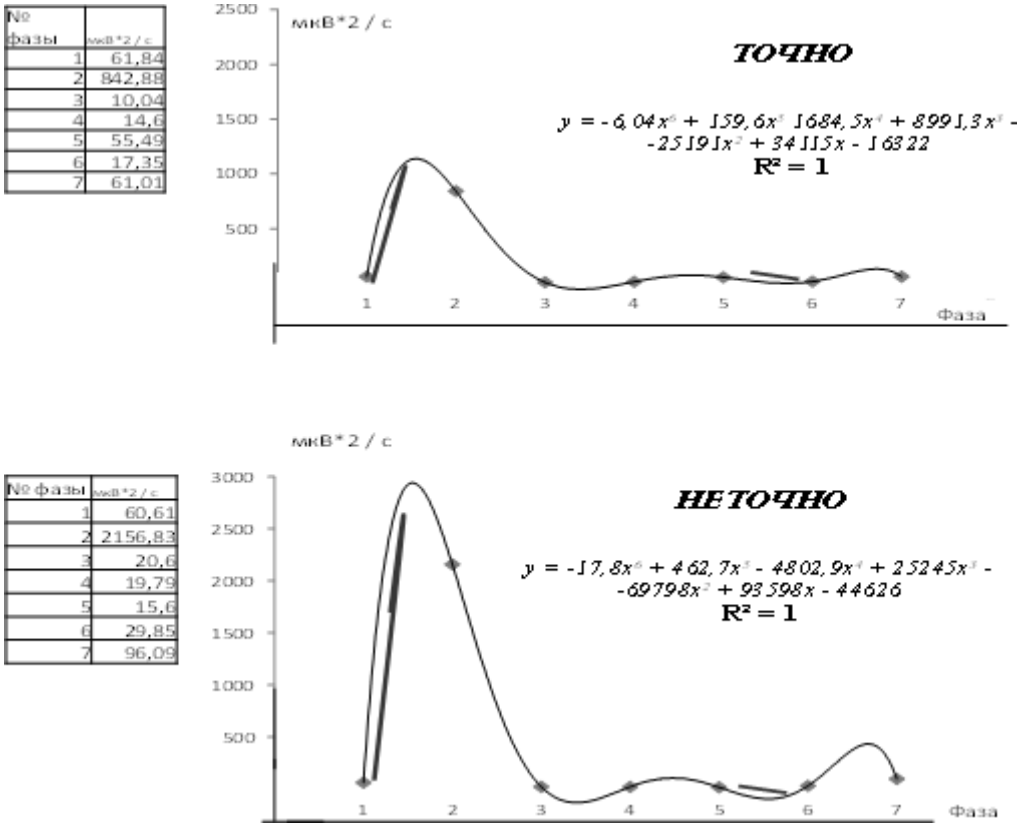


Рисунок 5 - Графики функций, аппроксимирующих зависимость величины абсолютной мощности спектра (мкВ*2 / с, по вертикали) тета-колебаний ЭЭГ в отведении Fp1 от фазы упражнения (по горизонтали) КМС при выстрелах различной точности.

Верхний график - наиболее типичный индивидуальный пример точного выстрела. К-ва, 15 лет. Нижний график – неточный выстрел этого же спортсмена. Точки – отдельные величины параметра испытуемого. Над графиками приведены уравнения полиномиальной функции с коэффициентом детерминированности (R^2). Жирной прямой линией возле плавного графика обозначены фазы, на которых зарегистрированы R ($P < 0,05$) между исследуемым параметров и точностью попадания.

Такое мощностное ограничение дает повышение активации мышц, степени их вовлечённости, обширности мышечных площадей, - для исполнения точного выстрела. Как объяснить эту зеркальность? Почему центральная активация даёт сужение мышечной активности, а церебральное ослабление мощности запускает

растормаживающий эффект? Ответ на этот вопрос мы видим именно в «растормаживании». Мы предположили, что мозговое усиление мощности мастеров либо ослабление мощности перворазрядников в 1-ю фазу выстрела имеет тормозную природу.

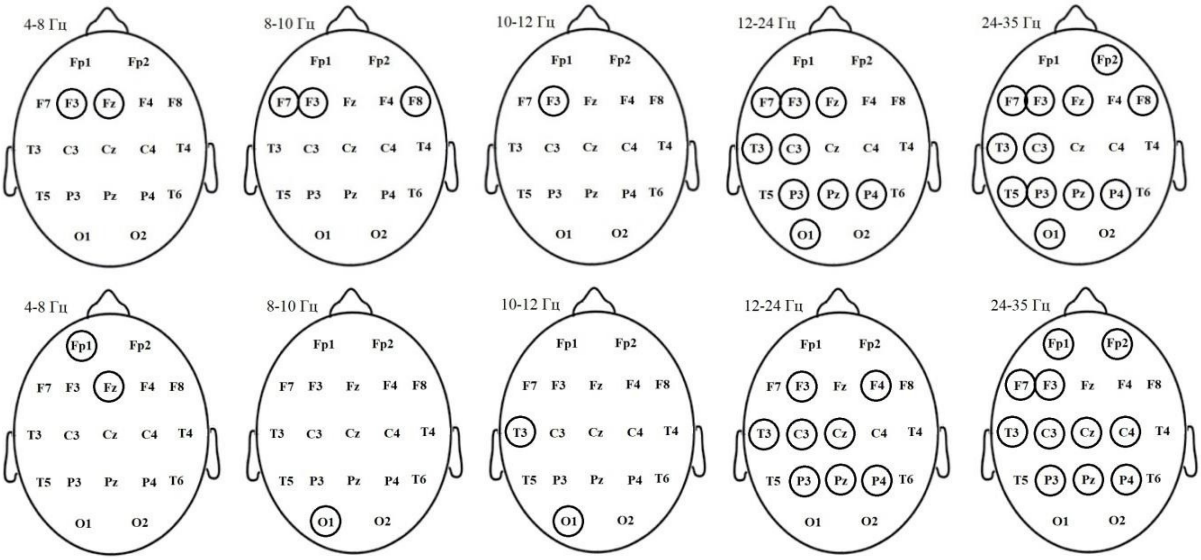


Рисунок 6 - Достоверные (P < 0,05) изменения в отведениях спектра мощности ЭЭГ при выстрелах низкой точности (верхний ряд) и высокой точности (нижний ряд) в группе КМС. Фаза прицеливания.

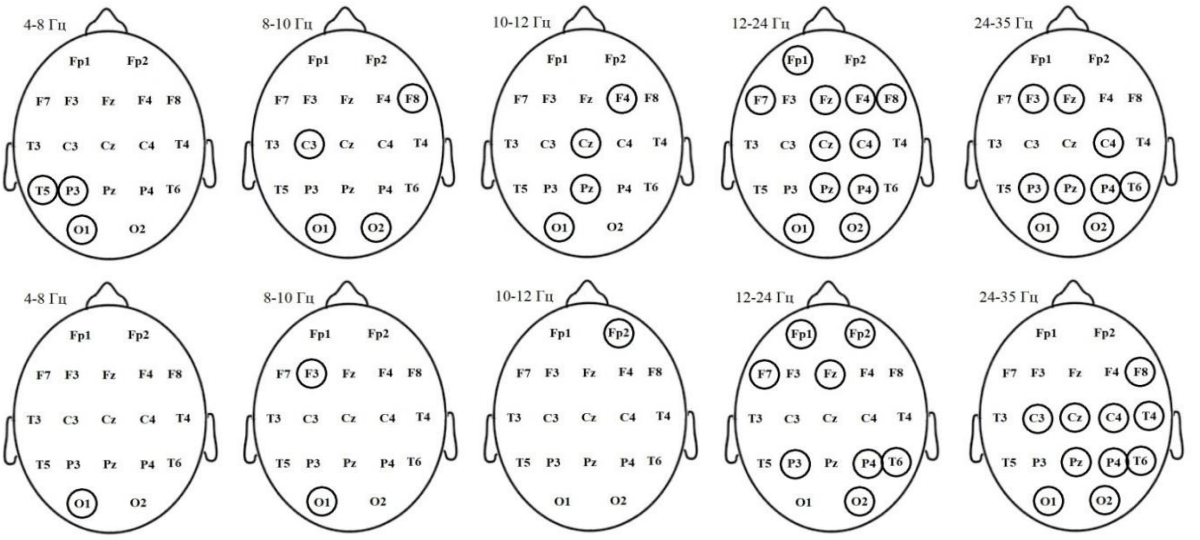
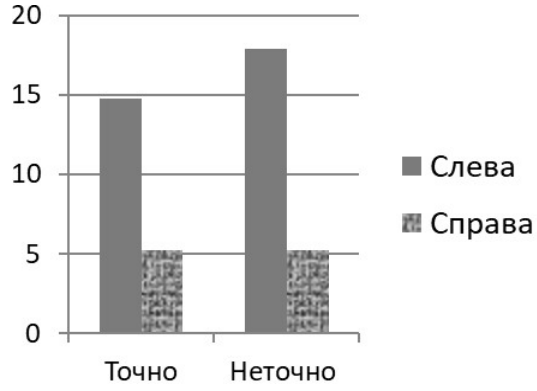


Рисунок 7 - Достоверные (P < 0,05) изменения в отведениях спектра мощности ЭЭГ при выстрелах низкой точности (верхний ряд) и высокой точности (нижний ряд) в группе лучников первого разряда. Фаза прицеливания.

В соответствии с классическими представлениями, торможение – активный нервный процесс, более энергоёмкий, чем возбуждение. Он требует большей мощности ряда церебральных проявлений. Поэтому, чтобы притормозить избыточную мышечную вовлеченность в прицеливание мастера (она мешает ему выполнить точный выстрел), мощность волн альфа-тета диапазона возрастает в височных, лобных и затылочных отделах левого полушария (табл.). Если же у перворазрядников мощность ЭЭГ (альфа-

2 в отведении Т3) ослабевает, то снимаются тормозные влияния на моторику - мышечная активность растормаживается, охват и площадь мышц, вовлечённых в прицеливание, становятся шире. И тогда перворазрядник более точно выполняет выстрел за счет более крупных (чем КМС) мышечных энергозатрат.



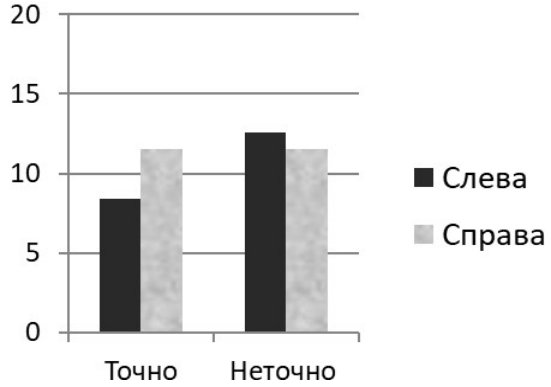


Рисунок 8 - Межполушарная асимметрия степени выраженности распространения мощностных изменений ЭЭГ лучников в фазе прицеливания.

Примечание: по вертикали – процент достоверных (P < 0,05) сдвигов мощности спектров ЭЭГ, усредненных по группам спортсменов разной квалификации: слева – КМС, справа – 1-й разряд. За 100% принято число возможных результативных (P < 0,05) эпизодов изменений спектральной мощности ЭЭГ.

Косвенными, но вескими, на наш взгляд, доказательствами того, что установленная подготовительная мощностная альфа-тета-активация центральных (преимущественно височных) звеньев ЦД «Стрельба из лука», имеет тормозную природу, служат давние и хорошо известные данные литературы. Так, документировано участие гиппокампа (тета-активность которого проецируется в височные отведения) в формировании внутреннего торможения (И.Н. Коваль, Т.Г. Саркисов, 1983), что, по результатам А.И. Карамян и Т.И. Соллертинской (1990), является прогрессивным эволюционным приобретением. Смирновым В.М. (1976) после электростимуляции гиппокампа в 100% случаев описан инактивационный психический статус у людей. Впрочем, инактивирующая направленность гиппокампа распространяется преимущественно на нелимбические структуры мозга. Вероятно, такое гиппокампальное свойство способствует «замиранию», дающему церебральные предпосылки для адекватного психологического настроя лучника и дальнейшую возможность удержать интервал времени прицеливания до конца, и, естественно, сопровождающееся ограничением моторики. Гиппокамп обеспечивает длительное протекание следовых процессов в микро- и макроинтервалах времени (О.С. Адрианов, 1995; T. Otto, 1991), специфически участвует в формировании аутохронометрии (Водолажская М.Г., 2003), столь необходимой для успешности лучника. Что касается альфа-активности, тесно связанной с гиппокампальными тета-волнами при усилении корково-подкорковых взаимодействий, то ее сдвиги можно объяснить с позиции тормозной теории индуцированной синхронизации альфа-ритма (A. Finketal., 2006; Min B.K., Hermann C.S.,2007; Яковенко И.А. и соавт., 2016). При подъеме амплитуды основного ритма происходит торможение нервно-психической деятельности как защита от индуцированных негативных стимулов. Торможение развивается при необходимости задержать произвольную реакцию, что трактуется как контроль лобных структур (Klimech W et al., 2007; Bazanova O.M., Vernon D., 2013). В соответствующих

корковых системах, в основном, – кортико-гиппокампальных и таламо-кортикальных - замедляется метаболизм (Feige B. et al., 2005). При этом задача регулируется преимущественно внутренним состоянием «Top-down-cognitive-control», вероятно, формирующимся с участием тормозного медиатора гамма-аминомасляной кислоты (ГАМК), находящегося, как известно, в одном метаболическом шаге от цикла Кребса: альфа-кетоглутаровая кислота → глютаминовая кислота → ГАМК. Это указывает не только на субстратно-медиаторную связь, но и на зависимость локального биоэнергетического обмена в мозге от состояния всей ЦНС (Рослый И.М. и соавт., 2020-2025). Так, вероятно, реализуются пусковые и корригирующие церебральные влияния, формирующие кинетику 3-й, 4-й, 5-й и, особенно, 6-й и 7-й фаз выстрела из лука.

У перворазрядников точное попадание совпадало с троекратным сужением представительства тета-активности (по сравнению с неточным выстрелом) и тоже ограничивалось лишь левой затылочной долей. Можно было думать о невовлечённости тета-волн ЭЭГ и диэнцефального уровня их генератора в механизм формирования точности спортсменов 1-го разряда. Но оценка фаз предварительной подготовки (а не только прицеливания) позволила детализировать направленность участия. Выявлено, что тета-диапазон волн ЭЭГ подключается раньше, уже на 1-й (подготовительной) фазе, о чем свидетельствует выраженная корреляция точности с параметром ЭЭГ в левом височной отведении (T3O2). Судя по суммарным топографическим картам прицеливания перворазрядников, можно предположить, что источник тета-волн из задне-височного отведения слева по ходу выполнения упражнения смещается в задне-переднем направлении: от T5 - к T3. При этом тета-диапазон трансформируются в основной ритм, постепенно ослабевает (его мощность падает), что и предопределяет точность выстрела.

Наши данные о межполушарной асимметрии стрелков из лука согласуются со сведениями о том, что представители этого вида спорта являются абсолютными правшами. Как известно, правши характеризуются надежной регуляцией устойчивости прямостояния на ведущей (правой) опоре. При произвольном постуральном контроле у них определена достоверная право-левая асимметрия параметров стабилокинезиограммы для правой и левой опоры (Бердичевская Е.М., 2008). Правши, как правило, обладают хорошей способностью к умственной и физической выносливости, что важно для результативности такого монотонного вида спорта, как стрельба из лука.

Различие третье касается исполнительного компонента (аппаратов реакции) функциональной системы «Стрельба из лука». Длина дотяга, скорость прохождения стрелы из-под кликера, средняя площадь ЭМГ по всем исследуемым мышцам, частота в левой дельтовидной мышце во время прицеливания у КМС меньше, чем у перворазрядников.

Комплексный сравнительный анализ кинематических, электромиографических и нейрофизиологических закономерностей, детерминирующих физиологический механизм точности выстрела лучников, показал, что кандидату в мастера спорта по стрельбе из лука легче точно попасть в цель, чем совершить неточный выстрел. Мощностная церебральная активация подготовительных этапов выстрела предопределяет экономичность локомоторного исполнения упражнения. И, наоборот, менее квалифицированному стрелку легче (ценой относительно меньших мышечных усилий) совершить неточный выстрел, чем точно попасть в цель. Мощностное ослабление активности нервных центров произведения выстрела из лука растормаживает двигательный эффект. Закономерность по ряду компонентов принципиально совпадает с данными современной литературы: траектория движений

и скорость перемещения регистрируемых антропометрических точек больше при неточных выстрелах из лука (Пухов А.М. и соавт., 2016). И, действительно, выстрел из лука, не смотря на значительные мышечные усилия, должен содержать как можно меньше движений и быть максимально расслабленным (Л.В. Тарасова, 2014). Наши данные идентифицируют это «расслабление» и/или «затаивание» и вносят новые детали в его физиологический механизм. Объективизировано сужение зоны распространение изменений мощности колебаний ЭЭГ в левом полушарии, ограничение тета-активности ЭЭГ в отведении Fp1, усиление корково-подкорковых взаимодействий, необходимое для оптимального психофизиологического настроя в период предварительной подготовки к выстрелу.

Показано, что иерархические этажи механизма реализации ЦД «Стрельба из лука» (церебральный и мышечный) у представителей различных квалификации характеризуются почти зеркальными проявлениями. Для точности попадания мозговые субстанции у КМС своим усилением мощностной активности дают команду мышцам по сдерживанию их чрезмерных усилий. В итоге у мастеров точность попадания достигается относительно легко. А излишние мышечные усилия приводят к неточному выстрелу. И, наоборот, у перворазрядников церебральные нервные центры ЦД своим ослаблением мощностной активности дают растормаживающую команду мышцам и приводят к их активации. В итоге у менее квалифицированных спортсменов точность попадания достигается более напряженно, более энергозатратно, чем у мастеров. А меньшие мышечные усилия перворазрядников чаще приводят к неточному выстрелу.

Таким образом, оптимальная активность, взаимодействие и функциональное перераспределение описанных церебральных (корково-подкорковых) областей, начиная с подготовительных стадий выполнения упражнения, и мышц, вовлечённых в ЦД, обеспечивает высшую точность выстрела из лука.

Маркирующие моменты, установленные в настоящем исследовании, совпали с началом (запуском) «Афферентного синтеза» и «Принятия решений» специальной функциональной системы ЦД лучника. В соответствии с принципом системного квантования жизнедеятельности К.В. Судакова, выявленные маркёры явились физиологическими показателями перехода одних системных «квантов» (фаз спортивного упражнения) - в другие. Это дает основание считать установленные особенности электрической активности головного мозга и мышечной системы в различные периоды становления ЦД при стрельбе из лука – новыми фактами для пополнения представления о физиологической основе спортивного совершенствования лучника. В соответствии с другим принципом - изоморфизма («Организация различных функциональных систем в организме принципиально одинакова»), в функциональной системе «Стрельба из лука» не зависимо от квалификации и точности попадания есть пять компонентов: 1) полезный приспособительный результат - выстрел в цель; 2) акцептор результата (аппарат контроля). Показателями его деятельности являются корреляции между ЭЭГ-параметрами и будущей точностью выстрела, как элементы прогнозирования успешности в достижении результата, синергичности физиологических процессов. У КМС этих связей в 7 раз больше, чем у перворазрядников; 3) обратная афферентация, поставляющая информацию от рецепторов в центральное звено; 4) центральная архитектоника – избирательное объединение нервных субстанций разных уровней в специализированные узловые механизмы в виде моторных зон коры больших полушарий, глубоких слоёв неокортекса, анатомически и функционально контактирующих с диэнцефалоном, в частности, субэнцефальными образованиями (гиппокампом, септумом, поясной извилиной с возможным вовлечением ГАМК-

энергических процессов); 5) исполнительные компоненты (аппараты реакции) – группы исследованных скелетных мышц, реализующие ЦД «Стрельба из лука», его вегетативный, эндокринный, поведенческий аккомпанемент.

Вместе с тем есть и отличия, которые обусловлены характером результата (в нашем случае, это - точный либо неточный выстрел), и, конечно, квалификацией спортсмена. Однако, судя по нашим данным, две специальные функциональные системы «КМС» и «1-го разряда», не разобщены полностью. Они являются физиологически родственными, диалектически взаимосвязанными состояниями, находящимися в динамическом перестроении, в перманентном переходе (в основном, однонаправленном) у каждого спортсмена индивидуально. И представляют собой этапы однонаправленного, гетерохронного, поступательного развития мастерства, обратимость либо необратимость которого зависит от доминирующей социальной потребности субъекта.

ВЫВОДЫ

1. В процессе реализации физиологического механизма формирования целенаправленного движения «Выстрел из лука» выделяется три основных функциональных периода и семь фаз, каждый из которых служит базой для последующих. Первый период предварительной подготовки включает две фазы: подготовительную и фазу изготовки. Является функционально значимым, так как формирует позную устойчивость. Второй динамический период: фаза установки, основного натяжения и укладки. Происходит повышение активности всех ведущих мышц при динамическом их сокращении. Третий период зрительно-моторной коррекции состоит из фазы прицеливания и выстрела. Является ответственным за точность выстрела, связан с контролем сенсомоторных и вегетативных функций по показателям ЭМГ, ЭЭГ, ЭКГ и пневмограммы. Периоды и фазы определяются по реперным точкам передвижения в пространстве суставов верхних конечностей, электрической активности скелетных мышц и головного мозга. На основе анализа синхронной регистрации кинематических, электромиографических и нейрофизиологических параметров обоснована значимость следующих физиологически маркирующих этапов: период предварительной подготовки (в котором начинается формирование нейрофизиологического паттерна будущей точности попадания) и фаза прицеливания, характер которой определяет уровень точности выстрела.

2. Точные выстрелы КМС (по сравнению с неточными) сопровождаются энергоэкономичным снижением частоты ($p \leq 0,05$) и отсутствием амплитудного всплеска M. Triceps brachii sinister. При неточных попаданиях частота M. Deltoideus sinister и M. Biceps brachii dexter уменьшается на последней секунде фазы прицеливания по сравнению с первой секундой. Время прицеливания и рейтинг функциональной вовлечённости мышц не предопределяют точность выстрела не зависимо от квалификации лучника. Точные выстрелы перворазрядников (по сравнению с неточными) характеризуются энергозатратным увеличением частоты на фоне амплитудного всплеска M. Biceps brachii dexter, M. Trapezius sinister parsascendens, повышающих цену адаптации к нагрузкам. При точных выстрелах лучников 1-го разряда (в отличие от КМС) зарегистрирована большая активация мышц, чем при низкоточных выстрелах.

3. Кинематическими и электромиографическими маркерами реализации успешных выстрелов из лука являются: средняя площадь ЭМГ по всем исследуемым группам мышц и ее динамика между первой и последней секундой фазы

прицеливания; соотношение направленности амплитудно-частотных сдвигов на ЭМГ. Менее квалифицированные спортсмены (при сравнении с КМС) характеризуются: большей площадью ЭМГ исследуемых мышц, за исключением дельтовидных; более резким усилением электрической активности нижних частей двуглавых и трапециевидных мышц к концу фазы прицеливания; большей амплитудой и частотой спектра ЭМГ всех мышц, кроме дельтовидных. Только у более квалифицированных спортсменов к концу фазы прицеливания повышается амплитуда при снижении частоты в исследуемых группах мышц – соотношение, характеризующее оптимальную энергоэкономичную приспособительную целенаправленность движений, необходимую для формирования силовой выносливости лучника.

4. Электроэнцефалографическими маркерами точных выстрелов из лука КМС являются: плавное усиление спектральной мощности тета-колебаний в отведении Fp1 в фазу подготовки, и затем ослабление его мощности в фазу прицеливания; альфа-ритм, топографически выявляемый в отведениях O1 и T3 в момент прицеливания, увеличивающий свою спектральную мощность, начиная с двух предварительных подготовительных фаз упражнения. Отсутствие данной динамики показателей основного ритма ЭЭГ в момент прицеливания характерно для низкоточных выстрелов. Электроэнцефалографическим маркером точного выстрела из лука спортсменов низкой квалификации в подготовительной фазе упражнения является ослабление мощности высокочастотных альфа-колебаний в переднем височном отведении слева. Маркёром фазы прицеливания является сужение скальпового представительства: высокочастотных альфа-колебаний со смещением неокортикальных зон от затылочно-теменно-центральных и задне-лобных отделов к правому передне-лобному отведению; низкочастотных альфа-колебаний, их левосторонняя концентрация в зрительных и фронтальных зонах; тета-активности и её концентрация в левой зрительной зоне.

5. Общим межквалификационным условием точности выстрела является сужение зоны распространения изменений мощности колебаний ЭЭГ в левом полушарии и стабильность данного параметра в правом полушарии. Уровень вовлеченности левого полушария более высок у КМС, а правого полушария – у перворазрядников. Корреляция между точностью попадания и мощностью спектра высокочастотного альфа-ритма ЭЭГ в левом височном отведении в подготовительную фазу выстрела: у КМС - положительная, у перворазрядников - отрицательная. Большее число значимых связей между параметрами ЭЭГ и точностью попадания у КМС по сравнению с перворазрядниками свидетельствует о повышении уровня формирования функциональной системы ЦД «Стрельба из лука» по мере роста мастерства, о синергичности физиологических процессов (функционирования мышц, нервных центров). В исполнительном компоненте функциональной системы «Стрельба из лука»: длина дотяга, скорость прохождения стрелы из-под кликера, средняя площадь ЭМГ по всем исследуемым мышцам, частота в левой дельтовидной мышце во время прицеливания у КМС меньше, чем у перворазрядников, что указывает на более энергоэкономичное достижение полезного приспособительного результата у КМС по сравнению энергозатратной адаптированностью к соревновательным условиям перворазрядников.

6. Точное попадание в цель КМС менее энергозатратно, чем произведение им неточного выстрела. Мощностная церебральная активация подготовительных этапов выстрела детерминирует экономичность мышечного исполнения упражнения: снижается число степеней свободы функциональной системы, оптимизируются характер энергообеспечения и управление, повышаются возможности достижения результата. И, наоборот, менее квалифицированный стрелок совершает неточный

выстрел ценой относительно меньших мышечных усилий по сравнению с точным попаданием в цель. Мощностное ослабление активности нервных центров растормаживает локомоторный эффект. Переход к более высокой спортивной квалификации представляет собой подъем на качественно иной уровень электрофизиологической активности мозга и нервно-мышечной системы.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Комплексный анализ ЦД дает возможность тренерам, а также другим специалистам по виду спорта, определять как уровень функционального состояния спортсмена, так и стадию формирования двигательного навыка по различным биологическим маркерам для внесения коррекции в тренировочных процесс спортсмена.
2. Комплекс кинематических и электрофизиологических маркеров развертывания спортивного упражнения позволит тренеру сформировать необходимую модель выполнения спортивного упражнения индивидуально для каждого спортсмена; выявить ошибки в технической подготовке, которые внешне никак не проявляются.
3. На основе анализа биоэлектрической активности мышц появляется возможность вносить как текущую, так и долгосрочную коррекцию специальной технической подготовки в тренировочный план спортсмена.
4. Выявленные в ходе исследования электрофизиологические маркеры высокоточных выстрелов можно использовать в процессе предстартовой психологической подготовки лучника, а также для комплексной методики с биологической обратной связью (БОС), которая в конечном итоге повысит спортивный результат. К примеру, усилить мощность тета-ритма ЭЭГ, необходимую для воспроизведения выстрела, возможно, с помощью альфа-тета-БОС-тренинга, как варианта нейробиоуправления либо в тренерской работе с помощью развития творческого, креативного начала спортсмена с внесением элементов новизны, активирующей тета-волны ЭЭГ.
5. Долгосрочный анализ динамики комплекса исследуемых маркеров ЦД позволит более точно экстраполировать спортивный результат.
6. Выявленные биологические маркеры точности ЦД спортсмена лучника могут быть использованы в академических исследованиях научных лабораторий для дальнейшей расшифровки физиологических механизмов адаптации организма спортсменов, а так же явиться основанием для расширения и конкретизации комплекса физиологического обследования с целью оперативного медико-биологического контроля, своевременной спортивной ориентации и отбора в стрелковом спорте.
7. Материалы исследования послужат дополнительной фактологической иллюстрацией работы функциональных систем целостного организма с целью достижения полезного приспособительного результата в учебном процессе преподавания физиологических дисциплин в вузе.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. **Шестаков, О.И.** Биомеханические параметры как системообразующий фактор, обеспечивающий взаимосвязи физиологических функций и определяющий успешность целенаправленных движений человека на примере стрельбы из лука / А.Б. Трембач, О.И. Шестаков, А.А. Скоморохов, Т.В. Пономарева // Научно-методический журнал «Физическая культура, спорт – наука и практика». –2016. - № 1. – С. 72-75.
2. **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, Е.Р. Миниханова, А.Б. Трембач // Научно-методический журнал «Физическая культура, спорт – наука и практика». – 2017. - № 4.- С. 70-75.
3. **Шестаков, О.И.** Нейрофизиологические механизмы, определяющие точность и устойчивость целенаправленных движений на примере стрельбы из лука / А.Б. Трембач, О.И. Шестаков, Т.В. Пономарева, Е.Р. Миниханова // Научно-методический журнал «Физическая культура, спорт – наука и практика». – 2018. - № 4. – С. 82-87.
4. **Шестаков, О.И.** Периоды и фазы становления целенаправленного движения спортсмена на основе биологических маркеров / А.Б. Трембач, О.И. Шестаков, Т.В. Пономарева, Е.Р. Миниханова // Научно-теоретический журнал «Теория и практика физической культуры». – 2018. - № 10. – С. 79-81. (Scopus)
5. **Шестаков, О.И.** Нейрофизиологические механизмы целенаправленных движений различной точности на примере стрельбы из лука у высококвалифицированных спортсменов / А.Б. Трембач, О.И. Шестаков // Международный научно-технический журнал «Наукоемкие технологии». – 2019. - № 5. – С. 29-36.
6. **Шестаков, О.И.** Электрофизиологические корреляты точности выстрела лучников разной квалификации / О.И. Шестаков, А.В. Пухов // Журнал медико-биологических исследований. – 2024. Т. 12, No 2. – С. 201-210.
7. **Шестаков, О.И.**Особенности активности мышц при различных захватах тетивы классического лука / Пухов А.М., Тарнаков Д.П., Шестаков О.И. // Научно-методический журнал «Физическое воспитание и спортивная тренировка». – 2024. - № 3(49).- С. 162-168.
8. **Шестаков, О.И.** Межполушарная асимметрия и межполушарное взаимодействие в организациях центрального управления выстрелом у квалифицированных стрелков из лука / О.И. Шестаков, Е.М. Бердичевская // Научно-методический журнал «Физическая культура, спорт – наука и практика». – 2025. - № 1. – С. 117-121.

Публикации в других изданиях:

9. **Шестаков, О.И.** Динамика мощности спектра ЭЭГ в последовательные временные интервалы прицеливания на примере стрельбы из лука / А.Б. Трембач, Т.В. Пономарева, М.А. Липатникова, О.И. Шестаков, Е.Р. Миниханова // Материалы научной и научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава КГУФКСТ (Краснодар, 21-27 июня 2016 г.). - Краснодар, Изд-во РИО КГУФКСТ, 2016. – С.160-171.
10. **Шестаков О.И.** Электрофизиологические корреляты центральных программ, определяющих уровень точности целенаправленных движений на примере стрельбы из лука у спортсменов опорно-двигательного аппарата / О.И. Шестаков //

Материалы ежегодной отчетной научной конференции аспирантов и соискателей КГУФКСТ. – Краснодар, Изд-во РИОКГУФКСТ, 2016. - №1. – С. 266-270.

11. **Шестаков О.И.** Сравнительный анализ межцентральных связей электроэнцефалограммы при стрельбе из лука с различной точностью попадания в цель у спортсменов с поражением опорно-двигательного аппарата / А.Б. Трембач, С.П. Лавриченко, О.И. Шестаков, Т.В. Пономарева, М.А. Липатникова, Е.Р. Миниханова // Материалы конф.: Адаптивная физическая культура, спорт и здоровье: интеграция науки и практики (Уфа, 12-14 октября 2016 г.). – Уфа, Изд-во Башкирский институт физической культуры, 2016. – С. 352-357.

12. **Шестаков О.И.** Нейрофизиологические механизмы целенаправленных движений различной точности на примере стрельбы из лука / О.И. Шестаков, А.Б. Трембач // Материалы ежегодной отчетной научной конференции аспирантов и соискателей КГУФКСТ. – Краснодар, Изд-во РИО КГУФКСТ, 2017. - №1. – С. 355-360.

13. **Шестаков О.И.** Электрофизиологическая характеристика целенаправленных движений человека в зависимости от их точности и стабильности результата / А.Б. Трембач, О.И. Шестаков, С.В. Лавриченко, Е.Р. Миниханова, А.А. Олефиренко // Материалы научной и научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава КГУФКСТ. – Краснодар, Изд-во РИО КГУФКСТ, 2017. – С. 196-198.

14. **Шестаков О.И.** Комплексный анализ биомеханических, электромиографических и электроэнцефалографических показателей при стрельбе из лука высококвалифицированных спортсменов / А.Б. Трембач, О.И. Шестаков, Т.В. Пономарева, Е.Р. Миниханова, М.А. Липатникова // Современные методы организации тренировочного процесса, оценки функционального состояния и восстановления спортсменов: Материалы Всероссийской научно-практической конференции (Челябинск, 24-25 октября 2017 г.). – Челябинск, Изд-во УралГУФК, 2017. – Т. 1. – С. 297-300.

15. **Шестаков О.И.** Зависимость точности целенаправленных движений человека от пространственного распределения нейронных сетей с различной частотой импульсации / А.Б. Трембач, О.И. Шестаков, Т.В. Пономарева, С.П. Лавриченко, Е.Р. Миниханова // Материалы XXIII съезда Физиологического общества имени И.П. Павлова (Воронеж). – Воронеж, Изд-во «ИСТОК», 2017. – С. 2066-2068.

16. **Шестаков О.И.** Корковый контроль точности целенаправленных движений человека: электроэнцефалографический анализ / А.Б. Трембач, О.И. Шестаков, Т.В. Пономарева, Е.Р. Миниханова // Нейронаука для медицины и психологии: 13-й Международный междисциплинарный конгресс. (Судак, Крым, 30 мая – 10 июня 2017 г.). – М., Изд-во ООО «МАКС Пресс», 2017. – С 404-405.

17. **Шестаков О.И.** Электроэнцефалографические эндофенотипы при прицельных движениях человека на примере стрельбы из лука / О.И. Шестаков, Е.Р. Миниханова, А.Б. Трембач // Материалы VIII Международной научной конференции студентов и молодых ученых «Университетский спорт: здоровье и процветание нации» (Улан-Батор, 20-21 апреля 2018 г.). – С. 214-217.

18. **Шестаков, О.И.** Функционально значимые периоды при целенаправленных движениях человека на примере стрельбы из лука / А.Б. Трембач, О.И. Шестаков, Т.В. Пономарева, Е.Р. Миниханова // Нейронаука для медицины и психологии: 14-й Международный междисциплинарный конгресс (Судак, Крым, Россия; 30 мая – 10 июня 2018 г.). - М., Изд-во ООО «МАКС Пресс», 2018. – С. 456-457.

19. **Шестаков, О.И.** Корковый контроль при формировании целенаправленных движений: первичные, вторичные, третичные поля и их взаимосвязь / А.Б. Трембач, О.И. Шестаков, Т.В. Пономарева, С.П. Лавриченко, Е.Р. Миниханова, А.В. Полтавченко // Материалы научной и научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава КГУФКСТ (Краснодар, 2018 г.). – Краснодар, Изд-во РИО КГУФКСТ, 2018. – С. 202-203.

20. **Шестаков, О.И.** Фазы развертывания целенаправленного движения на примере стрельбы из лука и определяющие их биологические маркеры / О.И. Шестаков, А.Б. Трембач // Материалы ежегодной отчетной научной конференции аспирантов и соискателей КГУФКСТ (Краснодар, 2018 г.). – Краснодар, Изд-во РИО КГУФКСТ, 2018. - №1. – С. 231-235.

21. **Shestakov, O.I.** Biological markers of doal-directed movements of varying precision and stability on the example of archery of highly-skilled athletes / A.B. Trembach, O.I. Shestakov, E.R. Minikhanova / Materials of the International Conference “Scientific research of the SCO countries: synergy and integration” (Beijing, PRC, 31 July 2019). – P. 149-154.

22. **Шестаков, О.И.** Электроэнцефалографические корреляты центральных программ, определяющих их точность и устойчивость на примере стрельбы из лука / А.Б. Трембач, О.И. Шестаков, С.В. Фомиченко, Т.В. Пономарева, С.П. Лавриченко, М.А. Липатникова, Е.Р. Миниханова, Е.А. Иващенко // Научные труды II объединенного научного форума «VI съезд физиологов СНГ». Т. 1 (Сочи, Дагомыс, 1–6 октября 2019 г.). – М. Изд-во «Перо», 2019. – С. 99-100.

23. **Шестаков, О.И.** Электрофизиологические корреляты при целенаправленных движениях в зависимости от их точности и устойчивости на примере стрельбы из лука / А.Б. Трембач, О.И. Шестаков, Т.В. Пономарева, Е.Р. Миниханова // Нейронаука для медицины и психологии: 15-й Международный междисциплинарный конгресс (Судак, Крым, Россия; 30 мая – 3 июня 2019 г.). - М., Изд-во ООО «МАКС Пресс», 2019. – С. 408-409.

24. **Шестаков, О.И.** Сравнительный анализ корковой электрической активности при прицеливании различной точности у высококвалифицированных спортсменов на примере стрельбы из лука / А.Б. Трембач, О.И. Шестаков, Е.Р. Миниханова, Т.В. Пономарева, С.П. Лавриченко // Материалы научной и научно-методической конференции профессорско-преподавательского состава КГУФКСТ (Краснодар, 18-20 сентября 2019 г.) – Краснодар, Изд-во РИО КГУФКСТ, 2019. – С. 225-226.

25. **Шестаков, О.И.** Динамика корковой электрической активности при прицеливании у лучников различной квалификации / О.И. Шестаков, А.Б. Трембач // Материалы Ежегодной отчетной научной конференции аспирантов и соискателей КГУФКСТ (Краснодар, 2020 г.). – Краснодар, Изд-во РИО КГУФКСТ, 2020. - С. 150-156.

26. **Шестаков, О.И.** Методология как основа современного образовательного процесса / О.И. Шестаков // Этнопедагогический ежегодник: сборник научных статей. В. 12 (Чебоксары, 2021 г.). – Чебоксары, Изд-во Чувашский Гос. Пед. Ин-т им. И. Я. Яковлева, 2021. – С. 42-49.

27. **Шестаков, О.И.** Электромиографические маркеры целенаправленных движений на примере стрельбы из лука / О.И.Шестаков // Сборник статей IV Международной научно-практической конференции «Шаг в науку» (Грозный, 15 октября, 2021 г.). – Грозный, Изд-во Чеченский государственный педагогический университет; АЛЕФ, 2021. – С. 171-173.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

БЭАГМ	биоэлектрическая активность головного мозга
ДДА	датчик двигательной активности
ДЕ	двигательная единица
КМС	кандидат в мастера спорта
ЦД	целенаправленное движение
ЦНС	центральная нервная система
ЧСС	частота сердечных сокращений
ЭКГ	электрокардиограмма
ЭМГ	электромиограмма, электромиография, электромиографический
ЭОГ	электроокулограмма, электроокулографический
ЭЭГ	электроэнцефалограмма, электроэнцефалография, электроэнцефалографический
Fp1	левое переднее лобное отведение ЭЭГ
Fp2	правое переднее лобное отведение ЭЭГ
O1	левое затылочное отведение ЭЭГ
O2	правое затылочное отведение ЭЭГ
T3	левое переднее височное отведение ЭЭГ
T4	правое переднее височное отведение ЭЭГ
T5	левое заднее височное отведение ЭЭГ
T6	правое заднее височное отведение ЭЭГ.