

МИНИСТЕРСТВО СПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ, СПОРТА И ТУРИЗМА»

На правах рукописи

ШЕСТАКОВ ОЛЕГ ИГОРЕВИЧ

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

Специальность 1.5.5 – физиология человека и животных

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Научный руководитель:
доктор медицинских наук, профессор
Бердичевская Елена Маевна

Краснодар – 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
ГЛАВА 1 ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ ЦЕЛЕНАПРАВЛЕННЫХ ДВИЖЕНИЙ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ).....	14
1.1 Общая характеристика физиологических механизмов целенаправленных движений	14
1.2 Кинематические особенности целенаправленных движений в стрельбе из лука.....	18
1.3 Электромиографическая характеристика выполнения прицельного движения - выстрела из лука.....	29
1.4 Электроэнцефалографические параметры, регистрируемые при стрельбе из лука.....	33
ГЛАВА 2 ОРГАНИЗАЦИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	40
2.1 Контингент и организация исследования.....	40
2.2 Методы исследования.....	42
ГЛАВА 3 ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЦЕЛЕНАПРАВЛЕННЫХ ДВИЖЕНИЙ В СТРЕЛЬБЕ ИЗ ЛУКА (РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ).....	52
3.1 Пространственно-временные интервалы при разворачивании спортивного упражнения «Стрельба из лука».....	52
3.2 Динамика кинематических, ЭМГ и ЭЭГ показателей у лучников различной квалификации.....	61
3.2.1 Комплексный анализ показателей мышечной системы и электрофизиологической активности головного мозга и при выстрелах различной точности у спортсменов высокой квалификации.....	63
3.2.2 Комплексный анализ показателей мышечной системы и электрофизиологической активности головного мозга и при выстрелах различной точности у спортсменов низкой квалификации.....	83
3.2.3 Сравнительный анализ показателей мышечной системы и электрофизиологической активности головного мозга между спортсменами различной квалификации.....	101
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	117
ВЫВОДЫ.....	136
ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ.....	140
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	142
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....	181
ПРИЛОЖЕНИЕ.....	182

ВВЕДЕНИЕ

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 (Бердичевская Е.М., Тришин Е.С., 2020). Сочетание и выраженность вышеупомянутых

физиологических свойств, обеспечивающих успешность ЦД лучника, неодинаковы у спортсменов разной квалификации. Но в доступной литературе межквалификационные различия стрелков из лука представлены недостаточно. Требуется более детальное, углубленное изучение данного вопроса в зависимости от квалификации лучника при выстрелах различной точности, в частности выявление конкретных электроэнцефалографических и электромиографических особенности, 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 и др.). Перечисленные направления развиваются и применительно к физиологии данного вида спорта, но без комплексного их сочетания. Поэтому в настоящем исследовании мы сочли целесообразным осуществить комплексное изучение кинематических, ЭМГ и ЭЭГ особенностей данной модели, подразумевая теснейшую 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 (С. D. Percio et al., 2009; С. 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. Loze et al., 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 - КСМ. 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 формирования 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.

Методология и методы исследования. Теоретико-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. Научные закономерности выявлены в компактной группе правшей, которыми и являются квалифицированные лучники.

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.

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. Экспериментальные данные обрабатывали при помощи Statistica 10.0. Вычисляли следующие статистические параметры: среднее арифметическое (M), ошибка среднего арифметического ($\pm m$). Достоверность различий исследуемых 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 аппроксимационного сравнения вычисляли коэффициент детерминированности (R^2), нормируемый от 0 до 1, который служил показателем достоверности аппроксимации. Различия считали статистически достоверными в случае достижения двустороннего уровня значимости $p < 0,05$.

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 также получили своё отражение 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 некортикально генерируемых и более медленных диэнцефально генерируемых колебаний ЭЭГ, значимым для механизма формирования точности выстрела лучника), достигаемой с помощью нативной оптимизации корково-подкорковых церебральных взаимодействий, набирающих силу в процессе обретения 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, Региональной спортивной общественной организации «Федерация стрельбы из лука Красноярского края», Региональной общественной организации

«Федерация стрельбы из лука Республики Адыгея». Результаты исследования можно использовать в образовательном процессе вузов различной направленности в рамках преподавания дисциплин «Физиология», «Физиология спорта» и «Основы нейрофизиологии».

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: продолжающееся 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. Большое 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.

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), 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, проведен эксперимент, 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.

ГЛАВА 1 ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ ЦЕЛЕНАПРАВЛЕННЫХ ДВИЖЕНИЙ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

1.1 Общая характеристика физиологических механизмов целенаправленных движений

На современном этапе физиологических исследований целенаправленные движения, как и многие другие функции, изучаются в масштабах целостного организма (Островский М.А., 2017). Наиболее полная системная концепция движений разработана российским и американским физиологами Гурфинкелем В.С. и его соавт. (1965 - 2011). В соответствии с представлениями, ставшими уже академическими, опорно-двигательный аппарат является, прежде всего, одним из объектов управления ЦНС.

Скелетно-мышечная система взаимодействует с внешним миром, поэтому целенаправленная регуляция локомоторным актом невозможна без согласования активности многих мышц (Ivanenko Y., Gurfincel V.S. 2018). Характер такого согласования предопределяется двигательной задачей, для формирования которой ЦНС должна располагать информацией. Чтобы целенаправленное движение было точным и успешным, должно осуществиться планирование, преобразование и затем - исполнение двигательной программы (желательно, с участием двигательной памяти) многими структурами на разных этажах ЦНС, находящихся друг с другом в иерархических взаимоотношениях. ЦНС координирует звенья кинематической цепи, сужая и упрощая задачу. Достигается это двумя путями: коактивацией (по сути, синхронизацией) мышц антагонистов и связанностью движений в различных суставах (Гурфинкель В.С., Левик Ю.С., 2003; Мошонкина Т.Р. и соавт., 2020). Синергия или сочетание синхронных локомоций в нескольких суставах, направленное на достижение единой цели, обеспечивает экономию энергии, например, в процессе обретения профессиональных навыков (Santello M., Baud-Bovy G., Jörntell H., 2013; Bizzi E., Cheung V.C.K. , 2013; Моисеев С.А., Пухов А.М., 2019; Моисеев С.А., 2019, 2020; Талис В. Л., Казенников О.В., 2020).

В более широкие функциональные синергии включают различные системы организма в зависимости от того, какие уровни организации задействованы в движении. Выявлены изменения электроактивности обширных синергий в зависимости от величины проявляемых мышечных усилий, характерных для разных периодов формирования ЦД (Моисеев С.А., 2020).

Существенный вклад в фундаментальную физиологию движения внесён Козловской И.Б. и её сотрудниками (2017 и др.) - авторами теории опорной афферентации в поддержании структурно-функционального гомеостаза постуральной мышцы (Шенкман Б. С., Григорьев А. И., Козловская И. Б., 2017) гравитационно-связанной разновидности сенсорных систем, которая предопределяет характер позно-тонической активности целостного организма и влияет на все физиологические механизмы двигательного управления (Томиловская Е.С., Козловская И.Б., 2020).

Методом электромиографии, связанным с регистрацией управляющих сигналов к мышцам в процессе движения, установлены параметры, определяющие успешное выполнения основных двигательных навыков в определённых видах спорта: тяжелой атлетике (А.Б. Трембач и др., 2000, 2003), борьбе самбо (О.А. Прянишникова, 2003, И.Н. Бучацкая, 2005; С.А. Моисеев, 2010), беге на короткие дистанции, прыжках (D. Gehring et al., 2008), стрельбе из лука (Ertan H. et al., 2008; Zulkifli A., 2014; Иванов С.М. и соавт., 2015; Арансон М.В. и соавт., 2019; Пухов А.М., 2020 и другие).

Объективным критерием деятельности ЦНС, регулирующей ЦД, являются биопотенциалы головного мозга. Участие различных областей коры больших полушарий (КБП), базальных ганглиев, мозжечка и спинного мозга в организации произвольных движений человека известно давно (Н.А. Бернштейн, 1947; П.К. Анохин, 1968). В соответствии с устоявшимися представлениями, управляющую движением роль играют первичная моторная кора (поле 4 по Бродману), премоторная (поле 6) и дополнительная моторная области неокортекса, а также кора поясной извилины (поле 23) – часть лимбической системы, являющейся эмоцигенной. В лобных долях происходит формирование и реализация

смысловой программы действия, то есть планирования (Сологуб Е.Б., 1973). В префронтальной зоне локализуются нейронные ансамбли, связанные с программированием пространственно-кинematических двигательных актов и организацией наиболее сложных форм поведения у человека. В нижнетеменных областях происходят высшие процессы анализа сигналов, влияющие на управление произвольным движением. Теменная кора также участвует в программировании и запуске ЦД, но при участии первичной моторной коры и ее пирамидных клеток Беца (W.Betz, 1874). Из этих структур информация в виде биоэлектрической активности вновь поступает в КБП, на уровне которой создается окончательная программа целостного действия. Существенную роль в программировании движений играют лобные доли, где осуществляется синтез. Вовлечённость и взаимодействие церебральных областей варьируют в зависимости от вида ЦД, характера физических упражнений и спортивной деятельности в целом.

К настоящему времени исследованы гемодинамические изменения мозга здоровых людей при движениях (Evans A., Collins D., Milner B., 1992; Boldyreva G.N. et al., 2014; Болдырева Г.Н., Шарова Е.В., Жаворонкова Л.А., 2015). Показано, что локальность и воспроизводимость фМРТ-ответов является наиболее выраженной при сжимании пальцев в кулак по сравнению с иными движениями. Сопоставление данных фМРТ и ЭЭГ (Гаврон А.А., Yacila Isabela Deza Araujo, Шарова Е.В. и др., 2019) выявило перспективность и правомерность индивидуальных исследований у здоровых испытуемых с использованием ЭЭГ-маркёров сетей покоя топографии источников отдельных ритмов (Knyazev G.G. et al., 2011; Babiloni C. et al., 2016). Установлено, что у мужчин лучше идентифицируются сенсомоторная и височнотемная сети, чем у женщин (Гаврон А.А. и соавт., 2019). У здоровых правшей во время пробы на реципрокную координацию рук и открывание глаз описана динамика когерентности ЭЭГ в проекционной зоне активного в данный момент анализатора, отражающая конфигурацию межцентральных церебральных отношений (Шарова Е.В. и соавт., 2019).

Попытки установить нейродинамические маркеры ЦД (Иващенко Е.А. и соавт, 2014) выявили различия в ЭЭГ-коррелятах фаз подготовки и реализации локомоций при решении сложной моторной задачи (в парадигме GO/NOGO) в сравнении простой. В литературе часто встречаются сведения об участии преимущественно высокочастотной составляющей спектра ЭЭГ в механизмах ЦД (Chen C.W., 2007; Lin C.C., Ju M.S., 2007; Del Percio C., Babilony C., Bertollo et al., 2009; Jung R., 1982; Rector I., Sochurkova D., Vockova M., 2006). К примеру, документировано усиление мощности спектра ЭЭГ человека в задних париетальных зонах неокортекса на частоте 25-47 Гц (Pesaran B., Pezaris J.S., Sahani et al., 2002). Авторы объясняют это возникновением резкого поискового движения, направленного на восстановление зрительного контакта с целью переключения внимания после пускового стимула иной модальности. Впрочем, в нашей лаборатории Фёдоровой И.Н. (2019), Trembach A.B, Ivashchenko E.A., Minihanova E.R. (2020) получены данные и о частичной вовлечённости медленно-волновой части спектра (наряду с быстрыми волнами ЭЭГ) у 30 мужчин, совершающих точные и неточные броски мяча в корзину. Электрофизиологические корреляты успешного движения в их исследованиях были следующими: увеличение спектра мощности ЭЭГ в тета-диапазоне 4-7 Гц (в отведениях F7, Fc3, C3), в бета-диапазоне 14-24 Гц (T5), 25-35 Гц (в отведениях P3, O1, Oz, O2), 36-47 Гц (Cp3) и уменьшение в диапазоне основного ритма 8-10 Гц (Fc4), 11-13 Гц (в областях F3, Ft7, Fc3, T3, C3, Tr7, Cp3, Tr8, T5, O1, Oz). Интересно, что и при планировании ЦД, которое потом оказывалось точным, частотная полоса ЭЭГ 25-35 Гц реагировала увеличением спектра мощности по сравнению с состоянием покоя в отведениях F3, Fc3, Cz. А при реализации локомоторного акта, наоборот, отмечалось уменьшение параметров и снова в тета диапазоне 4-7 Гц. Изменения на ЭЭГ при неудачных движениях были менее выражены.

Отсюда видно, что, в основном, материалы о механизмах ЦД представлены в литературе по трём аспектам отдельно: биомеханическому, электромиографическому (ЭМГ) и нейрофизиологическому. Судя по доступным

публикациям, перечисленные направления развиваются применительно к физиологии спорта, но без комплексного их сочетания. Здесь обращает на себя внимание наиболее часто используемая модель для исследования физиологических механизмов ЦД – стрельба из лука, - являющаяся, по понятным причинам, практически, идеальной (А.Б Трёмбач, 2016, А.М. Пухов, 2013, Арансон М.В. и соавт., 2019 и др.). Поэтому в рамках настоящего обзора целесообразно в той же последовательности остановиться на кинематических, ЭМГ и нейрофизиологических особенностях данной модели более подробно, при этом понимая условность такого подразделения, теснейшую взаимосвязанность и, по сути, единство этих трёх компонентов в срабатывании целостного физиологического механизма ЦД.

1.2. Кинематические особенности целенаправленных движений в стрельбе из лука

На сегодняшний день в нашей стране при участии сборной России по стрельбе из лука работает комплексная научная группа на базе Великолукской государственной академии физической культуры и спорта, под руководством профессора Городничева Р.М. (2016). Проблемой расшифровки биомеханических принципов занимаются также исследователи из Германии, Малайзии, Кореи, Японии и других стран (K-S. Lee, 2009; C. Tinazci, 2011; A. Zulkifli, 2014; J.J. Lin et al., 2010; D.E. Callan, E. Naito, 2014; Болотин А.Э., Бакаев В.В., 2014).

Стрельба из лука - один из самых технически сложных видов спорта, имеющий многовековую историю и отличающийся высокой координацией ЦД. Для него характерны «закрытые навыки» в виде повторения точнейших автоматизированных движений (Арансон М.В и соавт., 2019). Постепенно утратив свое стратегическое (военное) значение этот вид деятельности занял прочные позиции в профессиональном спорте. Наиболее сложной с технической точки зрения считается стрельба из классического лука, главной особенностью которой является умение спортсмена выдерживать постоянно растущее сопротивление лука с момента начала его растяжения вплоть до выпуска стрелы. Конструкция

классического лука характеризует прямую зависимость силы лука от длины его растяжения. Основной олимпийской дистанцией является 70 метров, 72 выстрела. Так же спортивная стрельба ведется и на других дистанциях, от 18 метров в помещении и до 90 метров на открытых площадках. Такие особенности проведения соревнований как влияние окружающей среды, погодных условий (Loh W.H., Chong Y.Y., 2018), а также дальность расстояния до мишени, требует от спортсмена огромных физических и психологических усилий для адаптации к возрастающим нагрузкам и прогрессированию спортивного результата. По мнению Байдыченко Т.В. и соавт. (2014) взаимодействие спортсмена с луком и стрелой определяет уровень технической подготовленности, а также способность к совершенствованию спортивного результата. У элитных спортсменов «сила лука» составляет в среднем от 21 до 23 кг у мужчин, и 19-21 кг у женщин. Австралийские исследователи показали, что при стрельбе с платформы (а не стоя на земле) колебания тела в переднезаднем направлении значительно сильнее (Chalkey D. et al., 2016). Лук оснащен системой стабилизаторов, основной функцией которых является уравнивание лука на протяжении всего выстрела, и погашением остаточной вибрации во время выстрела. Турецкие учёные (Simsek D. et al., 2018) установили, что для натягивания тетивы высококвалифицированные спортсмены, в основном, используют проксимальные (плечо) и осевые (трапециевидные) мышцы, и в меньшей степени напрягают дистальные мышцы (предплечье). Лучники среднего уровня и начинающие – наоборот.

Первые тренировки с использованием резинового жгута способствуют развитию и укреплению специализированных мышц и формированию начальных двигательных стереотипов. Спортсмен обучается правильной стойке, положению тела, рук и головы. С учетом уровня подготовки спортсмен переходит на следующие этапы спортивного совершенствования, которому необходим уже индивидуальный подход (Т.В. Байдыченко и др., 2017). Подчеркивается значимость тренировочных нагрузок специального характера по сравнению с общей физической подготовкой (П.Ю. Тарасов, 2013; А.Б. Трембач и др., 2019).

Практика соревновательной деятельности стрелков показывает, что сейчас уровень специальной подготовленности не удовлетворяет возросшим современным требованиям, что существенно снижает уровень эффективности, отрицательно сказывается на спортивных результатах (Х-Ц.Д. Гомбожапова, 2015). С другой стороны, вышеупомянутое обстоятельство делает актуальным проведение настоящего исследования, направленного, среди прочего, на выявление физиологических маркеров повышения уровня эффективности подготовки лучников.

В литературе встречаются работы о кинематических механизмах координации и эффективности управления мышечным напряжением и расслаблением, существенно влияющих на рост спортивных результатов (Р.С Жуков, Е.В. Залян, 2015; А.М. Пухов, 2013). Ряд теоретико-методических аспектов реализации функциональных резервов стрелков из лука рассмотрены в статьях Д.А. Напалкова и др. (2009), И.Н. Бучацкой и др.(2013), Р.Н. Салиховой (2013), Г.Я. Галимова, С.М. Струганова (2012). Однако без детализации кинематических (либо иных физиологических) нюансов эти многочисленные публикации не дают фактологическую базу для поиска маркеров ЦД и не предоставляют предпосылок для расшифровки физиологических механизмов успешности стрельбы из лука. К примеру, Сыманович П.Г. (2002), высказывая очевидное, считает, что критерием эффективности движений служит спортивный результат, критерием экономичности – способность спортсмена распределить собственные силы в процессе стрельбы. Для профессионального изучения этой проблемы вначале необходимы обоснованные кинематические, электромиографические и нейрофизиологические маркёры данного вида спортивной деятельности, нужна их обобщённая систематизация.

Разработана модель подготовки к соревновательной деятельности стрелка из лука (А.Э. Болотин, В.В. Бакаев, 2014а). В работе отмечается, что умение поддерживать правильную стойку во время прицеливания является наиболее значимым в методике тренировки. Определение количественных показателей позной устойчивости (Spratford W., Campbell R., 2017; Suppiah P. et al., 2017), а

также регистрация других физиологических маркеров возможна посредством инструментальных методик. С помощью таких подходов установлены причины неточных выстрелов. К ним отнесены нарушения пространственно-временных характеристик локомоций, а также отклонения межмышечных координаций с сохранением кинематического паттерна выстрела (Пухов А.М., 2020). Южнокорейские авторы-тренеры (Lee Kisik, Tayler Benner, 2009) рекомендуют: 1) принятие открытой позиции, при которой правая стопа параллельна или слегка повернута к линии стрельбы, но не в противоположную сторону. 2) Стопа левой ноги находится к линии стрельбы под углом, но не более 30° . 3) Наклон туловища вперёд так, чтобы вес был распределен в стопах: примерно 60% приходилось на носки, а 40% на пятки. Это позволяет стрелку эффективно развивать максимальное тяговое усилие. 4) Бёдра рекомендуется развернуть к мишени, корпус при натяжении поворачивается в талии так, чтобы установить плечи в одну линию по направлению к стрелоуловителю. С правильным распределением массы тела и закруткой создаётся необходимая умеренная напряженность ниже грудной клетки, что способствует стабилизации при выпуске тетивы.

Во время подготовки сборной команды России к Олимпийским играм 2016 в Рио-Де Жанейро, комплексной научной группой проведено изучение индивидуальных кинематических особенностей техники выполнения выстрела (А.М. Пухов и др., 2016), определение оптимального распределения веса на стопы во время прицеливания с использованием системы стелек Pedag. Считается, что для проведения детального кинематического анализа необходимо разделить целостный выстрел из лука на временные интервалы (Callaway A. et al., 2017), характеризующиеся разной спецификой работы как нервно-мышечного аппарата, так и ЦНС. Анализ литературы показывает, что разделение выстрела по фазам может различаться как по критерию их формирования, так и по количеству самих фаз. Развертывание выстрела может быть сделано на основе фундаментальных знаний физиологии движений, прежде всего, по ЭМГ- и ЭЭГ-маркерам (И.Н. Бучатская и др., 2013; M. Vittorio, M. Frangilli 2005). В литературе встречается высокий разброс количества фаз - от 3 до 12 (K-S. Lee, 2009; X-Ц.Д.

Гомбожапова, 2011, 2014; И.Н. Бучацкая и др., 2013). В настоящее время более рациональным считается разделение выстрела на 5 фаз. Первая фаза характеризуется выходом лучника на огневой рубеж, занятием основной позиции, зарядкой стрелы. Далее захват тетивы и упирание в лук. Все действия направлены на подготовку непосредственно к началу выстрела. Вторая фаза начинается подъемом опорной руки, происходит основное натяжение лука с последующей укладкой тянущей руки под челюсть. Третья фаза, фаза «дотяга», определяется от укладки руки под челюсть до момента выпуска стрелы. В этом периоде происходит основное прицеливание и заключительный «вытяг» стрелы из под кликера. Выпуск стрелы описывает четвертая фаза, регистрирующая непосредственно выстрел, вплоть до начала расслабления и опускания опорной и тянущей рук. Пятая фаза расслабления, завершающая фаза целостного выстрела из лука, включает в себя действия стрелка с момента опускания тянущей и опорной рук до принятия им предварительной изготовки.

С позиции физиологии нервно-мышечной системы стрельба из лука является сложно координационным видом спорта, включающим в себя как статические, так и динамические элементы движения, направленные на достижение результата. Эти движения требуют высокой степени чувствительности сенсорных систем организма. Малейшие изменения положения тела или его отдельных звеньев ведут к сокращению мышц, регулируя их пространственные перемещения. Длительное статическое напряжение рук при удержании оружия на весу вызывает излишнее утомление мышечной системы стрелка, что выражается в произвольных движениях в виде колебаний тела и оружия во время прицеливания. Снижение мышечного тонуса в процессе длительной работы стрелка нарушает устойчивое равновесие стрелка в процессе выполнения спортивного упражнения (Тарасова Л.В., 2014; Chalkley D. et al., 2017). Недостаточный уровень физической работоспособности компенсируется напряжением функциональных систем, обеспечивающих специальную работоспособность спортсмена (Ю.В. Верхошанский, 2013). Особую роль в нормальном функционировании организма спортсмена-лучника играет

дыхательная система, способность к длительной задержке дыхания; а также - изучение функционального состояния сердечно-сосудистой системы лучника (А.В. Тарасова, 2014).

В основах тренировочного процесса лежит формирование двигательного навыка, которое осуществляется за счет моторного, а также – идеомоторного (Tursi D., Napolitano S., 2014; Monzoni R. et al., 2016; Chalkley D. et al., 2017) обучения. Двигательный навык в конечном итоге представляет собой произвольное ЦД, формирующееся в соответствии физиологическими принципами деятельности костной, нервно-мышечной, ЦНС и других систем. В итоге синергично осуществляется деятельность целостного организма. Координированная работа значительного количества мышц обеспечивает произвольные ЦД, которые управляются посредством центральных программ, формирующихся на разных этажах ЦНС. Однако литературных источников, представляющих какие-либо объективные результаты применения расчета амплитудно-частотных характеристик статокинезиограммы при стрельбе из лука, обнаружено не было.

По мнению ряда авторов (Малаховым М.В. и совт., 2012;, Салихова Р.М., 2013; Напалков Д.А., 2009), наблюдается тесная взаимосвязь параметров устойчивости вертикальной позы стрелка с точностью стрельбы по мишени. Поза стрелка существенно отличается от обычной позы стояния. Для обеспечения устойчивости системы «Стрелок–оружие» требуются значительные мышечные усилия. Чем хуже устойчивость позы в начале изготовления, тем более выражены коррекционные перестройки позы непосредственно перед выстрелом из оружия (Приймаков А.А. и др., 2015). Такие же данные характерны и для стрельбы из лука, но не в полной мере. Отличия стойки в стрельбе из лука, по сравнению с пулевой стрельбой и другими видами, заключается в том, что во время удержания тетивы и самого выстрела, спортсмен испытывает более значительные мышечные напряжения в верхней части тела, связанные усилием натяжения самого лука. Показатели позной устойчивости во время подготовки и во время самого выполнения выстрела из лука, по нашему мнению, должны существенно

различаться по сравнению с пулевой стрельбой. Источников литературы, описывающих данные стабилметрического исследования во время выполнения выстрела из лука обнаружено не было. Вероятно, это продиктовано временной нехваткой. Ведь для регистрации статокинезиограммы необходимо около минуты времени. В основном запись производится на начальных этапах подготовки, при которых стойка спортсмена прямая и естественная без каких-либо мышечных напряжений, так как длительность самого выстрела составляет около 7 секунд. По мнению В.М. Адашевского и др., (2012) на целевую точность в стрельбе из лука влияют технико-кинематические характеристики модели выполнения выстрела из лука, где основной из таких характеристик является сохранение и поддержание рациональной позы. В работах Л.В. Тарасовой (2014) приведены показатели стабильности в тесте Ромберга у юных и квалифицированных стрелков из лука. Так, у начинающих стрелков площадь центра давления в 1,6 раза, а скорость перемещения в 2,5 раза больше, чем у квалифицированных. Отклонение тела по фронтальной и сагиттальной плоскостям у юных стрелков также значительно больше, чем у квалифицированных стрелков - в 3,5 раза, в 1,6 раз соответственно. Площадь центра давления у стрелков с открытыми глазами достоверно в 2 раза, а скорость перемещения - в 1,5 раза меньше, чем в пробе с закрытыми глазами, что говорит о значительном участии зрительного и вестибулярного анализаторов, обеспечивающих поддержание равновесия со стороны ЦНС.

К примеру, методом стабилметрии, возможно тренировать координационную способность стрелков из лука. В работе А.А. Рудовского, Ю.А. Рымшиной (2016) был проведен тест «Мишень» с визуальной обратной связью, осуществлялось восемь 20-секундных подходов для выполнения задания. По результатам наблюдений, у спортсменов-лучников для выхода на стабильный уровень результатов требуется пройти до 15–20 сеансов тестового координационного тренинга. При этом было обнаружено, что 5 членов сборной России по стрельбе из лука по результатам тестирования в координационном тренинге практически не нуждались, т.к. изначально имели высокие показатели данных поустуральной устойчивости.

Помимо регистрации центра давления масс стрелка из лука, рассматривают и распределение давления стоп на горизонтальной опоре методом тензометрии. К параметрам силовых платформ относят кинетические данные. Например, моменты мощности поглощения/генерации мышц, центр переката стопы, силы реакции опоры (в трех проекциях), силы реакции суставов, импульс и другие (В.И. Скворцова и др., 2013). В стрельбе из лука есть единичные источники использования силовых платформ. Анализируя концентрическое распределение усилий стоп лучника на горизонтальную поверхность, была получена схема оптимального распределения веса на стопы во время прицеливания и выполнения выстрела индивидуально для каждого спортсмена в зависимости от показанного результата (Н.К. Эрдыниева, В.М. Цинкер, 2018). В общих сведениях технической подготовки стрелка из лука известно, что распределение давления стоп находится в пределах 60-70% на носки и 30-40% на пятки (K-S. Lee, 2009). Однако визуальный контроль без использования тензодатчиков, не позволит определить количественные значения данного параметра.

Рядом физиологических методов, получивших широкое применение в спорте высших достижений, позволяющих регистрировать кинематические и динамические параметры локомоций человека, являются: видеоанализ, ультразвуковая технология и инерционные сенсоры. Основные кинематические параметры трехмерного видеоанализа включают амплитуды движений суставов, угловые изменения суставов и сегментов тела в трёх плоскостях – сагиттальной, фронтальной и горизонтальной (пример: абдукция, аддукция, сгибание, разгибание, и другие); скорости и ускорения, линейные изменения, пространственно-временные характеристики самого движения в целом или его циклов (Скворцов Д.В., 2012); показатели, основанные на методах преобразованиях Фурье, спектральные характеристики координаты в пространстве (Воронов А.В., 2009). Инерционный бесплатформенный сенсор представляют собой небольшой пластиковый бокс размером со спичечный коробок. Внутри находится система микромеханических датчиков, состоящая из трех акселерометров, расположенных в трех взаимно перпендикулярных

плоскостях, трех гироскопов и трех магнитометров, также в трех плоскостях. Инерционный датчик сразу регистрирует повороты сегмента, к которому он фиксирован в пространстве. Другой класс систем - ультразвуковые, принцип работы основан на измерении прохождения ультразвука в пространстве, при котором точность регистрации существенно убывает с увеличением расстояния обратно пропорциональна квадрату расстояния.

Однако для нас наибольший интерес, в связи со своей распространенностью, доступностью и высокой информативностью является видеоанализ. Благодаря отражению деятельности двигательной системы во временной, кинематической и динамических структурах движений, становится возможным, наблюдая и анализируя паттерн движений, получить информацию о некоторых свойствах формирования и реализации локомоторного акта. Помимо принятия и поддержания вертикальной позы, мышечная деятельность направлена на осуществление движений во внешней среде. Независимо от того являются ли эти движения произвольными или целенаправленными. Практически все виды спорта в той или иной степени характеризуются ЦД. Однако именно стрельба из лука в своей основе состоит из прицельных движений, итогом которых является высокая точность попадания в мишень (Д.А. Напалков и др., 2013). Поэтому, по мнению многих авторов, двигательная деятельность стрелков из лука высокого класса превосходно подходит для изучения ЦД (А.Б. Трэмбач, 2016, А.М. Пухов, 2013 и др.). Способность концентрации и удержания внимания на кинестетических ощущениях и осуществления тонкой и точной кинестетической регуляции определяет степень успешности выполнения точного выстрела из лука (Л.В. Тарасова, 2009, Д.А. Напалков и др., 2007). Такая особенность поддержания низкоамплитудных движений при значительных статических нагрузках связана с согласованностью межмышечной координации в стрельбе из лука.

Требуется минимальное изменение в положении тела или каких-либо его частей, чтобы значительно изменить группы мышц, вовлеченных в движение (Дубровский В.И., 2003). Следовательно, анализ кинематических компонентов тела спортсмена позволяет не только рационализировать использование скелетно-

мышечной системы для минимизации энергетических затрат на выполнение выстрела из лука, но и снизить уровень травматизма этой системы (K-S. Lee, 2009).

Фазы разворачивания спортивного упражнения могут характеризоваться как изометрическими, так и изокинетическими движениями. В исследованиях А.М. Пухова и др., (2015) посредством метода высокоскоростной 3Д видеосъемки выявлены некоторые кинематические параметры выстрела из лука. При помощи 3Д видеоанализа, по кинематическим маркерам, разделили выстрел на пять рабочих фаз, с точными ее границами. В процессе изучения выделили вторую, третью и четвертую фазы, как наиболее значимые в определении успешного выстрела. Средняя продолжительность выстрела, включающая только основные 2,3,4 фазы - составляла 6,6 секунд. Анализ временных характеристик, показал среднюю скорость движения тянущей руки в фазе «основного натяжения» 400 мм/с. Так, как длина основного натяжения индивидуальна для каждого спортсмена, рассчитывался конечный дотяг во время укладки – 13,3 мм. Расстояния основного натяжения и «дотяга» определялось по удаленности светоотражающих маркеров, установленных на напальчнике и рукоятке лука. Особое внимание уделили 3 фазе, фазе дотяга, где выявлено, что при выполнении успешных выстрелов наблюдалась тенденция уменьшения времени фазы и расстояния выхода стрелы из-под кликера, по сравнению с неуспешными выстрелами (Бучатская И.Н. и др., 2013; Zahari T. et al., 2016). Ранее было установлено, что в соревновательном упражнении, на фоне нарастающего утомления пропадает чувство времени удержания (K-S. Lee, 2009). Стабильность времени удержания становится важнее его длительности (А.М.Пухов и др., 2011, 2015). Установлено оптимальное время реакции на кликер - 170 мс. Временной интервал определяется от щелчка кликера до вылета стрелы из лука. Уменьшение или увеличение этого времени ведет к снижению результативности (M. Heller, 2012).

Приведённые данные свидетельствуют о развитости у стрелков из лука аутохронометрических способностей, нейрофизиологические механизмы которых

(Водолажская М.Г, Водолажский Г.И., 2020), включая и локомоторный компонент аутохронометрии, вероятно, вовлечены в реализацию закономерностей ЦД данного вида спорта. Пуховым А.М. и др., (2016) при изучении индивидуальных кинематических и нейрофизиологических особенностей выстрела из лука были получены данные о том, что траектория движений и скорость перемещения практически всех регистрируемых антропометрических точек больше при неточных выстрелах. И, действительно, выстрел из лука, несмотря на значительные мышечные усилия, должен содержать как можно меньше движений и быть максимально расслабленным (Л.В. Тарасова, 2014).

Помимо видео-регистрации, оценка локомоций человека может производиться и с помощью спектрального анализа как во «временной», так и в частотной областях. Обе области системно взаимосвязаны, так как, по сути, «частота» есть временная характеристика. Процесс имеет амплитуду в каждой временной точке. С помощью Фурье преобразования «временной» процесс может быть переведен в частотную область. Так как большинство локомоций содержат выраженную низкочастотную компоненту, то период измерений при спектральном анализе должен быть не менее 30 секунд. И в этом случае спектр будет располагаться на дискретных частотах с шагом 0,033 Гц (Воронов А.В., 2011). Стрельба из лука характеризуется не только динамическими амплитудными движениями, но и низкоамплитудными движениями в статической вертикальной позе во время фазы удержания и прицеливания. Поэтому стрельба из лука может быть описана как статический вид спорта (E. Nayri, I. Rafet, 2010). Параметр амплитудно-частотной характеристики координат наиболее подходит для анализа той фазы, где маркеры с первого взгляда остаются стационарными. Какой-либо информации о спектральном анализе кинематических параметров в стрельбе из лука в доступных литературных источниках выявлено не было. В связи с этим, в настоящей работе мы сочли целесообразным использование данного вида анализа для установления кинематических маркеров исследуемого спортивного упражнения.

Для расширения спектра поиска маркеров ЦД при стрельбе из лука, помимо литературных данных регистрации внешних двигательных проявлений, мы привлекли сведения об опубликованных результатах непосредственной регистрации управляющих импульсов, приходящих к мышцам в процессе движения – ЭМГ.

1.3. Электромиографическая характеристика выполнения прицельного движения - выстрела из лука

По мнению большинства авторов, - Lindstrom L.H. и соавт. (1977), Nishizono H. (1986), Ertan H. et al. (2008), Zulkifli A., (2014), Пухова А.М. (2015), Городничева Р.М. (2016), Моисеева С.А. (2019) и др., - метод ЭМГ позволяет получать ценный материал о взаимодействии и уровнях активности работающих мышц и некоторых механизмах регуляции ЦД на примере стрельбы из лука. Посредством регистрации ЭМГ возможно проводить анализ таких характеристик как интегрированная биоэлектроактивность мышц, амплитуда и частота биопотенциалов, порядок включения и выключения мышц. В отличие от нативной миограммы, спектральные характеристики ЭМГ отражают изменения в амплитуде сигнала и частоте импульсации мотонейронов. Последнее обстоятельство делает целесообразным сочетание ЭМГ и ЭЭГ информации для суждения о физиологических механизмах ЦД (на примере стрельбы из лука) на уровне целостного организма.

Ранние исследования Lindstrom L.H. et al., (1977) показали, что спектральные характеристики ЭМГ связаны не только с работой мотонейронов, но и отражают характер рекрутирования ДЕ, несомненно, осуществляемого со стороны ЦНС и нейро-гуморальных воздействий.

Основным преимуществом спектрального анализа по сравнению с амплитудно-временным анализом поверхностной ЭМГ является наличие информации о синхронной работе ДЕ: «чем уже спектр, тем выше внутримышечная координация» (А.В. Воронов, 2011). В этом видна

методологическая составляющая рассматриваемой проблемы: биоритмическая смена динамики и статики, синхронизации и десинхронизации, хаоса и упорядоченности, иллюстрирующих диалектическое единство и борьбы противоположностей. Обобщающих публикаций по анализу амплитудно-частотных характеристик спектра ЭМГ в спортивной практике крайне мало, а по стрельбе из лука они почти отсутствуют. Встречаются лишь единичные указания на взаимосвязь между пространственно-временными и ЭМГ параметрами при выполнении выстрелов из лука (А.М. Пухов и др., 2016). Подчеркнем, что данные результаты описаны на индивидуальных показателях и не обобщены. Между тем, обобщения необходимы для понимания физиологических механизмов ЦД (на модели стрельбы из лука) в масштабах целостного организма.

В отдельных работах по ЭМГ выявлены определенные ведущие скелетные мышцы, обеспечивающие реализацию выстрела из лука. Из исследования 32 скелетных мышц, установлено, что в реализации выстрела наибольшую электроактивность проявляют мышцы верхних конечностей и спины: дельтовидные мышцы правого и левого плеча, нижние и верхние пучки трапецевидных мышц, трехглавые мышцы правой и левой рук а так же мышцы сгибателей и разгибателей кистей рук (А.М. Пухов, 2013; П.А. Белоус, М.К. Борщ, 2017). Один из первых авторов, изучающих электропотенциалы мышц во время стрельбы из лука Nishizono H. (1986), характеризовал наиболее активную дельтовидную мышцу плеча слева, как самую высокоамплитудную при выполнении выстрела. Однако, недавние исследования ЭМГ стрельбы из лука показывают, что высокие значения электрической активности демонстрируют также лучевые сгибатели кисти правой и левой руки (А. Zulkifli, 2014, А.М. Пухов, 2013). Анализ ЭМГ при выстреле свидетельствует о том, что большая активность проявляется в мышцах спины, чем в мышцах рук (H. Ertan et al., 2008; В.В. Бакаев, 2016).

Динамический дискретный анализ амплитуды электрической активности мышц (по фазам) показал, что максимум своей активности большинство мышц проявляет во 2-й и в 3-ей фазах. А так как наиболее важной для высокой

результативности стрельбы из лука, по мнению специалистов (А. Zulkifli, 2014; А.Н. Калинин, 1991; П.Г. Сыманович, 2002; V.X. Christodoulou et al., 2010), является 3-я фаза – «дотяг», то можно судить о степени и факте непосредственного участия данных мышцы в формировании успешного выстрела. В работе И.Н. Бучацкой, Р.М. Городничева (2015) проведен анализ ЭМГ ведущих мышц в стрельбе из лука, первых и последних серий в дистанции соревновательного упражнения. Определено, что в фазе «дотяг» к концу выполнения выстрела активность нижних пучков трапециевидной мышцы спины снижается, амплитуда ЭМГ трехглавой мышцы правого плеча увеличивается, что указывает на технически неправильное перераспределение мышечных усилий в исследуемой фазе, связанных с развитием утомления в ходе многократно повторяющихся выстрелов. Такие данные дополнительно подчёркивают интерпретационную и методическую родственность ЭМГ и биомеханики.

Немалый интерес, на наш взгляд, представляют работы по изучению электрической активности мышц при успешных и неуспешных выстрелах. Пуховым А.М. и др. (2015) выявлены особенности ЭМГ мышц в зависимости от направления попадания стрел по отношению к центру мишени. К примеру, попадания выше или ниже центра мишени характеризовались снижением амплитуды ЭМГ задних пучков правой дельтовидной мышцы на 56%, а попадания справа или слева от центра, - значительной активностью верхней правой трапециевидной мышцы и низкой активностью: лучевого сгибателя правой кисти, задних пучков правой дельтовидной, нижней и верхней частей трапециевидных мышц. Есть мнение, что основными показателями успешных выстрелов являются оптимальные величины мышечных усилий в фазах «расширение», «дотяг» и «завершение выстрела» ведущих мышц. Однако при неуспешных выстрелах данные усилия - ниже оптимальных (Н. Ertan et al., 2019; М.Р. Hennessy, А.В. Parker, 1990; Пухов А.М. и соавт., 2015).

Разделение испытуемых по уровню мастерства позволили объективизировать некоторые признаки высококвалифицированных спортсменов, у которых амплитуда сокращений мышц спины была значительно выше, чем мышц рук, по

сравнению с низкоквалифицированными (В.В. Бакаев, 2016), что, вероятно, объяснимо биоэнергетически. И действительно, амплитудный анализ любого рода ритмического физиологического процесса позволяет судить о степени энергоснабжения функции (Водолажский Г.И., Чадова И.Н., 2011), что обосновано биохимически (Рослый И.М., Водолажская М.Г., 2020).

В процессе изучения амплитуды ЭМГ при максимальном статическом и concentрическом сокращении и при выполнении выстрела из лука выявлено, что ведущие мышцы при выстреле из лука развивают усилия в диапазоне от 5% до 30% от своих максимальных силовых возможностей (Пухов А.М. и др., 2016). Сравнение ЭМГ двух наиболее популярных дивизионов луков показало следующее. Стрельба из блочного лука характеризуется развитием меньших усилий у большинства мышц по сравнению с классическим луком. Суммарная активность всех мышц при стрельбе из блочного лука почти в два раза ниже, чем при стрельбе из классического лука (Пухов А.М. и др., 2015). Из этих соображений и с учётом данных особенностей в настоящем исследовании для оценки взяты физиологические параметры стрелков из классического лука.

В работе Иванова С.М. и др. (2015) с применением ЭМГ – БОС в тренировочном процессе лучников описаны индивидуальные ошибки, связанные с величиной электроактивности мышц, и способы их дальнейшего устранения. Такие физиологические нюансы способствуют повышению чувства межмышечной координации, формированию более устойчивой модели успешного выстрела, характеризующейся оптимальными величинами электроактивности ведущих мышц, и потенциально приводит к повышению результативности стрельбы. Регистрация ЭМГ в реальном времени, даёт возможность спортсмену обучаться произвольному напряжению и расслаблению мышц (Пухов А.М. и др., 2015).

Внедрение методов сочетанного анализа биомеханических параметров, высокоскоростной 3D-видеосъемки, электроокулографии (Gonzalez C. et al., 2017) и поверхностной ЭМГ объективизировало индивидуальные характеристики выполнения точного выстрела и особенности успешного и неуспешного выстрела.

Показано, что причинами неуспешных выстрелов могут служить нарушения церебрально управляемой межмышечной координации с сохранением кинематического рисунка выстрела (Пухов А.М. и соавт., 2016), коль скоро вегетативный аккомпанемент в виде повышения ЧСС не ухудшает время выполнения или точность выстрела (Gonzalez C. et al., 2017). Сочетание оценки таких результатов с данными ЭЭГ позволят, на наш взгляд, шире и целостнее интерпретировать общеорганизменный физиологический механизм ЦД.

1.4 Электроэнцефалографические параметры, регистрируемые при стрельбе из лука

Как известно, регуляция сенсомоторной деятельности осуществляется на разных частотах ЭЭГ, преимущественно (но не только) лежащих в диапазоне альфа-ритма. Решения двигательных задач вызывает десинхронизацию основного ритма. Её трактуют как проявление процессов неспецифической корковой активации, необходимой для эффективной обработки информации, поступающей к коре головного мозга по специфическим сенсорным путям (G.E. Chatrian, et al., 1959, 1976; An. Fingelkurts, et al., 2003). Отмечают также депрессию мю-ритма при поступлении кинестетических раздражителей. Правда, в покое мю-ритм хорошо выражен менее, чем у 15% взрослых людей (E. Niedermeyer, 2005a). По данным Гаврон А.А. и соавт. (2019), сенсомоторные сети (вместе с управляющими сетями), содействующие выполнению ЦД и более стабильно представленные именно у мужчин, связаны с активацией не только альфа-, но и тета-ритма ЭЭГ, специфичного для реализации аутохронометрических способностей (Водолажская М.Г., 2000), важных и для стрельбы из лука.

Значительное количество работ по изучению динамики параметров ЭЭГ у спортсменов-стрелков проведены в условиях пулевой стрельбы, стрельбы из винтовки и мелкокалиберного оружия. Источников литературы с данными по регистрации ЭЭГ в стрельбе из лука немногочисленны (А.Б. Трембач и др., 2017; Е.Р. Миниханова, 2017; Д.А. Напалков и др., 2013; Р.Н. Салихова, 2013, К. Н. Lee,

2009; W. Kim et al., 2014; D.E. Callan, E. Naito, 2014). Правда, в настоящее время повысился интерес исследователей к раскрытию механизмов результативности при стрельбе из лука и других видов оружия (Р.Н. Салихова, 2013; Д.А. Напалков и др., 2013; А.В. Черных и др., 2015; И.А. Сабирова и др., 2017; А.Б. Трембач и др., 2018). Но в основном, в литературе встречаются не столько конкретные факты об ЭЭГ-маркерах ЦД, сколько лишь сведения, напоминающие методические рекомендации к получению этих фактов, либо – предпосылки к установлению самих маркеров. При этом термин «маркер» - употребляется. К примеру, указывается, что «колебания электрической активности мозга в диапазоне альфа широко применяются в качестве маркера для изучения процессов, происходящих в мозге человека и лежащих в основе достижения успеха в стрельбе» (D.M. Landers et al., 1994; G.M. Loze et al., 2001; B.D. Hatfield et al., 2004; D.A. Napalkov et al., 2008). На наш взгляд, это может расцениваться лишь как заданный вектор на пути поиска более детального и более специфического механизма ЦД на примере стрельбы из лука.

Впрочем, ещё в XX в. появлялись единичные работы, описывающие изменения ЭЭГ в процессе стрельбы (В.И. Гусельников, 1976). Авторы показали, что при прицеливании мощность ЭЭГ в диапазоне 8-10 и 10-12 Гц квалифицированных стрелков достоверно повышается по сравнению с состоянием спокойного бодрствования в отведении Т3, но не в отведении Т4. В соответствии с интерпретацией Жаворонковой Л.И. (2009), такие частотные диапазоны указывают на вовлечённость левого гиппокампа (как центральной структуры лимбической системы) и неокортекса в церебральный механизм процесса. Выяснено, что данная феноменология не наблюдается у опытных стрелков из лука при выполнении других видов деятельности, не связанных со стрельбой (О.М. Базанова, 2007, 2009). Позже было показано, что у одного и того же спортсмена перед хорошими (10 очков) выстрелами α -активность в затылочных отведениях (О1, О2) выражена лучше, чем перед плохими (8, 7 очков) выстрелами.

Существует ряд гипотез, объясняющих увеличение альфа-активности у высококвалифицированных спортсменов во время прицеливания. Одна из них говорит о том, что очевидное различие в результативности стрельбы между новичками и опытными спортсменами является результатом экономии усилий (A.J. Naufler et al., 2000). Считается, что во время начальных этапов моторного обучения незнакомые действия нескоординированы и требуют больших когнитивных усилий для их совершения. При долгой тренировке процедурная память постепенно включает в себя комбинацию действий, а пластичность нервной системы позволяет реорганизовать и адаптировать нервные связи, так, чтобы облегчить исполнение моторных навыков (S.E. Kerick et al., 2001).

Давно не вызывает сомнений, что в стрельбе критическое значение для точного попадания в цель имеет период, предшествующий выстрелу, или так называемый период прицеливания (А.А. Юрьев, 1962; Д.А. Напалков и др., 2009), хотя определённого нейрофизиологического обоснования этому положению до сих пор не существует. Вместе с тем, именно учёт в тренировочном процессе результатов детального нейродинамического анализа данного временного отрезка, вероятно, мог бы потенциально способствовать повышению результативности выстрела. Ведь в период прицеливания стрелок наводит оружие на цель, стабилизирует положение тела и, удерживая оружие, производит выстрел. Выполнение действий, связанных с удержанием оружия и минимальным вовлечением мышечной системы в поддержание позы (P. Era et al., 1996), требует, как уже было сказано, сложной координации точных моторных действий, значит - оптимального функционального состояния организма стрелка. И то, и другое достигается благодаря интегративной деятельности ЦНС.

В нашей лаборатории методом ЭЭГ произведено сравнение: в период прицеливания у одного и того же спортсмена альфа-активность в затылочных отведениях проявляет себя более явно перед результативными выстрелами, чем перед неудачными выстрелами (А.Б. Трёмбач и др., 2017). Кроме того, выявлено, что представленность альфа-диапазона ЭЭГ перед выстрелом в большинстве отведений выше у высококвалифицированных стрелков, чем у начинающих

спортсменов (Д.А. Напалков и др., 2013; Р.М. Салихова, 2013; G.M. Loze et al., 2001; O. Jensen et al., 2010). Напалков Д. А. (2009) отмечает, что депрессия альфа-ритма, вызванная активацией зрительного внимания, выявлена у начинающих стрелков, а у опытных, наоборот, – при этом регистрируется выраженность альфа-ритма преимущественно в затылочных и теменных областях. Несмотря на большое количество исследований альфа-ритма ЭЭГ в период перед выстрелом, остается неясным, коррелятом каких именно мозговых процессов является описанная выше феноменология. В работе Р. Twigg et al., (2014) выявлено, что активность альфа ритма перед выстрелом снижалась, а после выстрела - увеличивалась. Аналогичная картина наблюдалась и с мощностями ЭЭГ дельта и бета ритмами (Т. Harmony, 2013): дельта ритм не только проявлялся во время сна, но и активировал процессы, связанные с внутренней концентрацией и вниманием. Вероятно, при ЦД дельта-активация будет способствовать улучшению результата. Тета-ритм усиливается (среди прочего) во время планирования и реализации действия (С. Leanna et al., 2012; S. Guderian et al., 2009).

В 1994 г. Ландерс и соавторы провели БОС-тренинг по ЭЭГ в двух группах лучников (D.M. Landers et al., 1994). В одной из групп тренинг был направлен на увеличение альфа-активности в отведении Т3 в период, предшествующий выстрелу. В другой группе – на повышение альфа-активности в отведении Т4. Результативность в первой группе лучников достоверно возросла, тогда, как во второй группе - ухудшилась. Встречаются и отечественные работы с данными БОС-тренинга по ЭЭГ на спортсменах стрелках (Д.А. Напалков и др., 2013, Р.Н. Салихова, 2013), указывающие, как и многие другие статьи (Корнева Н.А., Репина Н.В., 2018; Корнеева М.А., Шагова О.В., 2019; Тарасова Т.В., Тимакова Т.С., 2019; Федотова О.И., Ивашко С.Г., 2019) на значимость психофизиологического состояния лучника на различных этапах тренировочного процесса.

Роль нюансов психо-эмоционального статуса лучника особенно сказывается в предстартовый период (Иксман А.А., 2019). В этом отношении интересны сведения о духовно-нравственной подсознательной сфере стрелка из лука

(Мендот И.Э. и соавт., 2013; Гомбожапова Х-Ц.Д., 2019): культуре предков, взаимном уважении, уникальном своеобразии личности спортсмена, необходимости мотивировать и вдохновлять на высокие достижения. Кстати, единичные работы последних лет раскрывают результаты экспериментального исследования на трансгенных животных (DAT-KO) элементов бессознательного (Калинина Д. и соавт., 2020). В них описаны нейрофизиологические спинальные и супраспинальные механизмы управления локомоциями в условиях различного моноаминергического влияния: в частности, функционирование нигростриарного дофаминового пути как главного элемента экстрапирамидной системы, отвечающей за подсознательный контроль тонуса мышц, позы тела, мимику, пластичность при разных формах локомоторного поведения, включая и ЦД, требующие вполне осознанной точности и слаженности многих систем. Сведений об ЭЭГ маркерах приведенного механизма корково-подкоркового взаимодействия у людей на модели стрельбы из лука в доступной литературе обнаружить не удалось.

Подытоживая данные литературы о нейрофизиологических (и, в частности, об ЭЭГ) параметрах, регистрируемых при стрельбе из лука, можно отметить следующее. При формировании двигательного навыка, связанного с перестройкой врожденных координаций, специфическая динамика церебральной электрической активности в высокочастотном диапазоне обнаруживается в структурах мозга (опубликованные данные в большинстве своём сосредоточены лишь на корковых, то есть на поверхностных субстанциях), реализующих планирование, реализацию и коррекцию самого движения. Вместе с тем сведения из литературы содержат недостаточное количество информации о церебральных генераторах ритмической активности при стрельбе из лука, в основном, ограничиваясь скальповой (неокортикальной) интерпретацией без анализа по церебральной вертикали: из поверхности мозга - вглубь. Вовлечённость диэнцефальных структур в исследуемый механизм лишь замечена отдельными авторами и не являлась предметом специального исследования. Например, по ЭЭГ установлена отзывчивость мозга человека к ординарным факторам погоды, где на первом

месте в рейтинге биотропности – направление ветра. Церебральная метеочувствительность усиливается в ряду частотных диапазонов ЭЭГ «Дельта – тета – альфа – бета», то есть из глубины мозга к его конвексительной поверхности (Водолажская М.Г. и соавт., 2010-2018). Эта закономерность вполне может объяснить причину метеовлияний на результативность стрельбы из лука (Loh W.H., Chong Y.Y., 2018; Тарасова Л.В. и соавт., 2019; Огаркин А.В., 2019; Канискин И.С., Бакаев В.В., 2020) далеко не только с позиции внешних механических воздействий.

Разрозненные и немногочисленные данные об ЭЭГ маркерах ЦД в тоже время содержат мало противоречий. Большинство авторов единодушны в том, что при интерпретации ЭЭГ необходим индивидуальный подход (Пухов А.М. и соавт., 2015; Орешкина Т.И., 2015; Алексеев М.А., 2019; Тарасова Т.В., Тимакова Т.С., 2019; Иксман В.М., 2019; Игнатенко Е.М., 2020); что важен учёт метеорологической обстановки, эмоционального и объективного амплитудного статуса (Supriah P. et al., 2017; Vebetsos E., 2015; Г.И. Водолажский, И.Н. Чадова, 2011), аутохронометрических способностей (Quan C.H., Lee S., 2016; Callaway A.J. et al., 2017; Gonzalez C.C. et al., 2017; Водолажская М.Г, Водолажский Г.И., 2020; Малука М.В., Игнатенко Е.М., 2020). Всё перечисленное косвенно свидетельствует о расширении спектра церебральных аппаратов (по сравнению с известным), вовлечённых в механизм ЦД при стрельбе из лука – как преимущественной модели такого рода исследования. Однако объективных физиологических подтверждений этого встретить не удалось. Единых систематизированных сведений об ЭЭГ-, ЭМГ- и кинематических маркерах, а также об их взаимосвязи в масштабах целостного организма стрелка из лука, - в результате литературного поиска мы не обнаружили. Тем не менее, анализ литературы показывает, что такое сочетание параметров помогло бы приблизиться к расширению представлений о физиологических механизмах ЦД на примере данного вида спорта.

В связи с вышеизложенным, целью настоящего исследования было – выявить электроэнцефалографические и электромиографические особенности,

маркирующие различные периоды становления целенаправленного движения у спортсменов лучников различной квалификации при выстрелах различной точности.

Для этого мы сочли целесообразным проделать путь «от простого – к сложному», при изложении материала соблюсти хронологическую последовательность сбора и анализа фактов: описать вначале кинематические, затем электромиографические, а затем - электроэнцефалографические маркеры ЦД лучников, после чего обобщить физиологические сведения на модели двух специализированных систем формирования точности выстрела в зависимости от квалификации.

ГЛАВА 2 ОРГАНИЗАЦИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Контингент и организация исследования

Исследование проведено на базе научной лаборатории кафедре адаптивной физической культуры КГУФКСТ, а также на выездных мероприятиях в период с 2015 по 2022 годы в городах Новороссийск, Майкоп, Нальчик. В исследовании приняли участие 40 спортсменов правшей (предварительно прошедших тест ИПА), занимающихся стрельбой в дивизионе классический лук. Исследуемые имели спортивную квалификацию от I разряда до кандидата в мастера спорта (КМС), средний возраст обследуемых $19,5 \pm 3,49$ лет. Стаж спортивной деятельности составил от 2 до 12 лет (Таблица 1). Все исследуемые получили подробную информацию по проводимым исследованиям и дали письменное согласие на участие в исследовании в соответствии с Хельсинской декларацией.

Таблица 1 - Сведения о контингенте обследуемых

Контингент	Спортивная квалификация	Количество обследуемых
Стрелки из лука	I разряд	20
	КМС	20

Исследования проводились после общей и специальной разминки в условиях, моделирующих соревновательную деятельность, в предсоревновательный период в минимально короткий срок для всей группы, а также единичные исследования ряда стрелков непосредственно в период соревнований. Выполнили деление исследуемых на: «I разряд» («менее квалифицированные») и «КМС» («более квалифицированные»).

Протокол исследования. В каждый день обследования регистрировали данные двоих исследуемых. В начале каждого исследования устанавливали клеющиеся датчики электромиограммы (ЭМГ), предварительно очистив кожу спиртовой салфеткой. Все отведения электродов крепились к телу с помощью

лейкопластыря, чтобы минимизировать артефакты во время движений. На поясе находился блок электромиографа, подключались каналы отведений. При помощи специальных манжетов или двухсторонней клеящей ленты устанавливали пятнадцать светоотражающих маркеров и один механо-оптический маркер на лук. Заключительным этапом была установка электродов 19-канальной электроэнцефалограммы (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 установления уменьшения сопротивления между электродом и участком скальпа (подэлектродного импеданса).

После установки всех компонентов системы 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 исследуемый выполнял 2 подхода по 10 серий из 3 выстрелов, с интервалом между подходами 15 минут. В общей сложности каждый спортсмен

выполнил по 60 выстрелов, в течение 2 часов общего периода исследования, что соответствует стандартной соревновательной нагрузке. И каждый раз осуществлялась регистрация исследуемых параметров. Таким образом, 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. Выстрелы разной результативности были разделены на высокоточные (10 очков) и низкоточные (8, 7, 6 очков). Пробоины достоинством в 9 очков анализу не подвергались.

В заключение проводилась дополнительная серия из 10 выстрелов с использованием 11 канального модуля электроэнцефалографа с возможностью подключения: 11 каналов ЭЭГ, огибающей ЭМГ, правой и левой ЭОГ, пневмограммы, электрокардиограммы. Данная серия позволяла дополнить комплексный анализ рядом вегетативных параметров. В итоге, при комплексной синхронной записи полностью “одетый” спортсмен представлен на рисунке 1.

2.2 Методы исследования

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 GoPro HERO7, 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. Синхронизация видеокамер осуществлялась по разработанному

авторами механо-оптическому маркеру, установленному на лук, и определяющему контрольную точку измерения.



Рисунок 1 - Комплекс аппаратуры на испытуемом

Контрольная точка представляет собой щелчок кликера, который включала световой маркер. Механо-оптический маркер позволял точно определять контрольную точку для всех синхронизируемых записей. Поскольку стандартная методика светоотражающих маркеров задействовала направленные лампы, усложняющие процесс настройки и регистрации видеоанализа, нами были разработаны светящиеся маркеры. Каждый маркер имел свой источник питания и светодиодный элемент, был незначителен по весу и не требовал настройки освещенности для светопринимающей матрицы камеры. Границы наших маркеров были точными и яркими, что позволило повысить качество регистрации и анализа кинематических параметров. Сравнение заводских светоотражающих маркеров и, разработанных нами, светящихся маркеров представлено на рисунке 2.

Расчет кинематических параметров локомоций производился в программе Videomotion 2D (г. Москва) в двух осях. Ось Z – вертикаль, Y – продольная, направленная справа налево. После загрузки видефрагмента форматом “.avi”, в программе Videomotion 2D, выполняли ручное определение всех маркеров первых

четырёх кадров, далее происходило программное автоопределение световых маркеров последующих кадров.

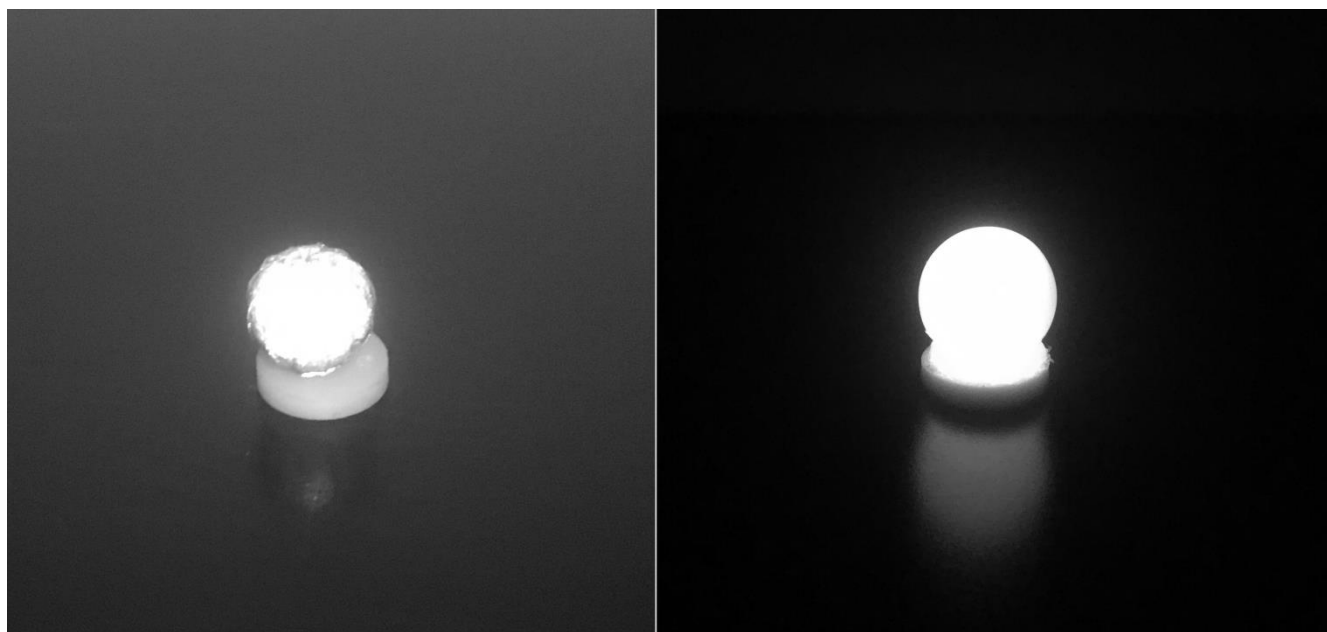


Рисунок 2 - «Заводской» маркер (слева) и разработанный маркер (справа)

Установка и настройка тест-объекта производилась в ручном режиме. По контрольной точке и кадру определялся временной интервал для дальнейшей обработки результатов. Пример анализа регистрируемых кинематических параметров представлен на рисунке 3. Регистрация суммарной биоэлектрической активности мышц осуществлялась с помощью поверхностных (накожных) электродов в состоянии покоя и во время соревновательного упражнения. Регистрация биопотенциалов скелетных мышц осуществлялись телеметрически посредством аппаратно-программного комплекса (АПК) «СпортЛаб». Комплекс предназначен для одновременной регистрации электрической активности 8 мышц и видеосигнала в формате AVI. Частота дискретизации миографического сигнала составляла 1000 Гц. Постановка электродов осуществлялась по разработанным метрологическим правилам, связанным с положением активного и референтного электродов на мышцы, положением заземляющего электрода, фильтрации входного ЭМГ-сигнала и т.п. (D.A. Winter et al., 1972). Использовались одноразовые накожные дисковые электроды, общий диаметр каждого составлял

30 мм, а токопроводящей поверхности – 0,9 см. Активный электрод располагался над брюшком исследуемой мышцы (в проекции двигательной точки). Референтный электрод фиксировался по ходу мышечных волокон с межэлектродным расстоянием 2-3 см. Заземляющий электрод крепился на каждой исследуемой мышце. Электромиограф позволял записывать электрическую активность скелетных мышц, не стесняя движения спортсмена. Данные передавались в режиме on-line, на основе беспроводных технологий Bluetooth. По опросу исследуемых, дискомфорта во время движений, связанного с креплением электродов на мышцы, выявлено не было.

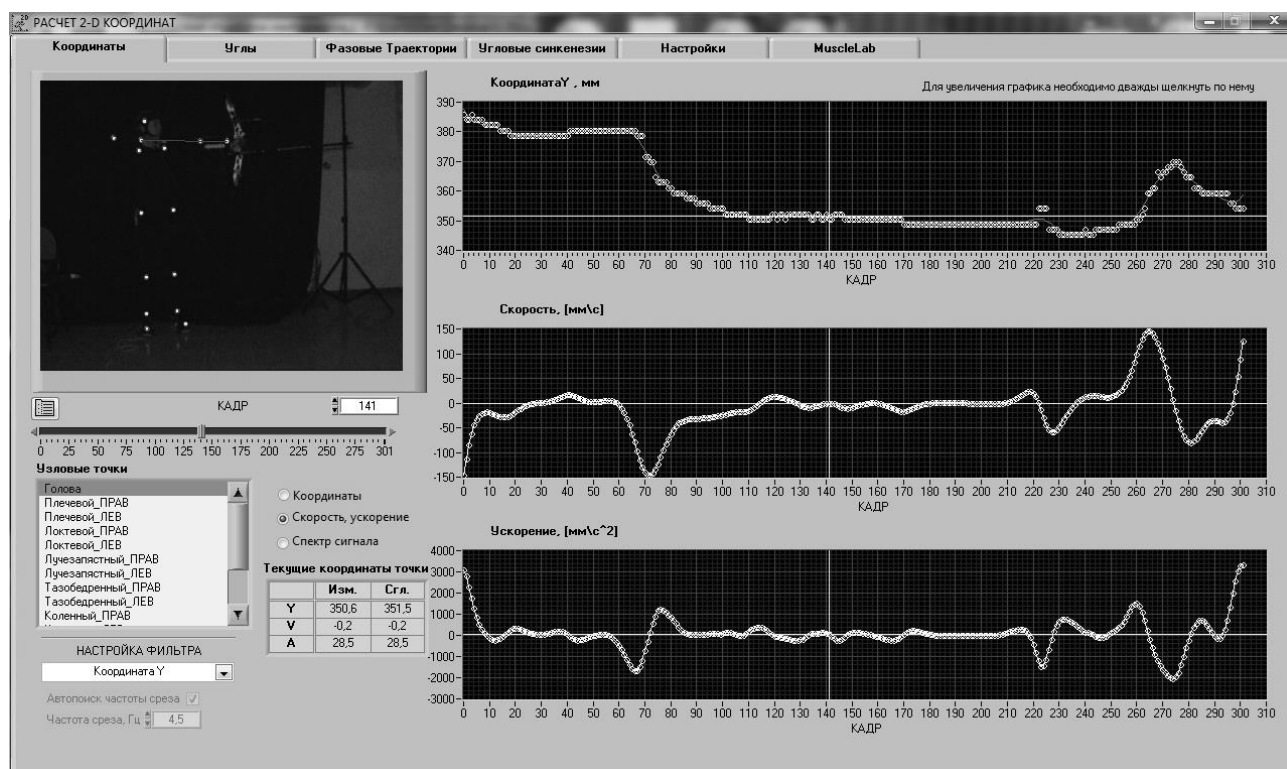


Рисунок 3 - Анализ основных кинематических характеристик за период всего выстрела

Исходя из анализа литературы и параметров регистрируемого оборудования, исследованы 8 мышц: *M. triceps brachii dexter*, *M. triceps brachii sinister*, *M. biceps brachii sinister*, *M. biceps brachii dexter*, *M. deltoideis sinister*, *M. deltoideis dexter*, *M. trapezius sinister pars ascendens*, *M. trapezius dexter pars ascendens*. Проведен анализ интегрированной ЭМГ, частоты и амплитуды спектра ЭМГ (рис. 4). ЭМГ-параметры регистрировались с билатеральных скелетных мышц.

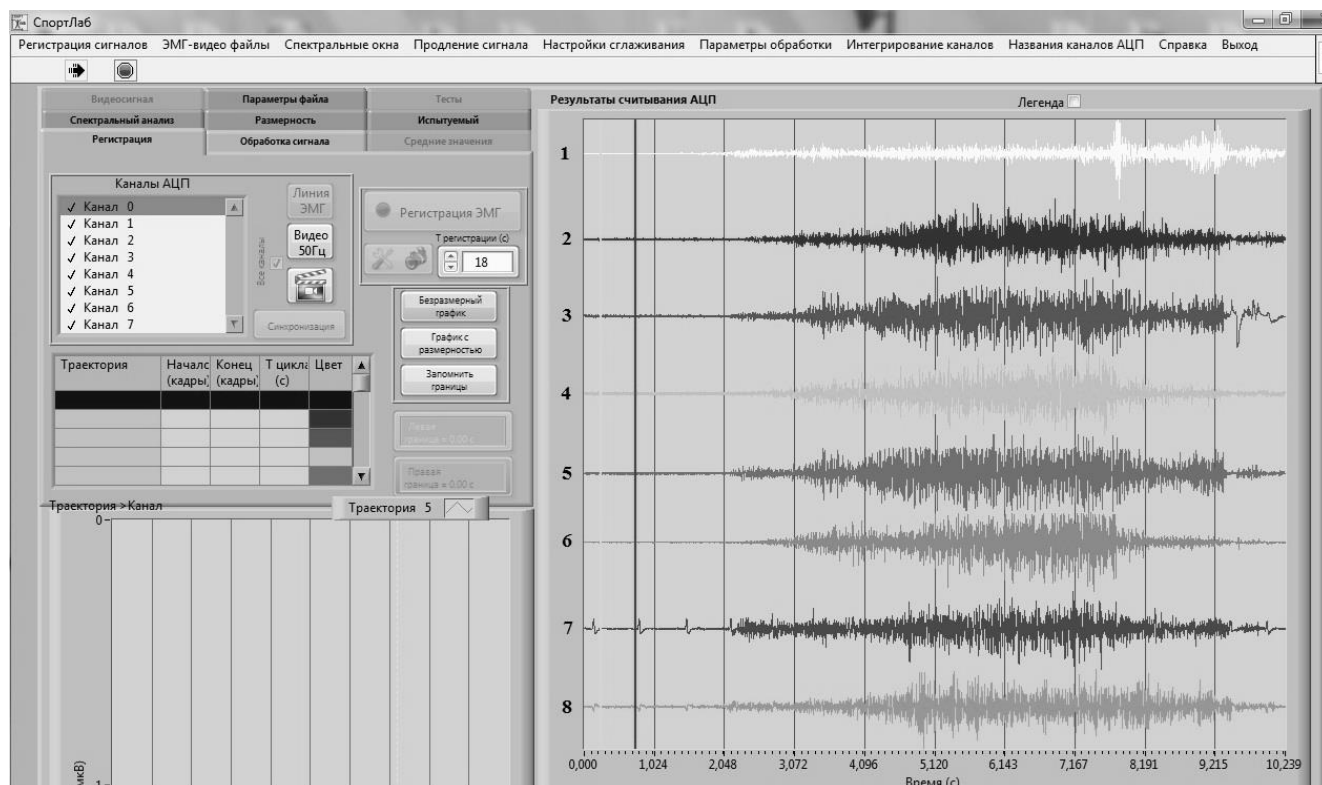


Рисунок 4 - Типичный образец ЭМГ во время выполнения выстрела из лука (1 – двуглавая мышца плеча слева, 2 – двуглавая мышца плеча справа, 3 – трехглавая мышца плеча слева, 4 – трехглавая мышца плеча справа, 5 – средние пучки дельтовидной мышцы слева, 6 - средние пучки дельтовидной мышцы справа, 7 – нижние пучки левой трапецевидной мышцы, 8 – нижние пучки правой трапецевидной мышцы).

Для анализа биполярного электрического сигнала мышц использовалась программа «СпортЛаб». Каждый выстрел имел исходный файл зарегистрированной ЭМГ с частотой 1000 Гц и видеофайл с частотой 25 Гц. Для анализа данных использовались выстрелы длительностью от 3 секунд. В итоге у каждого спортсмена из 60 выстрелов проанализировали 30. При последующей обработке ЭМГ сигналов, ориентируясь по контрольной точке на видеофрагменте, выделяли нужный временной интервал, соответствующий фазе прицеливания. Этот интервал подвергался обработкам:

- медианный фильтр формировал сглаженную (от выбросов или промахов) и инвертированную миограмму;
- скользящее среднее производило усреднение сигнала во временном окне;

- удаление механограммы;
- сглаживание фильтром Баттерворта.

Следующим этапом было определение интегральных показателей биопотенциалов мышц, спектральных характеристик ЭМГ, отражающих изменения в амплитуде сигнала и частоте импульсации мотонейронов, (инструкция АПК СпортЛаб) с последующим расчетом в программе Statistica 10.0. Названия скелетных мышц в работе приведены в соответствии с действующей Международной анатомической терминологией (В.П. Воробьев, 1942).

Регистрация электроэнцефалограммы (ЭЭГ) осуществлялась с помощью 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) с частотой опроса каналов от 4 до 35 Гц. Шлем с электродами надевался на голову исследуемого и с помощью специального токопроводящего геля осуществлялась настройка сопротивления определенных участков скальпа с отведениями. Девятнадцать активных электродов располагались над определенными областями коры больших полушарий, референтные электроды A1, A2 – на мочках ушей (рис. 5).

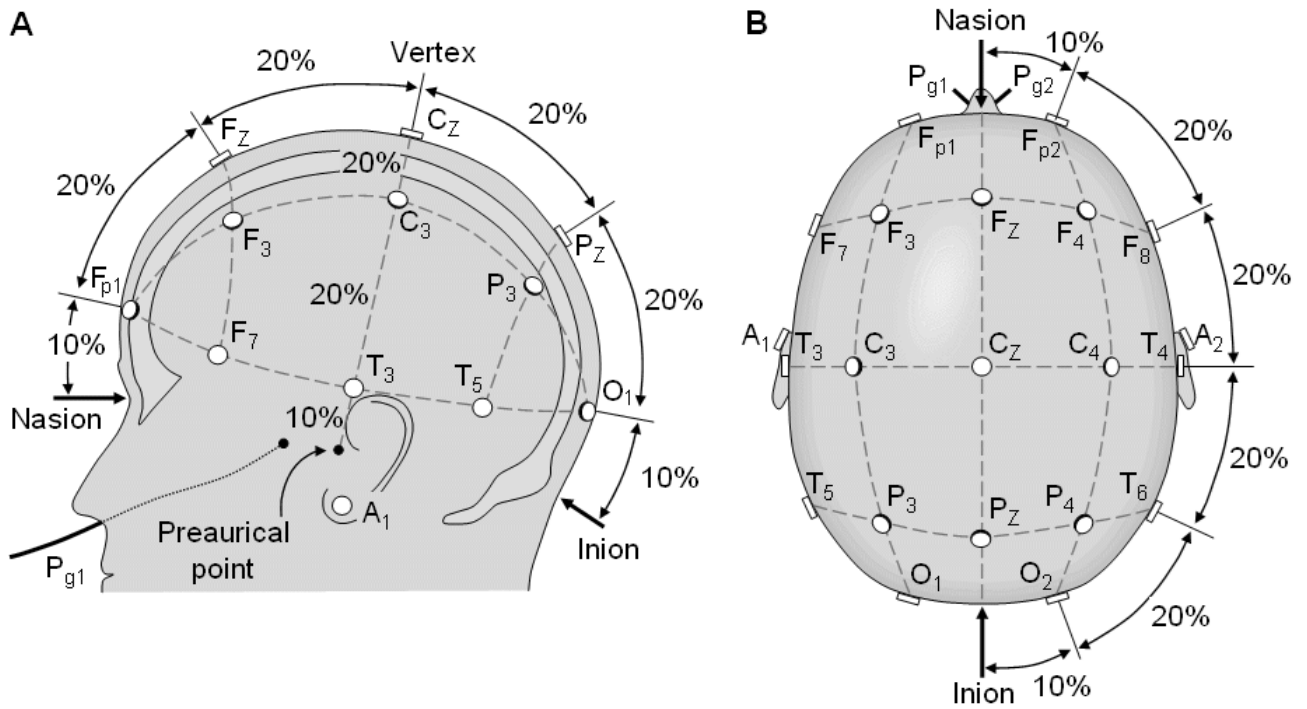


Рисунок 5 - Система 10-20 расположения электродов на скальпе.

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 биомеханические 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 ЭОК.

Телеметрическая регистрация ЭЭГ-показателей позволяла испытуемому выполнять спортивное упражнение в естественных условиях.

Регистрация осуществлялась как в состоянии покоя, так и при выполнении движений, но при неподвижном положении головы. Однако, при выполнении сложных движений, требующих значительного мышечного напряжения, существовал риск наложения физиологических артефактов на запись ЭЭГ в процессе регистрации. Электромиографические (ЭМГ) артефакты отличаются от

нормального ритма на ЭЭГ большей амплитудой, более неправильным, нерегулярным по частоте и более высокочастотным ритмом. Избавление от артефактов ЭМГ достигалось применением фильтров низких частот, позволяющее дифференцировать β -активность ЭЭГ от ЭМГ (В.И. Гусельников, 1976). Типичная запись ЭЭГ во время выполнения выстрела при неподвижном положении головы представлена на рисунке 6.

Полученные результаты регистрации ЭЭГ с программы «Энцефалан» переводились в формат EDF и анализировались посредством программы WinEEG фирмы «Мицар» (г. Санкт-Петербург). Анализ ЭЭГ включал оценку записи и дифференциацию артефактов от собственно ЭЭГ феноменов. Количественное определение частотных и амплитудных характеристик производилась в диапазонах: тета (4-8 Гц), альфа 1 (8-10 Гц), альфа 2 (10-13 Гц), бета 1 (14-24 Гц), бета 2 (24-35 Гц). Общий частотный диапазон ЭЭГ находился в пределах от 4 до 35 Гц.

Посредством спектрального анализа анализировали структуру частотных составляющих ЭЭГ и ее мощности по всем 19 отведениям. Одним из наиболее информативных и востребованных является анализ спектра мощности ЭЭГ (Водолажская М.Г. и соавт., 2010). Усредненные топографические карты мощности спектра ЭЭГ рассчитывались в состоянии активного покоя с закрытыми глазами (фоновая запись), стоя с открытыми глазами и при выполнении соревновательного упражнения в моменты неподвижного положения головы. Продолжительность анализа ЭЭГ составляла 30 секунд, а при прицеливании 3 секунды, эпоха анализа при расчете усредненных топографических карт ЭЭГ составляла 1 секунду, количество усреднений – 80. Мощность спектра рассчитывалась в $\text{mV}^2/\text{с}$.

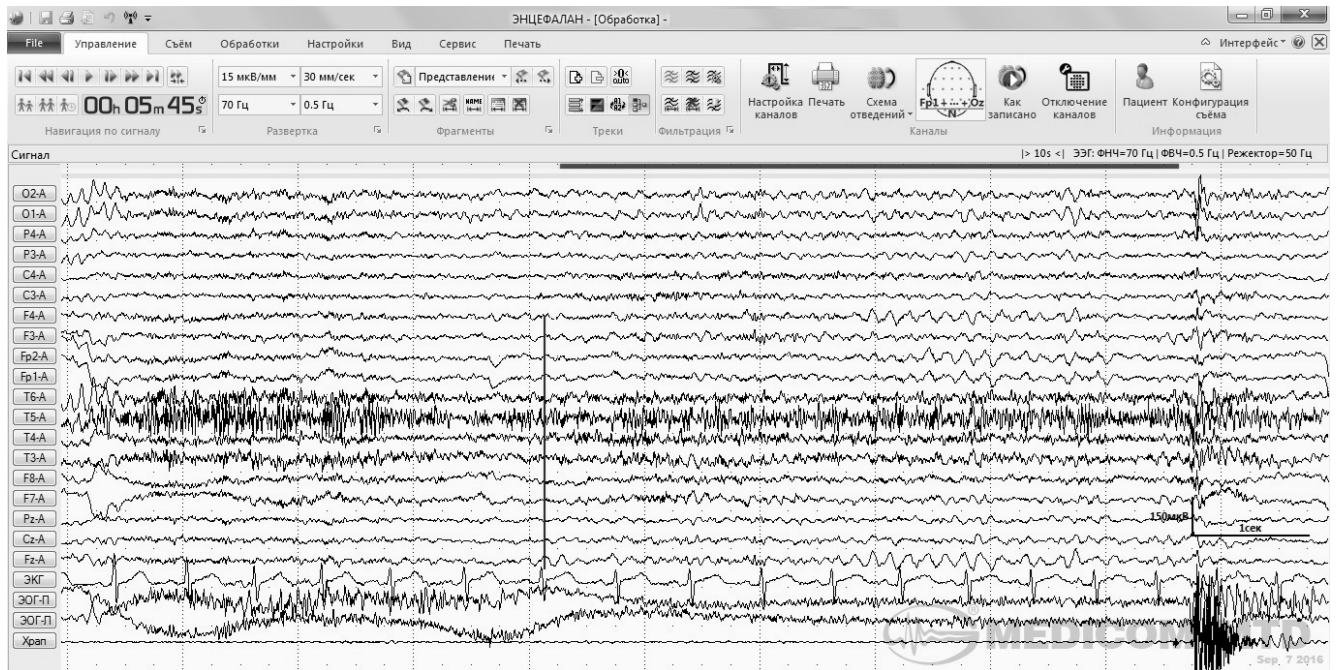


Рисунок 6 - Электроэнцефалограмма во время выполнения выстрела из лука. На рисунке представлен отрезок ЭЭГ одного из выстрелов, вертикальной линией обозначалось перевод взгляда. Щелчок кликера - небольшой пик до начала выстрела на канале датчика храпа.

Топографические карты мощности спектра ЭЭГ позволяли судить о пространственной локализации участков мозга, имеющих высокую или низкую энергию спектра в различных частотных диапазонах. Усредненные топографические карты мощности спектра ЭЭГ сравнивались между собой в исследуемых частотных диапазонах и в разных экспериментальных условиях. Вычитания (из прицеливания исход) позволяло выявить изменения мощности спектра ЭЭГ, характерные для каждой экспериментальной ситуации. По результатам статистического анализа были представлены групповые и индивидуальные топографические карты значимых изменений преимущественно мощности спектра ЭЭГ. Дополнительно математическому анализу (корреляционному и аппроксимационному) подвергался 31416 параметр ЭЭГ от одного испытуемого, учитывая возможности используемого цифрового ЭЭГ-оборудования, число отведений ЭЭГ, число исследуемых частотных диапазонов, количество выстрелов, а также 7 фаз упражнения. Так, в каждую из 7-ми фаз у каждого испытуемого по 19 отведениям ЭЭГ автоматически фиксировались и при его точных, и при его неточных выстрелах: абсолютные значения мощностей

(мкВ*2/с), относительные значения мощностей (%), значения доминирующих и средневзвешенных частот (Гц), эффективная полоса частот (Гц), абсолютный и относительный коэффициент асимметрии (%), коэффициент частотной асимметрии (%), абсолютные и относительные значения амплитуд (мкВ), доминирующих и средневзвешенных частот (Гц), фазовый угол доминирующей частоты, кросс-спектр со всеми отведениями.

Статистическая обработка результатов исследования проводилась в операционной системе Windows 10 при помощи пакетов программ Microsoft Excel 2007 и Statistica 10.0. Вычислялись следующие статистические параметры: среднее арифметическое (M), ошибка среднего арифметического (m). Достоверность различий исследуемых показателей ЭЭГ определялась посредством однофакторного дисперсионного анализа. При расчете биодинамических характеристик применяли параметрический критерий (Стьюдента) и непараметрический (Вилкоксона) критерий достоверности различий. В некоторых случаях для сравнения исследуемых параметров стандартизированные результаты рассчитывались в процентах. Помимо этого, при математической обработке применяли корреляционный анализ, а также аппроксимировали регрессионные зависимости по методу наименьших квадратов, сравнивая фактические значения и данные, получаемые из уравнения функции. По результатам сравнения вычисляли коэффициент детерминированности (R^2), нормируемый от 0 до 1, который служил показателем достоверности аппроксимации. Учитывая зависимость точности аппроксимации от степени разброса данных, принималось положение: чем ближе отдельные показатели к линии графика функции, тем более точной является модель, описываемая данной функцией.

ГЛАВА 3 ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ МАРКЕРЫ ЦЕЛЕНАПРАВЛЕННЫХ ДВИЖЕНИЙ В СТРЕЛЬБЕ ИЗ ЛУКА (РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ)

3.1 Пространственно-временные интервалы при разворачивании спортивного упражнения «Стрельба из лука»

В начале исследования осуществлялось разделение целого выстрела (спортивного упражнения) на временные интервалы с *предварительным* комплексным анализом тех биологических маркеров, которые синхронно выявлялись уже на данном этапе, то есть, для более детальной оценки. Это, на наш взгляд, давало возможность обобщённого суждения о функциональных особенностях и связях между различными структурами целостного организма спортсмена на уровне общей характеристики. С учётом результатов анализа вышеизложенных литературных данных (И.Н. Бучатская и др., 2013; M. Vittorio, M. Frangilli, 2005), а также - авторского профессионального спортивного опыта, мы установили фазы и периоды разворачивания, подготовки и реализации выстрела из лука (рис. 7).

Периоды упражнения и фазы внутри каждого периода сопоставляли с динамикой кинематических, электромиографических (ЭМГ), электроэнцефалографических (ЭЭГ) и вегетативных параметров, которые расценивали в качестве предварительных маркеров в том случае, если их набор (динамический комплекс) был специфичен для данной фазы или для данного периода, то есть не выявлялся в течение иных временных отрезков упражнения. Паттерн наблюдаемых изменений должен был подтвердить либо опровергнуть правильность разбиения упражнения на периоды и фазы. На данном этапе, как уже было сказано в главе 2, синхронно регистрировались кинематические параметры с частотой дискретизации 25 Гц и для лучезапястных суставов 240 Гц, ЭМГ 8 ведущих мышц (левая двуглавая мышца плеча, правая двуглавая мышца плеча, латеральная часть

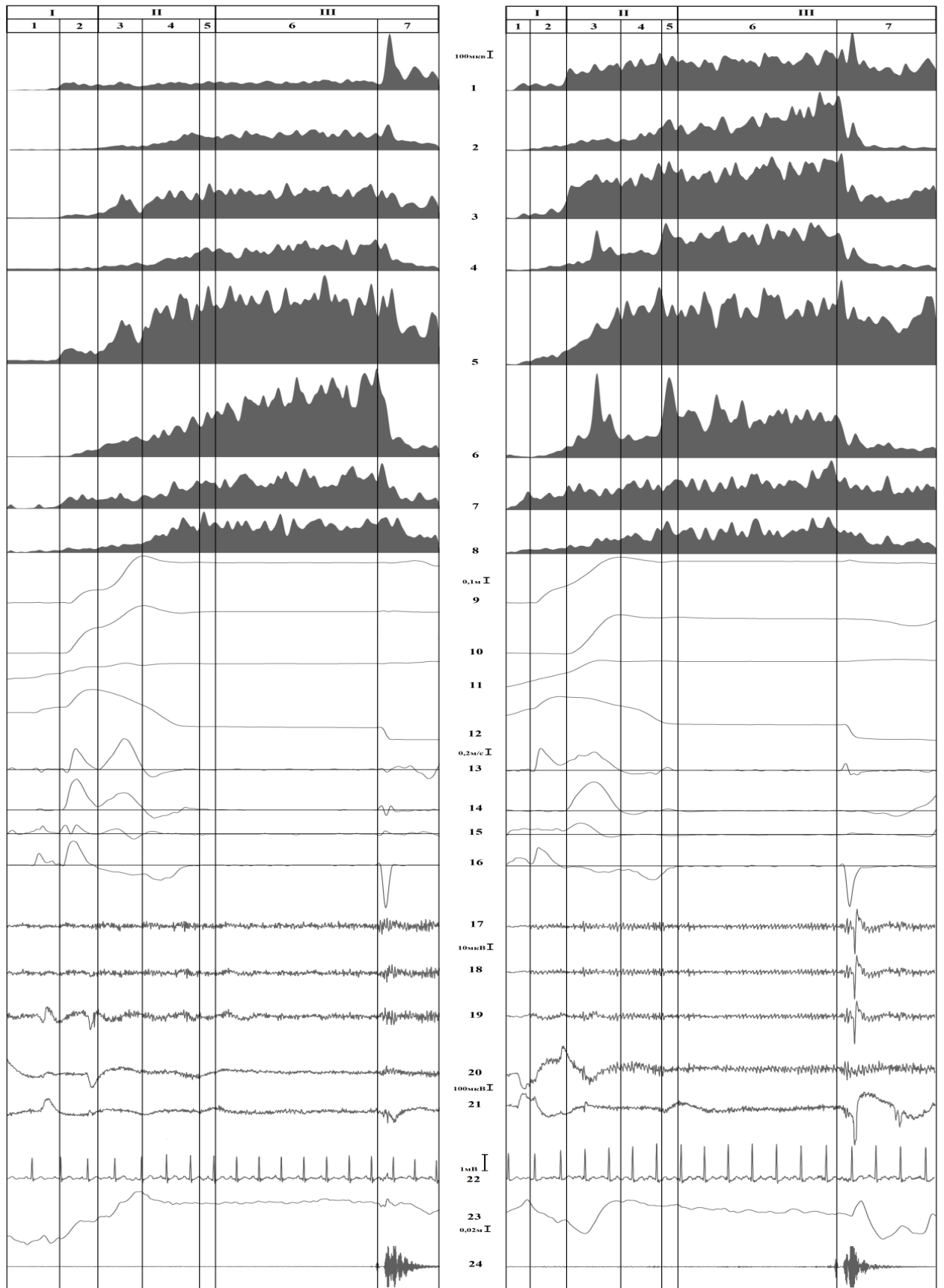


Рисунок 7 - Формирование фаз и периодов реализации выстрела на примере маркёров лучника из группы КМС (слева) и лучника из группы 1 разряда (справа).

Остальные обозначения – в тексте.

левой трехглавой мышцы плеча, латеральная часть правой трехглавой мышцы плеча, средний пучок левой дельтовидной мышцы, средний пучок правой дельтовидной мышцы, нижняя часть трапециевидной мышцы слева, нижняя часть трапециевидной мышцы справа), 2 ЭОГ на круговых мышцах глаз, анализ динамики мощности спектра ЭЭГ в 19 отведениях, пневмограмма (рекурсия дыхания РД), ЭКГ и данные с датчика двигательной активности (ДДА). Компоновка результатов производилась путем анализа в программах Videomotion 2D, SportLab, WinEEG, Энцефалан 19/26 ЭЭГ с последующим преобразованием в табличный редактор Excel.

Комплекс биологических маркеров по исследуемым показателям (пока преимущественно кинематических и ЭМГ) позволил сформировать целостную картину спортивного упражнения. Наиболее важные маркеры формирования фаз и периодов реализации выстрела представлены на рисунке 7 на примере двух спортсменов из групп разной квалификации с наиболее типичными наборами параметров, специфичных для каждой конкретной фазы и периода. Приведены выстрелы общей длительностью по 10 секунд. На рисунке по горизонтали выделены I-III периода, и 1-7 фаз развертывания выстрела. По вертикали сверху вниз даны регистрируемые 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 – координаты перемещения левого и правого лучезапястных суставов по оси Y (м); 13,14 – скорость перемещения левого и правого лучезапястных суставов по оси Z (м/с); 15,16 - скорость перемещения левого и правого лучезапястных суставов по оси Y (м/с); 17-19 - O1, C3, Fp1 отведения ЭЭГ (мкВ); 20, 21 - правая и левая ЭОГ (мкВ); 22 – ЭКГ (мВ); 23 – РД (м); 24 – ДДА.

Кинематические, ЭМГ, ЭЭГ (данные по электроэнцефалографии представлены ниже) и вегетативные маркеры по описанным выше кривым позволили подтвердить физиологическую целесообразность разбиения на

основные периоды и фазы разворачивания, подготовки и реализации выстрела. Каждый период имел свою функциональную значимость и являлся основой для формирования последующего.

Первый период представлял *предварительную подготовку* к выстрелу и включал две фазы, имел индивидуальный и непостоянный характер. Тем не менее, все моторные и подготовительные действия являлись «фундаментом» для реализации и успеха спортивного упражнения, поэтому требовали физиологического маркирования. Первая фаза, *фаза подготовки*, включала занятие огневой позиции, зарядание стрелы. Захватом тетивы тянущей рукой и упиранием в лук начиналась вторая фаза, *фаза изготовки*. Данная фаза являлась завершением изготовки и формирования оптимальной вертикальной позы, определяющей высокий уровень ее устойчивости. Период имеет функциональную значимость, так как позная устойчивость, в конечном итоге, определяет оптимальное развитие последующих периодов.

Биологическими маркерами определения первой фазы являлось отсутствие активности ЭМГ в большинстве мышц при нормальном ритме ЭКГ и РД. Незначительное повышение активности *M. biceps brachii sinister* и *deltoideus sinister* во второй фазе связано с удержанием лука в левой руке во время захвата тетивы. При сравнении биопотенциалов электрической активности мышц у разных спортсменов наблюдалась зависимость между ранним включением в работу мышц и весом самого лука, что проявлялось как высокоамплитудные пики на ЭМГ. Активация *M. trapezius sinister pars ascendens*, определяет удержание левого плечевого сустава в крайнем нижнем положении, что становится основой для правильного формирования упора в лук в следующей фазе упражнения. Такая особенность проявляется у всех спортсменов. Анализ ЭЭГ в исходном состоянии, а так же в состоянии с закрытыми глазами показал нормальное распределение электрической активности головного мозга, количество артефактов в выборке исследуемых было незначительным. Артефакты записи ЭЭГ были удалены. В левом переднем лобном отведении (но не в затылочном и не в центральном) в конце первой и в конце второй фазы регистрировались единичные амплитудные

всплески. Вероятно, мозг реагировал усилением неокортикальной преимущественно когнитивной функции, повышением её общей суммарной биоэнергетики (коль скоро амплитуда увеличивалась даже без учёта конкретного частотного диапазона и лишь в определённом отведении). При этом спортсмен был неподвижен: в конце первой фазы было завершение заряжения стрелы и это сопровождалось синхронной реакцией, заметной на левой окулограмме. В конце второй фазы - упирание в лук, что сопровождалось, перекрёстной синхронной реакцией, отображавшейся на правой окулограмме. Оба сдвига происходили в моменты перехода к следующей фазе и несколько предшествовали переходу, упреждая его. Возможно, так выражало себя подготовительное церебральное энергоснабжение дальнейших действий, в соответствии с перераспределением внутримозговой энергии (Рослый И.М., Водолажская М.Г., 2020) с постепенным смещением влево в пределах $Fp1$. Следует отметить, что амплитудный всплеск не был характерен для 1 и 2 фаз всех луников – КМС, и не проявлял себя в течение других оцениваемых отрезков времени у тех спортсменов, у которых он всё же был зарегистрирован. Исходя из этих соображений, на данном этапе наблюдаемые сдвиги на ЭЭГ заносить в список маркеров мы посчитали преждевременным, хотя начальные фазы выстрела КМС обратили на себя внимание относительно некоторой индивидуально выраженной нейрофизиологической нестабильности. Вместе с тем, у спортсменов из группы 1 разряда подобные явления в первых двух фазах выстрела зарегистрированы не были. Суммарная частота их ритмов ЭЭГ была ниже, чем у КМС, впрочем пока (в общей сумме) без статистической значимости. Частота дыхания и сердечных сокращений была в норме.

Второй период - *динамический*, включал три фазы, обеспечивающих формирование функциональной системы стрелок-оружие в условиях усложнения вертикальной позы спортсмена. Третья фаза - фаза *установки*, подъем опорной руки до оптимального уровня положения лука, сопровождающегося его натяжением. Начало фазы определялось повышением электрической активности большинства мышц с последующим перемещением координат лучезапястных суставов по оси Z с увеличением их скоростей. Датчик рекурсии дыхания

регистрировал глубокий вдох. Завершение фазы определялось максимальным значением координат левого и правого лучезапястных суставов и снижением скорости их перемещения. Данная фаза характеризовалась более высокой электрической активностью *M. biceps brachii sinister* и *triceps brachii sinister* у спортсменов КМС $288,5 \pm 38,4$ и $487,6 \pm 72,7$ мкВс при сравнении с лучниками более низкой квалификации $146,4 \pm 25,3$ и $234,2 \pm 31,4$ мкВс ($p \leq 0,01$). Так же в большинстве выстрелов у спортсменов 1 разряда регистрировались высокоамплитудные пики в *M. triceps brachii dexter* и *deltoideis dexter*. Величина перемещения координат лучезапястных суставов не сравнивалась, в связи с антропометрическими различиями спортсменов. Четвертая фаза, фаза *основного натяжения*, характеризовалась продолжением натяжения лука за счет *M. triceps brachii sinister* и *deltoideus sinister*. Датчик РД регистрировал полу-выдох, с последующей остановкой вплоть до заключительной фазы выстрела. Перемещение координат лучезапястных суставов связано с окончательной установкой мушки в область мишени. Во время основного натяжения взгляд спортсмена направлен в сторону мишени для определения оптимальной области положения мушки относительно мишени. Перед *укладкой* - 5 фазой, взгляд переводится на наконечник стрелы, для контроля длины натяжения лука. В течение этой фазы спортсмену необходимо максимально вытянуть стрелу из-под кликера и осуществить подчелюстную фиксацию тянущей правой руки. Данные действия сопровождались незначительным снижением координаты правого лучезапястного сустава по оси Z и постоянством электрической активности большинства мышц. Оптимальный уровень позной устойчивости во втором периоде сохранялся спортсменом при большом напряжении описанных выше мышц и высокой их согласованности. В данном периоде происходит повышение активности всех ведущих мышц при динамическом их сокращении, координаты лучезапястных суставов перемещаются в обеих плоскостях, значительно повышаются их скорость и ускорение. При сравнении электрической активности мышц в данном периоде замечено большее включение количества активных мышц у спортсменов-перворазрядников. Динамика увеличения площади ЭМГ у

лучников КМС достаточно стабильна, что характеризует высокую координационную устойчивость опорно-двигательного аппарата. Средняя скорость натяжения лука у всех спортсменов составляла $0,42 \pm 0,0074$ м/с, однако у шести спортсменов она была значительно ниже средней и составляла $0,38 \pm 0,0071$ м/с ($p \leq 0,001$). Длина натяжения лука в расчет не принималась, так как она является индивидуальной для каждого испытуемого. Физиологические артефакты, проявляющиеся на ЭЭГ, связаны с высоко амплитудными движениями испытуемого. Итогом этого периода является формирование монолитной системы стрелок-оружие.

Третий период прицеливания, обеспечивал *зрительно-моторную коррекцию* с последующим выстрелом. Этот завершающий период спортивного упражнения характеризовался прецизионной координацией за счет использования зрительно-обратной связи – удержания мушки в центре мишени. Третий период является ответственным за точность выстрела, что связано с контролем сенсомоторных и вегетативных функций по показателям ЭМГ, ЭЭГ, ЭКГ и пневмограммы. Начало шестой фазы *прицеливания*, определялось по окулограммам. В этот момент взгляд с наконечника стрелы переходит на мушку, для последующего контроля прицеливания, что отражается на записи ЭОГ. Многие авторы отмечают эту фазу как наиболее значимую в формировании успешного выстрела, однако маркирования начала фазы прицеливания по данной реперной точке не производилось (И.Н. Бучатская и др., 2013; K-S. Lee, 2009; X-Ц.Д. Гомбожапова, 2011). К концу фазы постепенно возрастала электрическая активность мышц, в связи с тем, что увеличивалась длина растяжения лука, а соответственно и его усилие. Прицеливание заканчивалось срабатыванием кликера, точно прослеживаемым по каналу ДДА. Анализ ЧСС в фазе прицеливания не выявил учащения сердцебиения в сравнении с началом упражнения ($97,58 \pm 0,67$ уд/м и $99,02 \pm 0,82$ уд/м), однако у двоих испытуемых группы 1 разряда определялось учащение ритма ЭКГ в фазе прицеливания, $102,21 \pm 0,87$ уд/м ($p \leq 0,05$), что свидетельствует об усилении деятельности вегетативного компонента при нарастающей нагрузке. Схожие данные получали (Salazar et al., 1994 Robazza et al,

1999). Динамика интервалов зубцов RR ЭКГ в период прицеливания дает возможность судить о вегетативных реакциях в решающий момент развертывания данного спортивного упражнения. Зависимости выпуска стрелы между R-зубцами ЭКГ выявлено не было. Данные пневмограммы позволили не только определить уровень вдоха, но и получить информацию о функционировании дыхания во время фазы прицеливания. Стоит отметить, что в начальных исследованиях у двоих стрелков из лука 1 разряда был выявлен дополнительный вдох во время прицеливания, что говорит о неправильной технике дыхания во время стрельбы и о слабом развитии дыхательной системы. Более подробный анализ кинематических, ЭМГ- и ЭЭГ- показателей представлен в 4 главе. Седьмая фаза выпуска стрелы – *выстрел*. Ее начало определяется перемещением правого лучезапястного сустава по оси У с одновременным увеличением его скорости, что связано с отводом правой руки по горизонтали в момент выстрела. Продолжается фаза уменьшением электрической активности всех мышц кроме *M. biceps brachii sinister*, которая принимает нагрузку свободного лука. Конечная фаза выстрела характеризовалась зрительно-моторной реакцией на звуковой сигнал срабатывания кликера. Время двигательной реакции на кликер является одной из важнейших временных характеристик в успешной реализации выстрела из лука (K-S. Lee, 2009; и другие). Величина латентного времени рефлекса служит важным показателем функционального состояния нервных центров (А.С. Солодков, Е.Б. Сологуб, 2017). Средние значения реакции на кликер у группы КМС составили $0,155 \pm 0,003$ с, достоверно больше значения и разброс показала группа 1 разряда $0,178 \pm 0,01$ с ($p \leq 0,05$), схожие результаты получали зарубежные авторы (M. Heller, 2012; С. Tinazci, 2011). Звуковой сигнал щелчка кликера является стимулом к выстрелу, а именно спуску тетивы с пальцев правой руки с последующим вылетом стрелы из лука. При этом начальная скорость стрелы составляет порядка 100 м/с (В.М. Адашевский, 2012), и какая-либо моторная коррекция в этот момент невозможна. Следовательно, после вылета стрелы какие-либо дальнейшие изменения в структуре производства выстрела никаким образом не повлияют на исходный результат. Скорость отведения руки в момент выстрела

у группы КМС составляла $0,70 \pm 0,018$ м/с, что незначительно выше, чем в группе 1 разряда $0,65 \pm 0,016$ м/с ($p \leq 0,05$). Очевидно, что начало фазы выстрела, которое характеризовалось коротким промежутком времени, менее 0,5 секунды не позволяет производить какие-либо изменения в организации выстрела со стороны функциональных систем спортсмена и является уже следствием проявления зрительно-моторной коррекции в предыдущей фазе. Окончание фазы, а также всего выстрела, определялось расслаблением мышц с последующим опусканием лука.

Таким образом, приведенные результаты первичного комплексного анализа выделяет функционально значимые периоды и фазы, обозначает вектор к дальнейшей расшифровке физиологических механизмов организации ЦД человека на примере стрельбы из лука, и к возможности объективно оценивать запланированный результат по биологическим маркерам на различных стадиях развертывания спортивного упражнения. Предварительно, на основании результатов такого пофазного анализа преимущественно биомеханических и ЭМГ (пока без детализации ЭЭГ) маркёров наиболее информативным и важным временным интервалом является фаза прицеливания периода зрительно-моторной коррекции в формировании и реализации выстрела из лука. Нейрофизиологические флуктуации, определяемые по ЭЭГ (церебральная микроритмика), требовали более тонкого детального анализа с шагом, значительно короче, чем «период» или «фаза» стрелкового упражнения. Но уже по предварительным данным биоэлектрическая активность головного мозга (БЭАГМ) в качестве предпосылок, помимо прицеливания, обращали на себя внимание две начальные фазы выстрела.

Паттерн наблюдаемых изменений подтвердил правомочность разбиения упражнения на фазы внутри трёх периодов.

3.2 Динамика кинематических, ЭМГ и ЭЭГ показателей при прицеливании у лучников различной квалификации

Выделенные в предыдущей главе пространственно-временные интервалы при стрельбе из лука, а также их кинематические и ЭМГ- (но пока не ЭЭГ) маркеры, - позволили предположить, что наиболее значимым временным интервалом в данном спортивном упражнении становится фаза прицеливания, физиологическими составляющими которой являются зрительно-моторные акты двигательного навыка. Синхронная регистрация кинематических, ЭМГ и ЭЭГ показателей дала возможность их дифференцировать (в том числе, индивидуализировать) по высоко- и низкоточным выстрелам у КМС и перворазрядников. На данном этапе анализа были учтены результаты 16-ти зарегистрированных кинематических маркеров в двух плоскостях, 8 нативных ЭМГ, 19 отведений ЭЭГ, 2 ЭОГ, ЭКГ и ДДА у специальной выборки из 40 спортсменов правшей, стреляющих их классического лука.

Комплексной оценке подвергалась фаза прицеливания, начало которой определялось по окулограммам, конец - по щелчку кликера на канале ДДА. Дополнительно при анализе ЭЭГ проводили регистрацию БЭАГМ в исходном состоянии покоя, для дальнейшего вычитания из фазы прицеливания, а также фаза подготовки.

Напомним, что выстрелы разной результативности были разделены на высокоточные (10 очков) и низкоточные (8, 7, 6 очков). Пробоины достоинством в «9» очков анализу не подвергались. В итоге для расчета результатов, у каждого спортсмена было выделено по 30 выстрелов разной результативности с продолжительностью прицеливания не менее 3 секунд.

Анализ результатов показал, что количество выстрелов разной результативности различалось между группами (табл. 2).

Среднее количество высокоточных выстрелов (10 очков) в первой группе спортсменов составило $25 \pm 1,8$, а низкоточных (8-6 очков) достоверно меньше - $16 \pm 1,6$. Среднее число высокоточных выстрелов в группе спортсменов более низкой квалификации (1 разряд) составило $15 \pm 1,1$, а низкоточных – достоверно

больше $25 \pm 1,0$. Очевидные отличия частоты точных выстрелов было в пользу КМС (P_2 , табл. 2).

Таблица 2. Количество выстрелов различной точности у спортсменов лучников КМС и 1 разряда. Фрагмент.

Спортсмены КМС (код)	«10 очков»	«8- 6 очков»	Спортсмены 1- разряд (код)	«10 очков»	«8-6 очков»
0,0,2	33	10	1,1,7	20	22
0,1,1	32	11	1,0,7	19	21
0,0,3	31	12	1,1,4	19	21
0,1,3	30	12	1,0,4	18	22
0,0,4	30	11	1,1,5	18	23
0,1,4	30	12	1,0,5	17	23
0,0,5	29	13	1,1,1	16	24
0,1,5	28	14	1,0,1	16	25
0,0,6	28	15	1,1,2	16	25
0,1,6	26	16	1,0,2	15	24
0,0,7	23	17	1,0,8	15	24
0,1,7	22	17	1,0,8	14	25
0,1,8	22	18	1,0,9	14	26
0,0,8	21	19	1,0,9	14	27
0,1,9	21	20	1,1,3	14	28
0,0,9	20	21	1,0,3	13	28
0,0,10	20	23	1,1,6	11	29
0,1,10	19	23	1,0,6	10	29
0,1,11	18	24	1,1,3	10	30
0,0,11	17	24	1,0,3	10	32
$M \pm m$	$25 \pm 1,8$	$16 \pm 1,6$	$M \pm m$	$15 \pm 1,1$	$25 \pm 1,0$
P_1	<0,05		P_1	<0,05	
P_2	<0,05	<0,05			

Примечание: P_1 – достоверность различий количества точных и неточных выстрелов в группе одной квалификации; P_2 – достоверность межгрупповых различий.

3.2.1 Комплексный анализ кинематических, ЭМГ и ЭЭГ показателей выстрелов различной точности у спортсменов более высокой квалификации

По результатам анализа *кинематических показателей* фазы прицеливания было установлено, что средняя длительность фазы у спортсменов КМС составляла $4,12 \pm 0,06$ с. Анализ временных характеристик, производимый с помощью программы WinEEG, показал, что при попаданиях высокой точности длительность фазы прицеливания составляла $4,01 \pm 0,07$ с, а при попаданиях низкой точности $4,07 \pm 0,08$ с. Между средними величинами длительности не выявлено достоверных различий (рис. 8). Из рисунка видно, что максимум высокоточных выстрелов находится в диапазоне от 3 до 4 секунд, а низкоточных - от 4 до 5 секунд. Вероятно, меньшее время прицеливания (без статической значимости при усреднении величин) несколько более благоприятно для точности выстрела лучника уровня КМС.

Длина дотяга во время фазы прицеливания (определяемая по расстоянию между светоотражающими маркерами, установленными на правом и левом лучезапястном суставах) при высокоточных выстрелах в начале и в конце фазы прицеливания в группе КМС составляла $7,7 \pm 0,15$ мм. При попаданиях низкой точности равнялась $8,2 \pm 0,18$ мм. Достоверных различий снова выявлено не было.

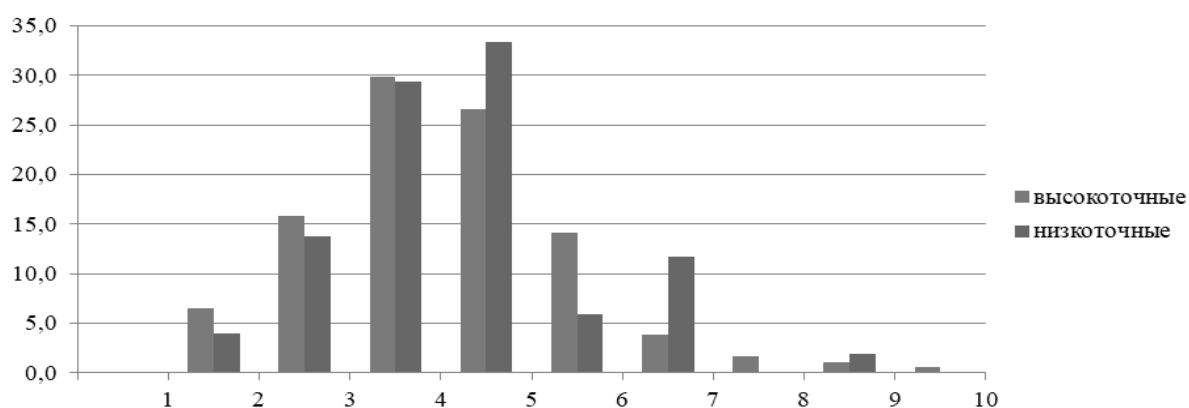


Рисунок 8 - Количество высоко- и низкоточных выстрелов в зависимости от временного интервала прицеливания в группах спортсменов КМС. Примечания: по оси ординат - количество выстрелов (%); по оси абсцисс - время прицеливания: от 0 до 1 с, от 1 до 2 с и т.д.

Характеристики интегрированной ЭМГ в фазу прицеливания при выстрелах различной точности представлены на рисунке 9 в порядке убывания площади ЭМГ. Из диаграммы видно, что наибольшая активность во время прицеливания проявляется в средней части левой и правой дельтовидных мышц $944,4 \pm 12,9$ мкВс и $853,6 \pm 9,8$ мкВс. Известно, что средняя часть дельтовидной мышцы, состоящая из коротких мышечных пучков, в состоянии проявлять большую силу по малым дугам и приспособлена преимущественно к статической работе (М.Ф. Иваницкий, 2016). Достоверное ($p \leq 0,001$) снижение активности по сравнению с дельтовидными мышцами проявили нижние пучки левой трапециевидной мышцы $440,0 \pm 8,4$ мкВ/с, трехглавая мышца плеча слева $343,3 \pm 6,0$ мкВ/с, нижние пучки правой трапециевидной мышцы $319,1 \pm 8,1$ мкВ/с, трехглавая мышца плеча справа $302,0 \pm 4,9$ мкВ/с, двуглавая мышца плеча справа $267,1 \pm 6,9$ мкВ/с, и самая наименьшая активность в левой двуглавой мышце плеча $112,2 \pm 1,2$ мкВ/с.

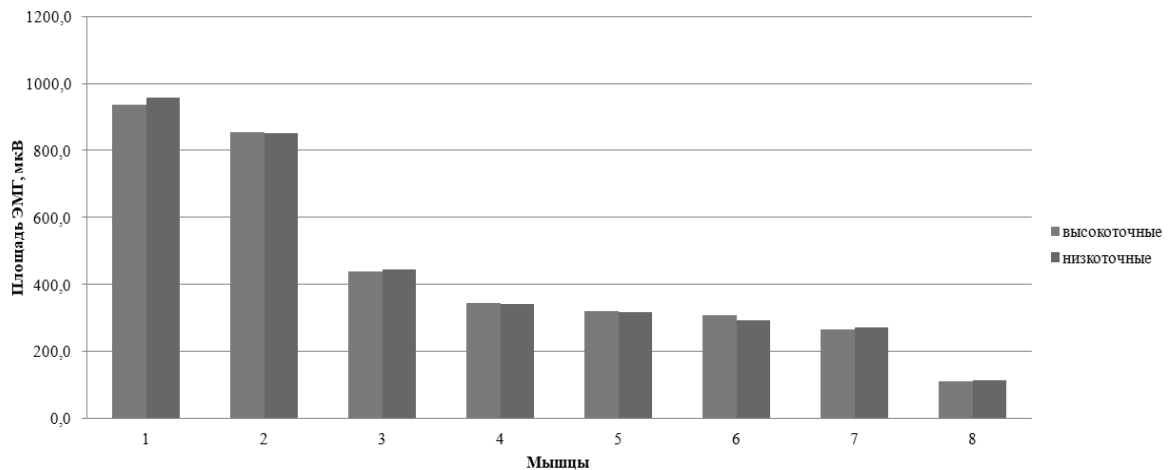


Рисунок 9 – Средняя площадь ЭМГ за 1 секунду во время прицеливания в группе спортсменов КМС при высоко- и низкоточных выстрелах. Примечания: 1 - *M. deltoideus sinister*, 2 - *M. deltoideus dexter*, 3 - *M. trapezius sinister pars ascendens*, 4 - *M. triceps brachii sinister*, 5 - *M. trapezius dexter pars ascendens*, 6 - *M. triceps brachii dexter*, 7 - *M. biceps brachii dexter*, 8 - *M. biceps brachii sinister*.

Доминирующими в реализации фазы прицеливания КМС являются мышцы, формирующие положение плечевых суставов – дельтовидные мышцы, а также

тянущие пояс верхних конечностей вниз – нижние пучки трапециевидных мышц. Двуглавые мышцы плеча в фазу прицеливания проявляли наименьшие усилия. При сравнении интегрированной ЭМГ между высокоточными и низкоточными выстрелами достоверных различий установлено не было. Сравнение же первой и последней секунды фазы прицеливания позволило выявить динамику электрической активности мышц в начальный и завершающий момент зрительно-моторной коррекции. Зарегистрирована достоверная тенденция к увеличению площади ЭМГ в последнюю секунду во всех мышцах, кроме нижних пучков трапециевидной мышцы справа (рис. 10). Площадь ЭМГ значительно расширяется к концу фазы прицеливания в связи с тем, что чем дальше спортсмен растягивает лук к концу фазы, тем больше необходимо усилий для преодоления нарастающего сопротивления упругости лука. Ведь ЭМГ формируется суммой активности двигательных единиц (ДЕ), каждая из которых генерирует импульсы с определенной частотой. Спектральный анализ электрической активности мышц позволяет определить распределение частот колебаний ДЕ в каждой мышце. Частота колебаний определялась по максимуму амплитудного спектра ЭМГ (рис. 11).

Анализ амплитудно-частотных характеристик спектра ЭМГ мышц показал, что распределение мышц по амплитуде спектра ЭМГ (в порядке достоверного убывания величины амплитуды, рис. 11) совпадал с рейтингом мышц по интегрированной площади ЭМГ (рис. 9). Частота спектра ЭМГ находилась в диапазоне 45-70 Гц, что соответствовало II A типу ДЕ (А. Nagata, 1989). Высокая активность дельтовидных мышц проявлялась за счет увеличения амплитуды спектра ЭМГ в данном частотном диапазоне. В остальных мышцах наблюдалось снижение амплитуды спектра ЭМГ по отношению к левой дельтовидной мышце. Однако частотные показатели компенсаторно (в зависимости от необходимого двигательного нюанса) изменялись как в большую, так и в меньшую сторону, при этом находясь в частотном диапазоне II A типа ДЕ. Амплитудная тенденция в рейтинге мышц оставалась неизменной. Такое соотношение хронофизиологической пары параметров «Амплитуда – частота»

дополнительно свидетельствовало о ведущей функциональной роли амплитуды – показателя энергетики процесса (Водолажская М.Г. и соавт., 2006).

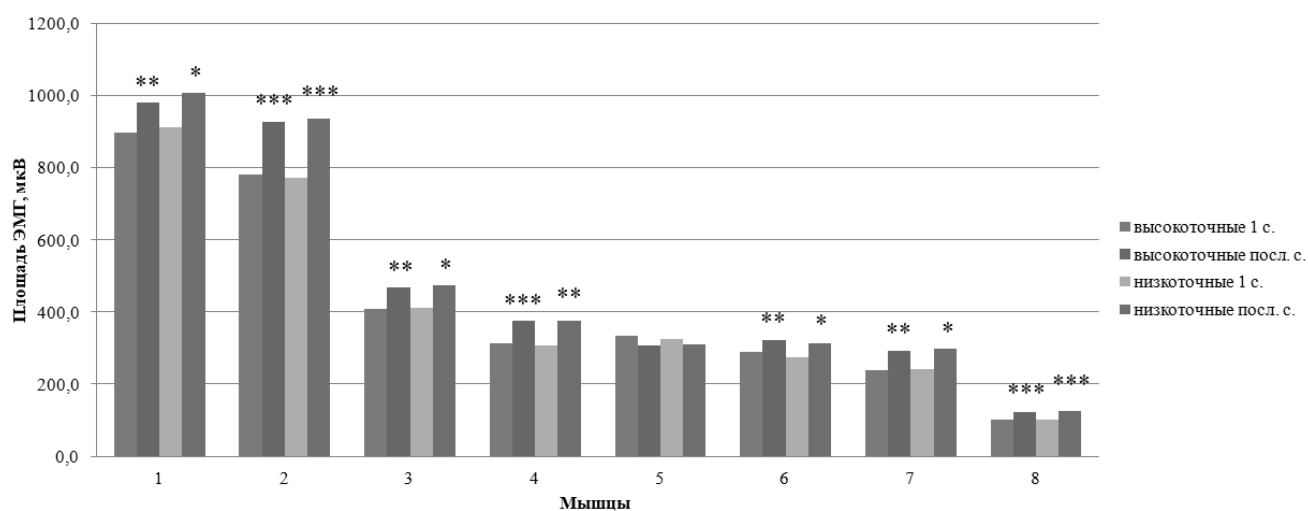


Рисунок 10 - Площадь ЭМГ в первую и последнюю секунды фазы прицеливания в группе КМС при высоко- и низкочастотных выстрелах

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*.; * - $p \leq 0,05$; ** - $p \leq 0,01$; *** - $p \leq 0,001$.

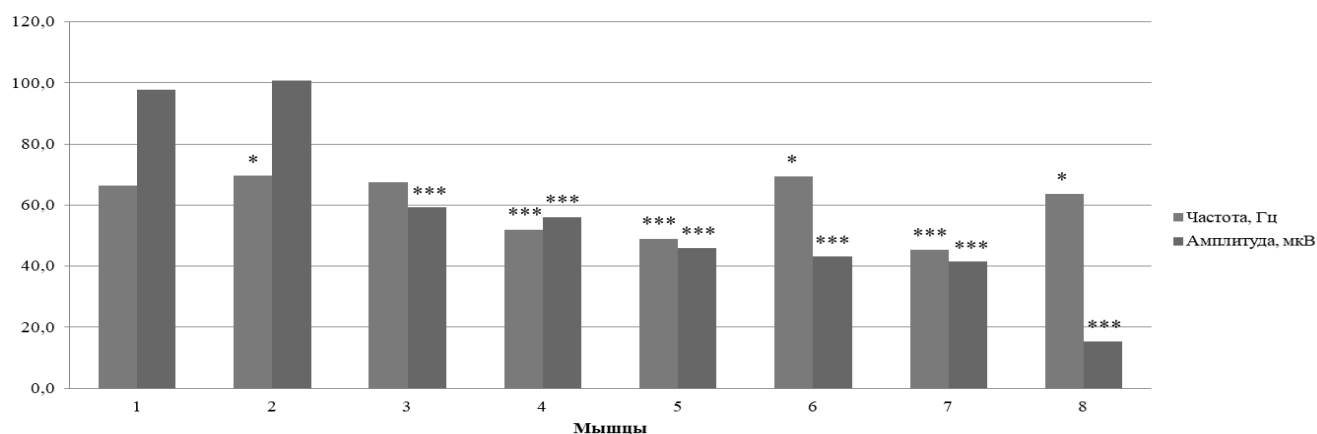


Рисунок 11 - Спектральные характеристики ЭМГ в фазе прицеливания в группе КМС.

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*.; * - $p \leq 0,05$; *** - $p \leq 0,001$.

При сравнении амплитуды и частоты спектров ЭМГ при высокоточных и низкоточных выстрелах в общем по всей фазе прицеливания при внешнем разбросе данных достоверных изменений выявлено не было (рис. 12).

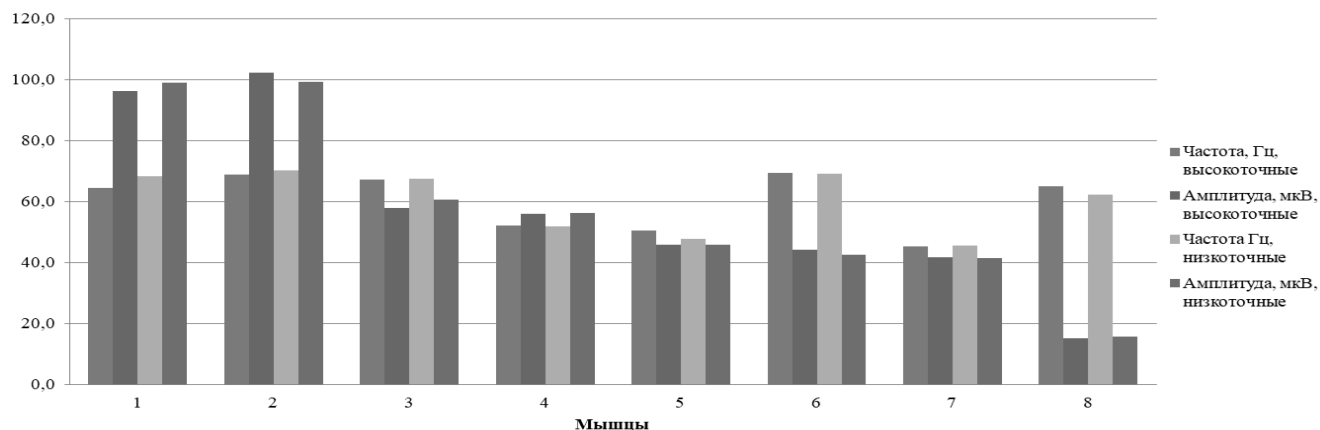


Рисунок 12 - Спектральные характеристики ЭМГ в фазе прицеливания при высоко- и низкоточных выстрелах в группе КМС

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

Оценка динамики спектральных характеристик ЭМГ первой и последней секундах в фазе прицеливания (рис.13,14) позволила выявить некоторые различия в зависимости от точности попадания. Так, на начальной и завершающей секундах фазы прицеливания зарегистрировано увеличение амплитуды спектра ЭМГ при выстрелах различной результативности в исследуемых группах мышц (кроме нижних пучков трапециевидных мышц). В большинстве случаев при увеличении амплитудных значений спектра ЭМГ компенсаторно уменьшается ее частота, однако оставаясь в пределах частотного диапазона ДЕ типа II А. Наибольшие различия в динамике прицеливания проявили дельтовидные мышцы, при которых определялось значительное увеличение амплитуды спектра ЭМГ при выстрелах разной результативности. Схожее распределение показали нижние пучки трапециевидной мышцы слева, трехглавая мышца плеча справа, а также двуглавые мышцы обеих рук.

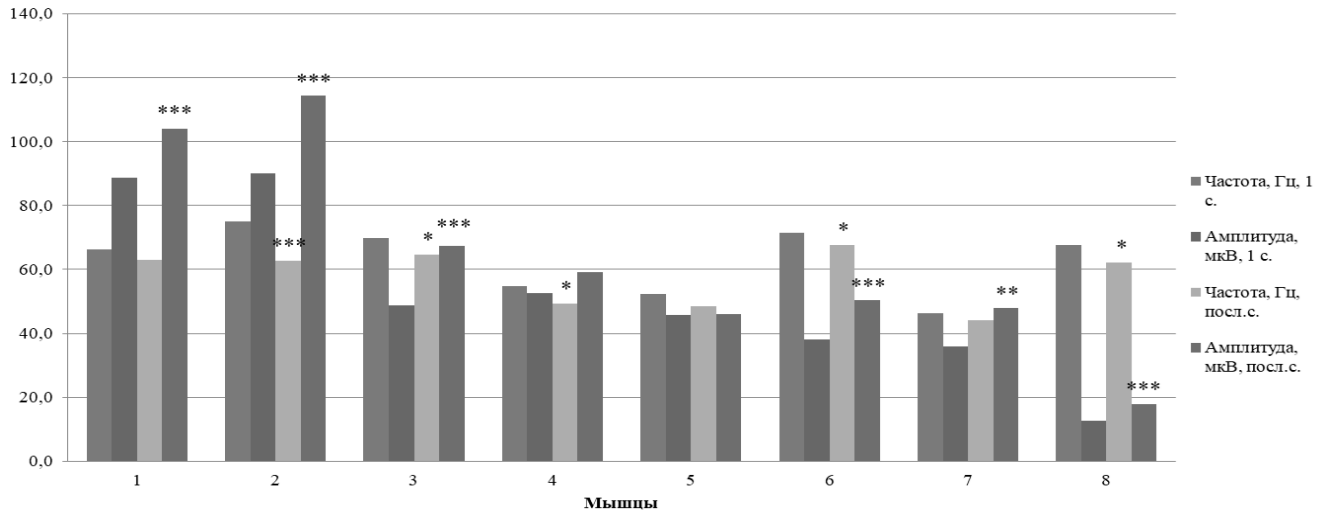


Рисунок 13 - Спектральные характеристики ЭМГ в первую и последнюю секунду фазы прицеливания при высокоточных выстрелах КМС. Остальные обозначения - как на рис.12.

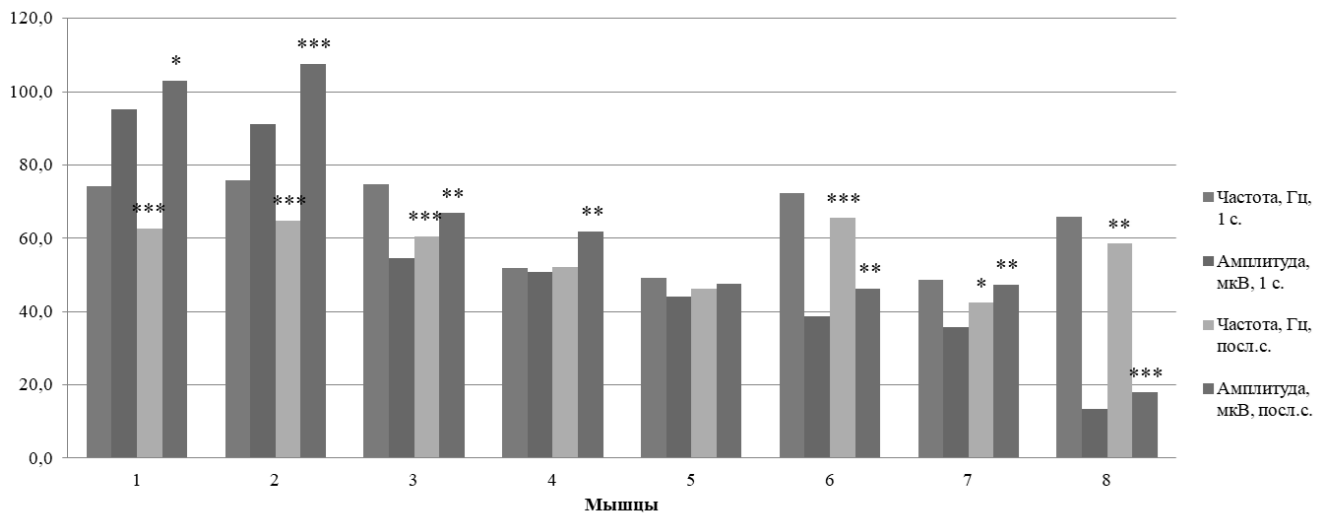


Рисунок 14 - Спектральные характеристики ЭМГ в первую и последнюю секунду фазы прицеливания при низкоточных выстрелах КМС.

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*.; * - $p \leq 0,05$; ** - $p \leq 0,01$; *** - $p \leq 0,001$.

Различия между точными и неточными выстрелами (при оценке динамики спектральных характеристик ЭМГ первой и последней секундах прицеливания) состояли в следующих амплитудно-частотных нюансах (рис. 13, 14):

1) При низкоточных выстрелах, производимых КМС, частота *M. deltoideus sinister* и *M. biceps brachii dexter* статистически значимо ($p \leq 0,05$) уменьшалась на последней секунде фазы прицеливания по сравнению с первой секундой. При высокоточных выстрелах эта тенденция выявлялась, но имела недостоверный характер.

2) При высокоточных выстрелах частота *M. triceps brachii sinister* статистически достоверно ($p \leq 0,05$) уменьшалась, а при низкоточных выстрелах не изменялась.

3) При низкоточных выстрелах, производимых КМС, амплитуда *M. triceps brachii sinister* статистически значимо ($p \leq 0,01$) увеличивалась, тогда как при высокоточных выстрелах эта тенденция визуально определялась, но имела недостоверный характер.

4) При низкоточных выстрелах КМС отмечались количественно более явные временные изменения параметров ЭМГ (13 эпизодов достоверности) по сравнению с высокоточными (11 эпизодов статистической значимости).

Отсутствие различий между первой и последней секундой прицеливания, а также между точными и неточными выстрелами в нижних пучках правой трапецевидной мышцы, по нашему мнению, может говорить о незначительном вкладе данной мышцы в реализации фазы прицеливания у КМС. Рост амплитудной составляющей спектра ЭМГ отражает увеличение числа активных ДЕ выявленного частотного диапазона за счёт адекватного их энергоснабжения. При мышечной активности во время фазы прицеливания частота спектра ЭМГ поддерживается на определенных величинах, что свидетельствует о невысокой утомляемости включенных в работу ДЕ. Из вышесказанного следует, что в реализации всей фазы прицеливания участвуют преимущественно быстрые, устойчивые к утомлению ДЕ. При этом, по данным литературы (Р.М. Городничев, 2016), увеличение развиваемой мышцами силы происходит преимущественно за счет увеличения количества активных ДЕ. В спортивном упражнении стрельбы из лука в исследуемых мышцах преимущественно участвуют ДЕ II А типа, которые обеспечивают узкий диапазон точных выстрелов (10, 8 очков) при их

многократном повторении. Количество выстрелов за тренировку достигает 250, а в период соревнований порядка 130. Отсутствие значительного мышечного утомления обеспечивает оптимальный уровень церебральной регуляции, который в конечном итоге определяет формирование центральных программ высоко- и низкоточных выстрелов. Укрепление статической позы за счет дополнительной активации дельтовидных мышц в последнюю секунду прицеливания не может обеспечивать максимально точный выстрел.

Итак, анализ кинематических и ЭМГ параметров КМС в фазе №6 показал, что время прицеливания, длина дотяга и рейтинг функциональной вовлечённости мышц в процесс прицеливания не предопределяли точность выстрела. Амплитудная тенденция функциональной вовлечённости мышц была доминирующей и стойкой как при точных, так и при неточных выстрелах, за исключением *M. triceps brachii sinister*. Установлено энергоэкономичное снижение частоты и отсутствие амплитудного всплеска *M. triceps brachii sinister* при высокоточных выстрелах по сравнению с низкоточными. И, наоборот, частота *M. deltoideus sinister* и *M. biceps brachii dexter* уменьшалась ($p \leq 0,05$) на последней секунде фазы прицеливания по сравнению с первой секундой лишь при неточных попаданиях. При выстрелах пониженной точности, в целом, отмечена несколько большая количественная активация мышц.

Отсутствие различий остальных изучаемых параметров электрической активности мышц между высоко- и низкоточными выстрелами предположительно обусловлено регуляцией низких уровней иерархической системы, вероятно, - синергий В и таламо-паллидарного уровня. Формирование выстрелов разной результативности, по-видимому, определяется вариативностью неокортикальных и более глубоких уровней церебральных программ (в иерархии более функционально значимых) которые объективно могут выявиться с помощью анализа ЭЭГ.

Показатели ЭЭГ более квалифицированных спортсменов. В начале нейрофизиологического анализа, проводимого синхронно с кинематическими и ЭМГ-параметрами при выстрелах различной точности, мы придерживались

логики двух предыдущих частей настоящей главы (кинематика и ЭМГ) и оценивали фазу прицеливания (рис. 15).

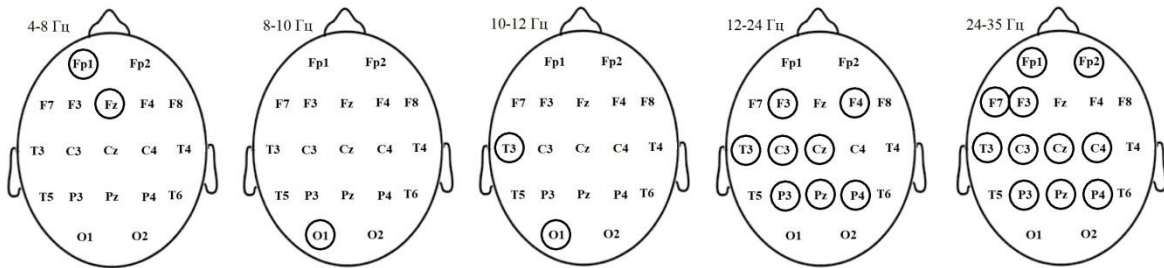


Рисунок 15 - Достоверные ($P < 0,05$) изменения в отведениях спектра мощности ЭЭГ в группе КМС. Фаза прицеливания. Точные выстрелы.

Расчет усредненных топографических карт мощности спектра ЭЭГ с последующим их вычитанием из величин соответствующих мощностей временного интервала прицеливания перед высокоточным выстрелом (состояния покоя) позволил судить о пространственном распределении активных зон мозга по скальповой «горизонтالي», вероятно, участвующих в формировании выстрела высокой точности. В диапазоне 4-8 Гц, повышение мощности спектра ЭЭГ выявлялось в отведениях Fp1 и Fz, в диапазоне 8-10 Гц – в O1, в диапазоне 10-12 Гц – в T3 и O1, в диапазоне 12-24 Гц – в F3, F4, T3, C3, Cz, P3, Pz, P4 и в диапазоне 24-35 Гц – в Fp1, Fp2, F7, F3, T3, C3, Cz, C4, P3, Pz, P4.

Наибольшее количество активных церебральных зон проявлялись во время прицеливания в высокочастотных диапазонах бета 1 и бета 2 у всех спортсменов. Это наблюдалось как в групповых, так и в индивидуальных картах. В основном параметры высокочастотного диапазона различались лишь пространственным распределением. Их динамика имела, на наш взгляд меньшую функциональную значимость, т.к. отражала, преимущественно, активность самых поверхностных слоёв некортекса и не маркировала, судя по нашим данным, точность и/или неточность выстрела, в отличие от колебаний ЭЭГ, генерируемых глубже по церебральной вертикали (Водолжаская М.Г., Водолажкий Г.И., 2020).

По динамике индивидуальных карт мощности спектра ЭЭГ точных выстрелов КМС во время прицеливания, расположенных по рейтингу от максимального до минимального числа точных попаданий (рис.16), было видно, что количество церебральных областей, в которых выявлялось значимое изменение мощности спектра ЭЭГ, варьировало в зависимости от количества точных выстрелов.

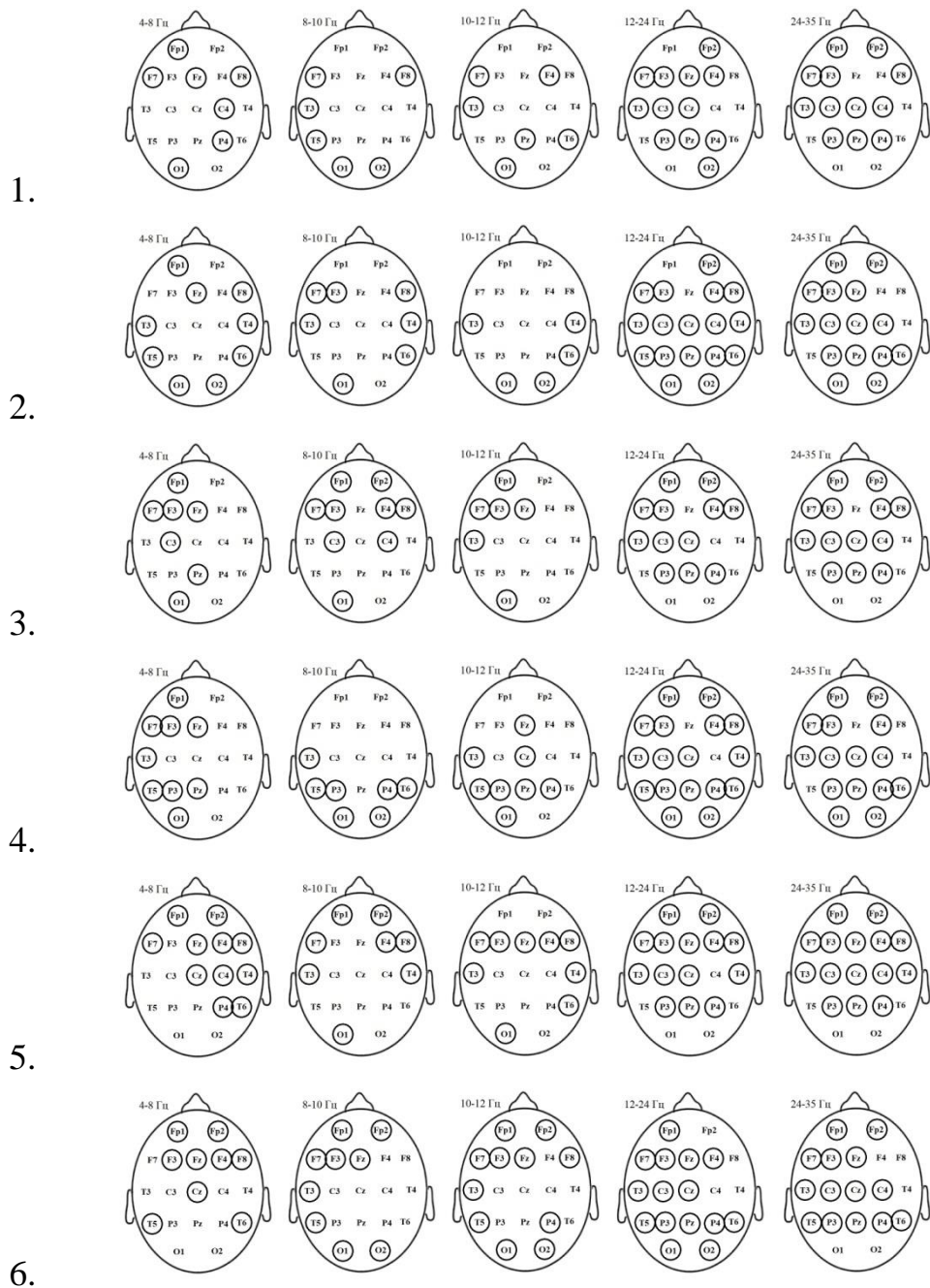


Рисунок 16 - Индивидуальные изменения ($P < 0,05$) в отведениях спектра мощности ЭЭГ у КМС (первые 6 спортсменов в рейтинге).

Активность церебральных зон при низкочастотных выстрелах усреднённых по группе КМС (рис. 17) показала, что в диапазоне 4-8 Гц изменение активности определялось в отведениях F3 и Fz, в диапазоне 8-10 Гц - в F7, F3, F8, в диапазоне 10-12 Гц - в F3, в диапазоне 12-24 Гц - в F7, F3, Fz, T3, C3, P3, Pz, P4, O1, в диапазоне 24-35 Гц - в Fp2, F7, F3, Fz, F8, T3, C3, T5, P3, Pz, P4, O1. Наибольшее количество активных корковых зон также определялось в высокочастотных диапазонах. Обращало на себя внимание отсутствие значимой вовлечённости затылочных областей в полосе частот от 8 до 12 Гц в реализацию низкочастотных выстрелов КМС (рис. 17), тогда как при высокочастотных действиях (рис.15) зона O1 в диапазоне основного ритма была статистически и функционально значимой.

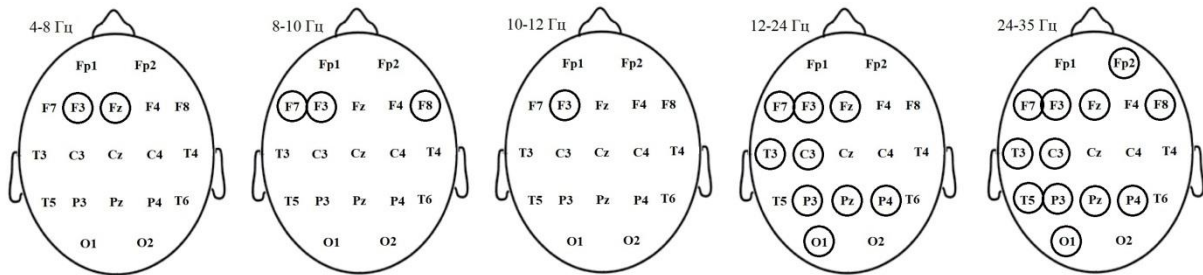


Рисунок 17 - Достоверные ($P < 0,05$) изменения в отведениях спектра мощности ЭЭГ в группе КМС. Фаза прицеливания. Неточные выстрелы.

Изменение синхронизации церебральной микроритмики (преимущественно слева, с мыслительно-логической, когнитивной окраской) зрительных зон при прицеливании, вероятно, способствовало повышению результативности стрельбы из лука более квалифицированных спортсменов. Ведь устойчивость вертикализации даже при произвольном поструральном контроле требует участия зрительной функции (как показано Бердичевской Е.М., Пантелеевой АМ. в 2021 г. в тесте Ромберга с закрытыми глазами). При низкочастотных выстрелах КМС зона O1 включалась «позже», ещё ближе к конвекситальной поверхности неокортекса, уже при реализации мыслительной и двигательной операции, в быстроволновой полосе частот. Можно предположить, что тонкая активизация зрительного компонента БЭАГМ эффективнее на этапе взаимодействия коры с

подкоркой по сравнению с более поверхностной неокортикальной её регуляцией. Впрочем, в момент прицеливания (6-я фаза) величина абсолютной мощности спектров альфа-ритма в затылочных отведениях не коррелировала ($R = 0,02$; $P > 0,05$) с точностью выстрела КМС. Следовательно, данный параметр при прицеливании проявлял себя, скорее, топографически. Иными словами, для точности выстрела имело значение зональное проявление альфа-активности в фазу прицеливания, а не сами изменения величины её мощности. Абсолютная величина мощности спектра альфа-диапазона затылочных долей играла гораздо более существенную роль на ранних стадиях выстрела, предшествующих прицеливанию. Об этом будет сказано ниже.

В фазу прицеливания, завершающегося точным выстрелом КМС, участвовал лобный отдел слева (Fp1) в диапазоне тета. Но при неточном выстреле эта зона не была вовлечена в аналогичный процесс. Компарация следов прошлого опыта с действиями в конкретный момент прицеливания (осуществляющаяся за счёт гиппокампального тета-ритма), очевидно, была необходима для точности попадания. При низкоточных выстрелах КМС переднее левое лобное отведение сколько-нибудь значимо себя не проявляло.

Левый височный отдел (Т3) в диапазоне 10-12 Гц участвовал в прицеливании, завершающимся точным выстрелом, но не участвовал в аналогичном процессе при неточном выстреле.

Зато при неточных выстрелах в прицеливание были достоверно вовлечены левые и правые задне-лобные отведения тета- и альфа- диапазонов. Тогда как при точных выстрелах – лишь центральное задне-лобное отведение.

Также при неточных выстрелах в прицеливание были значимо вовлечены левые затылочные отведения бета-диапазонов. (О более позднем и более поверхностном включении зоны О1 было сказано выше). Тогда как при точных выстрелах это явление суммарно не зарегистрировано. Впрочем, одинаково обширное участие в прицеливании конвекситальной поверхности мозга в бета-диапазоне объединяло картину БЭАГМ при низкоточных и высокоточных выстрелах КМС.

Оценка динамики индивидуальных карт мощности спектра ЭЭГ низкочастотных выстрелов у группы КМС во время прицеливания (рис. 18), показала особую значимость центральных и передних областей левой лобной доли.

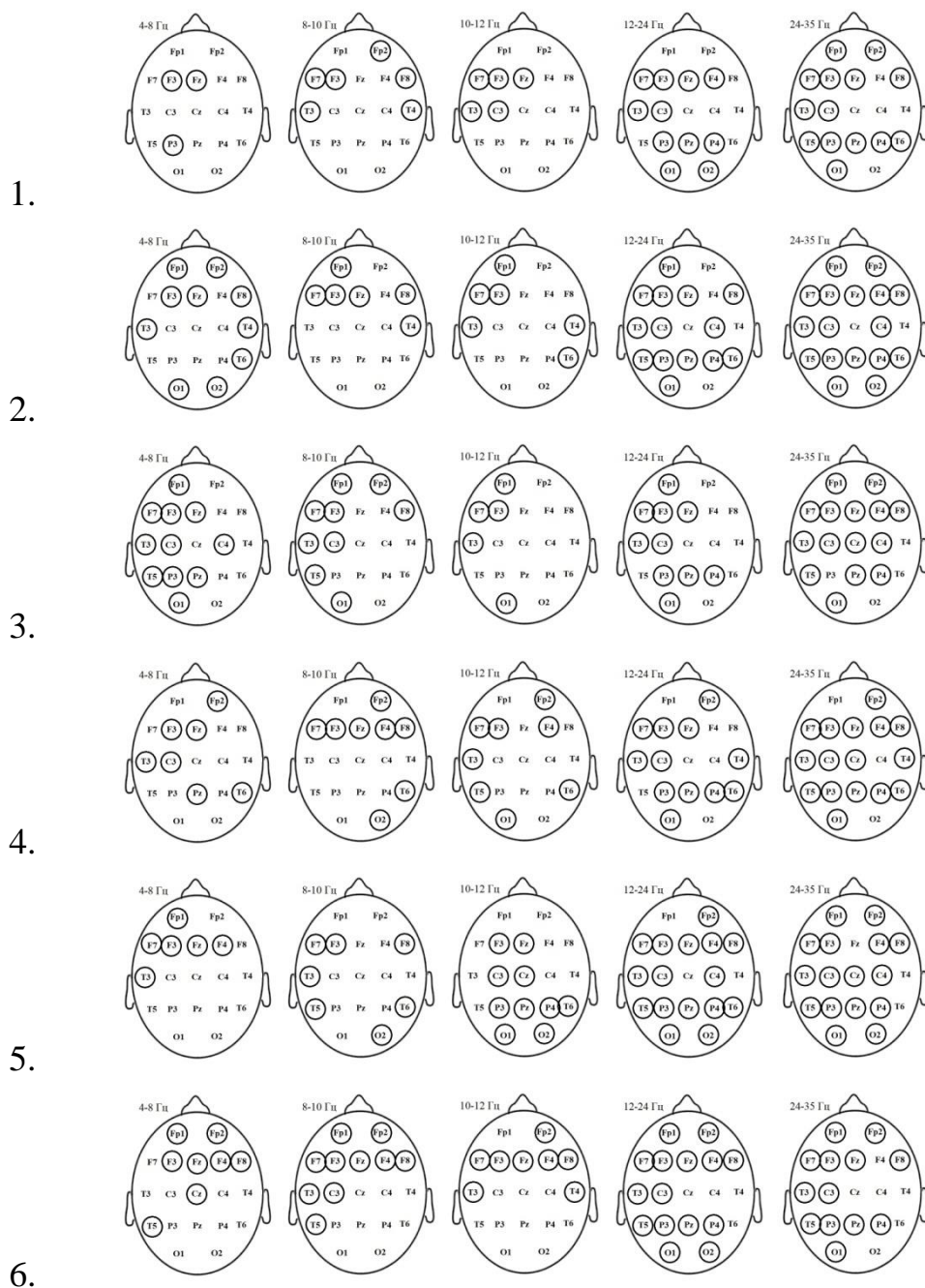


Рисунок 18 - Индивидуальные достоверные ($P < 0,05$) изменения абсолютной величины спектра мощности ЭЭГ у КМС (первые 6 спортсменов в рейтинге). Неточные выстрелы.

Это может быть объяснено тесной взаимосвязью названных церебральных зон между собой и с подкорковыми образованиями, в том числе - с гиппокампом (В. Н. Brian, S.O. Oddie, 2001). Активация нейронных сетей гиппокампального

ритма обеспечивает стабильную деятельность рабочей памяти и внимания (D.A. Barany et al. 2014; L. Cruikshank et al., 2012; A. Pavlidou et al., 2014). Аналогичная электрическая активация мозговых структур выявляется в других целенаправленных движениях в низкочастотных диапазонах ЭЭГ (А.Б. Трембач, Е.А. Кузьменко, 2011; N. Lebar et al., 2017). Ведь стрельба из лука представляет собой визуально моторную повторяющуюся деятельность.

Автоматизация двигательного навыка, посредством координации значительного количества мышечных групп верхних и нижних конечностей, возможна при блокаде сенсорных систем от внешних воздействий. Повышение альфа-активности приводит к торможению внешних сигналов при прицеливании (O. Jensen, A. Mazaheri, 2010). Данный механизм автоматически регулируется, преимущественно, без контроля сознания (H.V. Dijk et al., 2008).

Можно предположить, что данные нейрофизиологические механизмы являются основой высокоточного выстрела. Высокочастотная электрическая активность в групповых картах перед высокоточным выстрелом в диапазоне 12-24 Гц определялась в премоторных, моторных, теменных и передней части височной области преимущественно в левом полушарии. В диапазоне 24-35 Гц к ним добавлялась активность в передних лобных долях. Установленная нами картина ЭЭГ лучников высокой квалификации во время прицеливания во многом согласуется с данными W. Kim et al. (2014), полученными на фМРТ экспертов-лучников тоже во время прицеливания.

Судя по индивидуальным картам, максимальное количество высокоточных выстрелов обусловлено повышенной активностью в диапазоне 4-8 Гц в лобных, премоторных, моторных и зрительных областях левого полушария. В диапазонах 8-10 и 10-12 Гц выявлялась электрическая активность во вторичной зрительной коре обоих затылочных долей и передней височной области. Таким образом, низкочастотная электрическая активность мозга обуславливает устойчивость высокоточных выстрелов КМС за счет оптимальной активации нейронных сетей, что обеспечивает взаимосвязь нисходящей и восходящей афферентации. Значительных различий в высокочастотной электрической активности между

групповыми и индивидуальными картами мощности спектра ЭЭГ не наблюдалось, что характеризует устойчивость и, вероятно, неспецифичность конвекситальных отделов, обеспечивающих высокоточный выстрел.

При низкоточных выстрелах повышение электрической активности в групповых картах мощности спектра ЭЭГ в диапазоне 4-8 Гц тоже проявлялось в центральной и левой области лобных долей. В диапазонах 8-10, 10-12 Гц активность определялось в левой премоторной области и в нижних лобных долях обоих полушарий. В диапазонах 12-24 и 24-35 Гц электрическая активность проявлялась в премоторных, моторных, височных, теменных и зрительной областях обоих полушарий преимущественно слева, и существенно не отличалась по сравнению с высокоточными выстрелами.

В индивидуальных картах при минимальном количестве низкоточных выстрелов в низкочастотном диапазоне проявлялась активность преимущественно в премоторной области центральной и левой лобной доли, к ним добавлялась передняя височная область слева в диапазонах альфа.

Не вызывает сомнений, что оптимальное количество активных корковых и подкорковых областей обеспечивает высокую точность попаданий у более квалифицированных спортсменов. Дальнейший анализ показал существенную необходимость функциональной взаимосвязи коры и подкорки как для точности попадания в цель, так и для повышения спортивного мастерства лучника.

Анализ топографических карт мощности спектра ЭЭГ у КМС позволил выделить маркеры церебральной активности, определяющие высокий спортивный результат. К ним относятся: 1) тета-активность ЭЭГ, которая проявляется в левой передней области лобных долей, а церебральный генератор имеет подкорковую (преимущественно, гиппокампальную) локализацию; 2) альфа-ритм в затылочных областях, генератор которого локализован в основном поверхностно, неокортикально; 3) альфа-ритм в левых височных долях, пейсмекер которого залегает в довольно глубокой коре, анатомически и функционально контактирующей с подкоркой. Данные области морфофункционально определяют максимальный результат (10 очков) в спортивном упражнении. Отсутствие или

снижение активности этих структур может обеспечивать лишь реализацию низкоточных выстрелов.

Для проверки данных маркёров, а также для более убедительного суждения о нейрофизиологических механизмах, участвующих в формировании выстрела высокой точности, необходимо было выявить особенности ЭЭГ-паттернов, предшествующих прицеливанию. Исходя из пусковой, управляющей и корректирующей роли центрального звена двигательного аппарата можно было предположить более раннее зарождение физиологических процессов (и их маркёров), значимых для повышения точности выстрела. В обозримых экспериментальных возможностях это были ранние фазы паттерна ЦД при стрельбе из лука (№№ 1-2), предварительно маркированные нами в главе 3. И, действительно, из 7-ми фаз выстрела наиболее результативными (кроме самого прицеливания) оказалась начальные фазы выстрела 1-я и 2-я фазы - предварительная подготовка. Сначала - «подготовка» и затем - «изготовка», соответственно (табл. 3).

Таблица 3 – Корреляция (R) точности выстрела более квалифицированных лучников (n = 20) с абсолютными значениями мощности спектров ЭЭГ (мкВ²/с) на разных фазах упражнения.
Фрагмент

1 фаза, подготовка				2 фаза, изготовка				6 фаза, прицеливание			
О 1 альфа 1	Фр 1 тета	Т 3 альфа 2	Кросс-спектр Т5 с альфа 1 в О1	О 1 альфа 1	Фр 1 тета	Т 3 альфа2	Кросс-спектр Т5 с альфа 1 в О1	О 1 альфа 1	Фр 1 тета	Т 3 альфа 2	Кросс-спектр Т5 с альфа 1 в О1
0,65*	0,45*	0,54*	0,52*	-0,21	-0,15	0,47*	-0,35	0,02	-0,69*	0,44*	-0,10

Примечание: * - P < 0,05.

Из таблицы видно, что в момент прицеливания (6-я фаза) величина абсолютной мощности спектров альфа-ритма в затылочных отведениях не была сколько-нибудь существенно связана с точностью выстрела КМС, хотя спектрально-мощностные изменения топографически выявлялись в зрительной

зоне. Как уже было сказано, для точности попадания имело значение, скорее, зональное проявление альфа-активности в 6-ю фазу, а не величина её мощности. Зато абсолютная величина мощности спектра альфа-диапазона в отведении О1 положительно коррелировала с точностью выстрела из лука на самой ранней, 1-й фазе предварительной подготовки. Связь была заметной ($P < 0,05$) и означала следующее: чем мощнее основной ритм в затылочных зонах на ранней подготовительной фазе упражнения, тем точнее в последствии выстрел спортсмена-КСМ. При этом для формирования механизмов точности также была важной сохранность левой затылочной локализации очага генерации альфа-ритма вплоть до фазы прицеливания.

Как выяснилось в результате корреляционного анализа (табл. 3), в лобном отделе слева (Fp1) в диапазоне тета в фазу прицеливания (6-я фаза), у КМС существует зависимость степени точности выстрела от величины мощности спектра гиппокампального тета-ритма ($R = -0,69$; $P < 0,05$): чем выстрел был точнее, тем мощность тета меньше. Тогда как в 1-ю фазу предварительной подготовки, наоборот, констатировано усиление мощности спектра в диапазоне тета в левом переднем лобном отведении, более благоприятное для точного попадания лука в цель. Коэффициент корреляции был положительным ($R = 0,45$) и статистически значимым ($P < 0,05$). В других фазах упражнения достоверных корреляций параметров ЭЭГ с точностью выстрела не установлено. Необходимо подчеркнуть, что при усреднении величина данного параметра в Fp1 была выше, чем при ФЗ.

Однако более тонкая оценка временной динамики мощности спектра тета-ритма в Fp1 в ходе выполнения выстрела КМС с 1-й по 7-ю фазы (рис. 19) выявило полиномиальную нелинейную зависимость высочайшей степени точности ($R^2 = 1$). Из графика виден довольно резкий характер усиления мощности спектра в диапазоне тета в левом переднем лобном отведении. Лавинообразный подъём мощности был характерен именно для первой фазы выстрела. А в начале 6-й фазы происходил плавный спад величины данного спектрально-мощностного параметра ЭЭГ. Закономерность, как правило, воспроизводилась и при точном, и

при неточном выстреле, но со следующим явным отличием. Если выстрел из лука был неточным, то аппроксимационная кривая носила утрированный характер, статистически значимый ($R^2 = 1$) взлёты и падения абсолютной величины мощности спектра тета в Fr1 были втрое интенсивнее, чем при точном выстреле ($R^2=1$; рис.19). Хотя топографически к 6-й фазе этот частотный диапазон в отведении Fr1 усреднено (по неточным выстрелам) не выявлялся, из-за разброса индивидуальных различий.

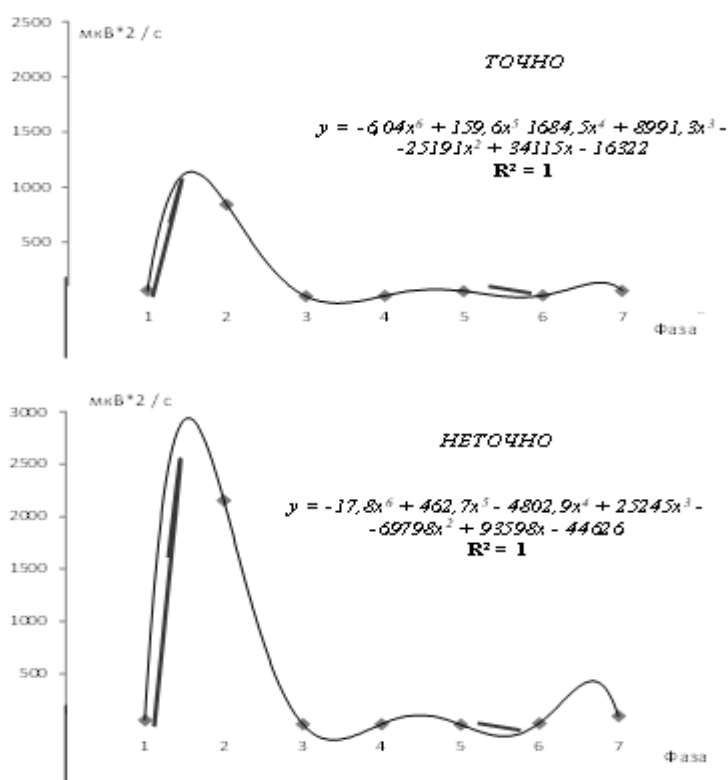


Рисунок 19 - Графики функций, аппроксимирующих зависимость величины абсолютной мощности спектра (мкВ*2 / с, по вертикали) тета-колебаний ЭЭГ в отведении Fr1 от фазы упражнения (по горизонтали) более квалифицированных лучников при выстрелах различной точности.

Верхний график - наиболее типичный индивидуальный пример точного выстрела. МС, К-ва, 15 лет. Нижний график – неточный выстрел этого же спортсмена. Точки – отдельные величины параметра испытуемого.

Над графиками приведены уравнения аппроксимации с коэффициентом детерминированности (R^2). Толстой линией возле плавной линии графика обозначены фазы ,

на которых зарегистрированы R ($P < 0,05$) между исследуемым параметром и точностью попадания.

Следовательно, судя по нашим данным, для воспроизведения выстрела любой точности (из исследуемых) необходимо усиление мощности тета-колебаний в переднем левом лобном отведении (рис. 20) вначале (при подготовке) и некоторое ослабление этого параметра (при сохранении более высокого его уровня, по сравнению с ФЗ) – в момент прицеливания. Но для попадания в «десятку» эта динамика должна быть менее резкой, более сглаженной, менее энергетически затратной, более экономичной.

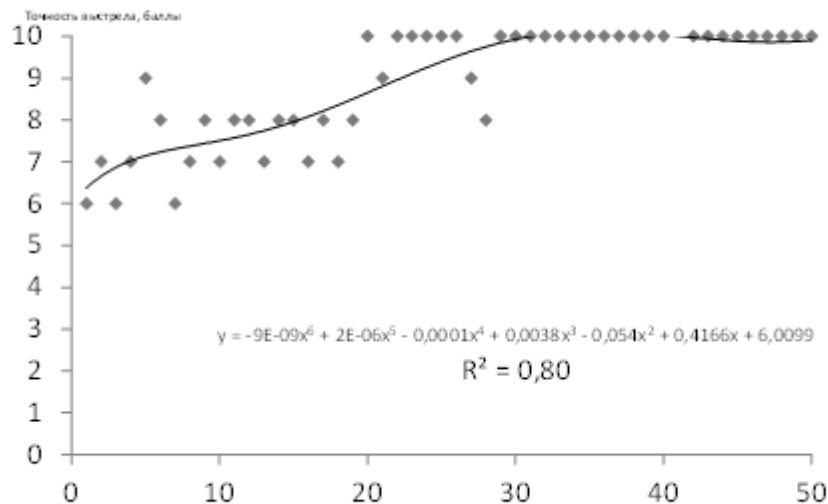


Рисунок 20 - Графики функций, аппроксимирующих зависимость точности выстрела (в баллах, по вертикали) КМС в фазу подготовки от величины абсолютной мощности спектра ($\text{мкВ}^2 / \text{с}$, по горизонтали) тета-колебаний ЭЭГ в отведении FP_1 . Точки – отдельные величины параметра испытуемого. Под графиком приведено уравнение аппроксимации с коэффициентом детерминированности (R^2).

В отличие от лобных и затылочных областей, в левом височном отведении (ТЗ) высокочастотный альфа-ритм набирал свою мощность, вероятно, для обеспечения точности выстрела, на протяжении и 1-й, и 2-й фаз. И такая же направленность изменений сохранялась, хотя и слегка угасала, вплоть до фазы прицеливания (6-я фаза). Во всяком случае, об этом свидетельствуют достоверные

($P < 0,05$), плавно уменьшающиеся во времени величины R между данным параметром и точностью попадания (табл. 3): 0,54; 0,47; 0,44, соответственно.

Связь к моменту прицеливания постепенно ослабевала, характеризуя состояние «затаивания» и дополнительно подчёркивая немалую нейрофизиологическую значимость начального этапа предварительной подготовки к выстрелу. Такое сочетание результативных частотных диапазонов ЭЭГ, исходя из корково-подкорковой локализации их генератора (тета - из гиппокампа, альфа – из глубокой коры) преимущественно слева, вызвало интерес к оценке кросс-спектра T5-A1 со всеми отведениями. Как известно, кросс-спектр является комплекснозначной функцией частоты. На наш взгляд, этот показатель являлся в определённой мере интегративным, так как представлял собой возможную характеристику задне-височного источника тета-ритма слева и его взаимосвязь с низкочастотным основным ритмом. Ведь из всех исследуемых 19-ти координат достоверный R отчётливо выявлялся в точке «альфа1 - O1», что отражено в таблице 3. Связь кросс-спектра T5-A1 в левом затылочном отведении в частотном диапазоне, соответствующим низкочастотным альфа-колебаниям, с точностью выстрела КСМ была наиболее сильной снова в 1-й фазе упражнения ($R = 0,52$; $P < 0,05$).

Уже на следующей 2-й фазе корреляция претерпевала реверсию, становилась отрицательной и теряла статистическую значимость. К моменту прицеливания связь не выявлялась. Это могло означать, что для формирования точности выстрела более квалифицированных лучников необходимо особенно тесное перекрёстное («кросс») взаимодействие большинства церебральных структур и функций в момент начальной подготовки к упражнению с «эпицентром» в задне-височных отделах слева, где рождаются тета-колебания. (Кроме того, определяется вовлечённость низко-частотного основного ритма, которая в сочетании в высокочастотной тета-активностью иллюстрирует значимость корково-подкорковых взаимодействий для формирования точности в начале упражнения). Тогда как на дальнейших этапах столь обширная начальная интеграция, судя по нашим данным, ослабевает, потому что к моменту

прицеливания, вероятно, вступают иные узко-специфические механизмы. И эти механизмы имеют преимущественно кинематическую, локомоторную природу, что и было выявлено нами на ЭМГ.

Таким образом, судя по анализу ЭЭГ, точность выстрела более квалифицированных лучников предопределяли: плавное усиление спектральной мощности тета-колебаний в отведении Fp1 в фазу подготовки, и затем ослабление его мощности (при сохранении более высокого средне-мощностного уровня, по сравнению с состоянием покоя) 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 КСМ и 1 р.

3.2.2 Комплексный анализ кинематических, ЭМГ и ЭЭГ показателей выстрелов различной точности у менее квалифицированных спортсменов

Средняя длительность фазы прицеливания у спортсменов 1 разряда составляла $4,05 \pm 0,05$ с. При попаданиях разной результативности длительность фазы прицеливания достоверно не различалась: $4,08 \pm 0,08$ с при высокоточных и $4,12 \pm 0,09$ с при низкоточных выстрелах.

Процентное отношение количества выстрелов к временному интервалу фазы прицеливания (рис. 21) выявило, что при высоко- и низкоточных выстрелах, максимальные значения находятся в диапазоне от 3 до 4 секунд, что свидетельствует о схожей вариативности временных диапазонов при выстрелах разной результативности. При попаданиях различной точности 1-разрядников длина дотяга достоверно не изменялась. Разница между расстоянием в начале и в конце фазы прицеливания составляла $8,9 \pm 0,27$ мм.

Анализ ЭМГ перворазрядников (рис.22, в порядке убывания площади ЭМГ) показал, что наибольшая активность во время фазы прицеливания проявляется в средней части левой дельтовидной мышцы $842,1 \pm 15,1$ мкВс.

Достоверное уменьшение площади ЭМГ, по сравнению с левой дельтовидной мышцей, проявляется у левой трехглавой мышцы плеча $730,7 \pm 15,2$ мкВс, правой дельтовидной мышцы плеча $638,1 \pm 17,5$ мкВс, правой двуглавой и трехглавой мышц плеча $552,6 \pm 5,9$ и $542,2 \pm 13,6$ мкВс, нижних пучков трапецевидных мышц слева и справа $512,5 \pm 10,6$ и $447,5 \pm 9,2$ мкВс и левой двуглавой мышцы плеча $439,5 \pm 10,2$ мкВс. По площади ЭМГ не определялось явного доминирования определенных групп мышц. Выявлялось минимальное снижение активности мышц по сравнению с левой дельтовидной мышцей.

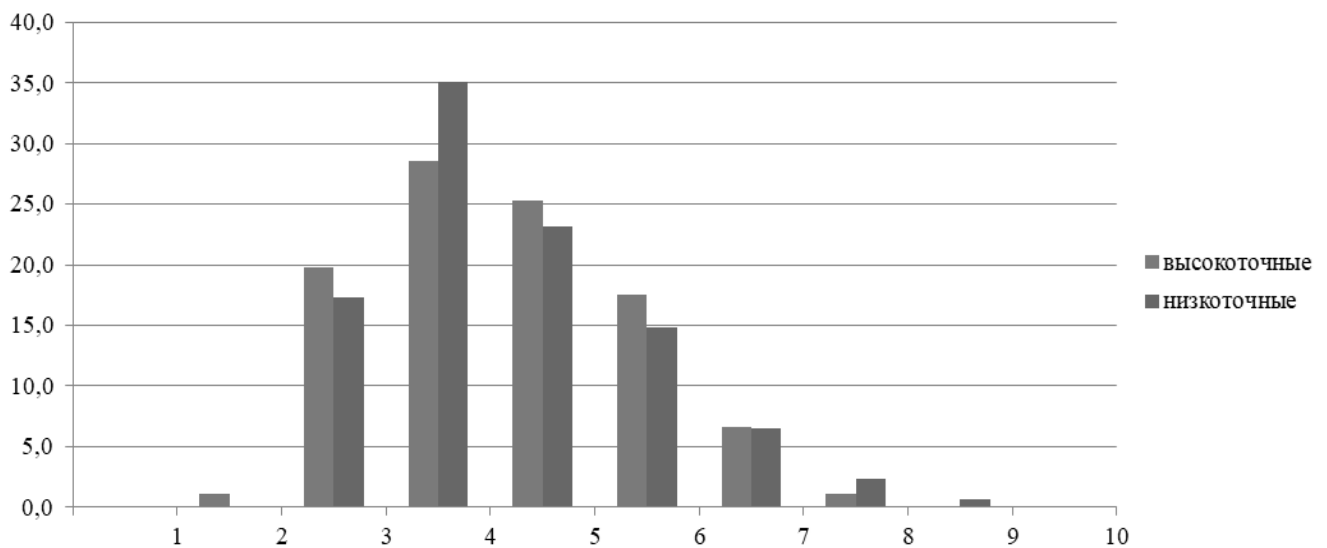


Рисунок 21 - Количество высоко- и низкоточных выстрелов в зависимости от временного интервала прицеливания в группе перворазрядников.

Примечания: по оси ординат - количество выстрелов (%); по оси абсцисс - время прицеливания: от 0 до 1с, от 1 до 2с и т.д.

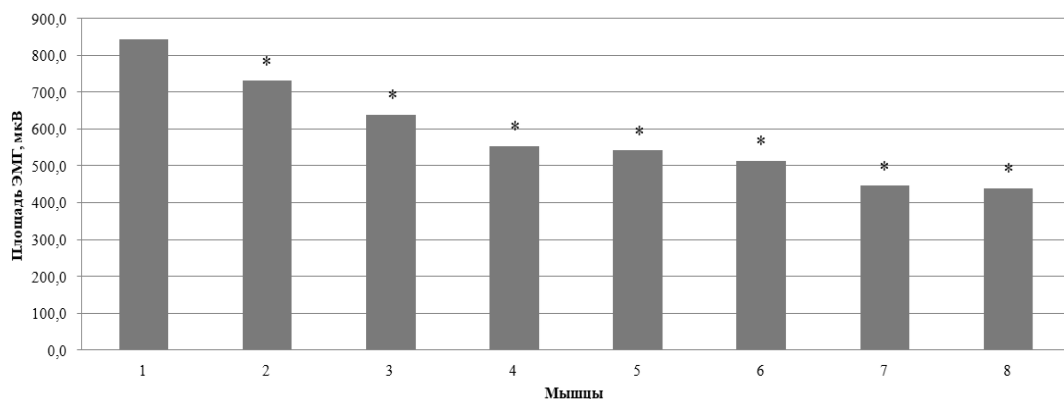


Рисунок 22 - Средняя площадь ЭМГ за 1 секунду во время прицеливания в группе перворазрядников.

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

При сравнении интегрированной ЭМГ (рис. 23) между высокоточными и низкоточными выстрелами 1-разрядников достоверных различий выявлено не было. Для выявления динамики активности биопотенциалов мышц в фазе прицеливания произведено сравнение первой и последней секунды зрительно-моторной фазы (рис. 24).

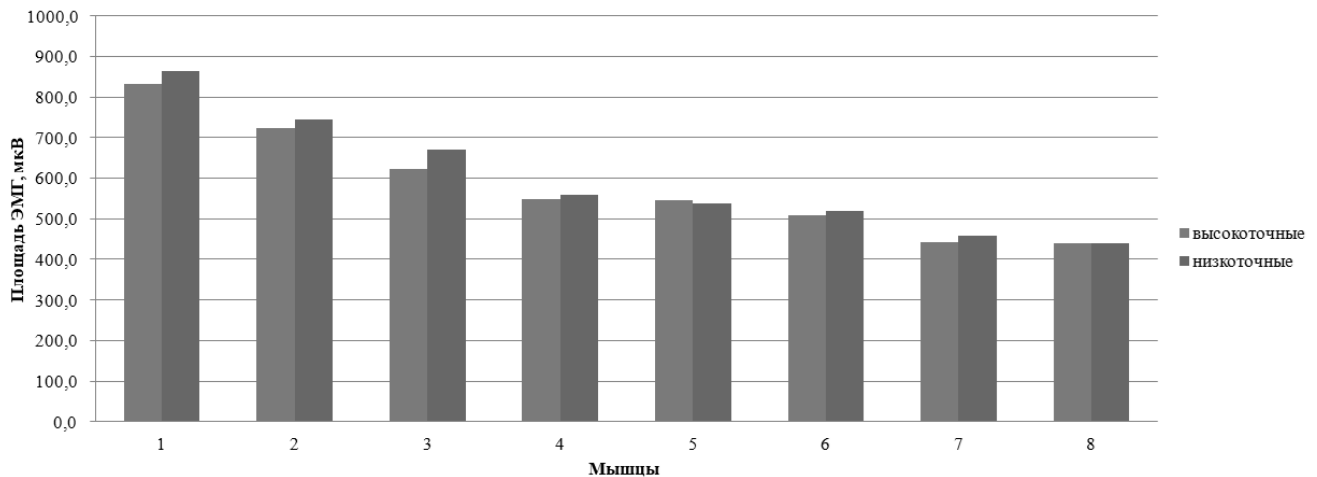


Рисунок 23 – Средняя площадь ЭМГ за 1 секунду во время прицеливания в группе спортсменов-перворазрядников при высоко- и низкоточных выстрелах. Примечания: 1 - *M. deltoideus sinister*, 2 - *M. triceps brachii sinister*, 3 - *M. deltoideus dexter*, 4 - *M. biceps brachii dexter*, 5 - *M. triceps brachii dexter* 6 - *M. trapezius sinister pars ascendens*, 7 - *M. trapezius dexter pars ascendens*, 8 - *M. biceps brachii sinister*.

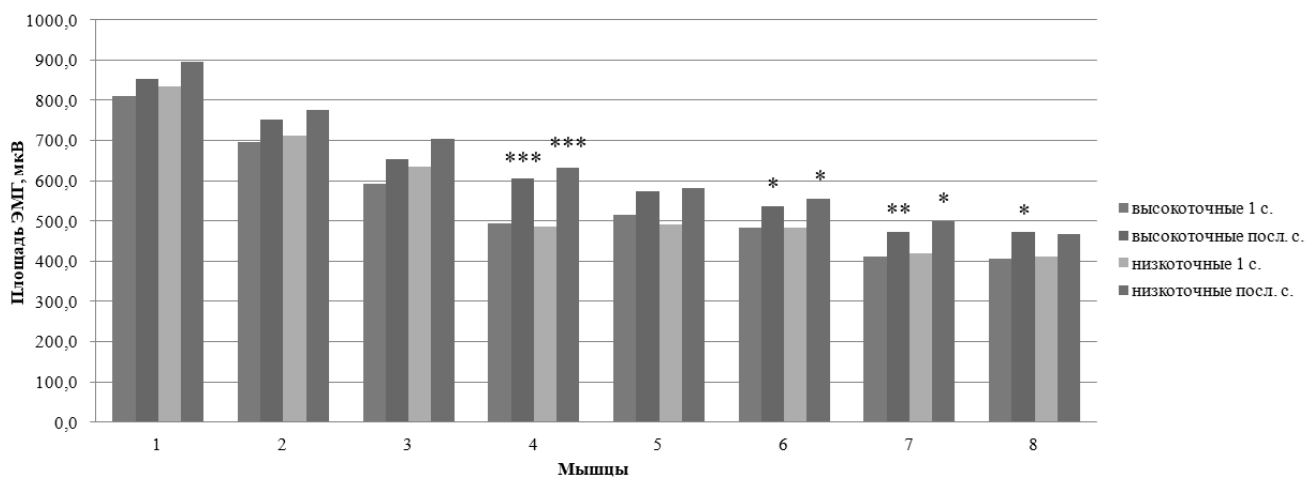


Рисунок 24 - Площадь ЭМГ в первую и последнюю секунды фазы прицеливания в группе перворазрядников при высоко- и низкоточных выстрелах. Примечания: 1 - *M. deltoideus sinister*, 2 - *M. triceps brachii sinister*, 3 - *M. deltoideus dexter*, 4 - *M. biceps brachii dexter*, 5 - *M. triceps brachii dexter*, 6 - *M. trapezius sinister pars ascendens*, 7 - *M. trapezius dexter pars ascendens*, 8 - *M. biceps brachii sinister*; * - $p \leq 0,05$; ** - $p \leq 0,01$; *** - $p \leq 0,001$.

Анализ динамики активности мышц на начальной и завершающей секундах фазы прицеливания позволил определить увеличение площади ЭМГ в последнюю секунду только в трапециевидных мышцах и двуглавых мышцах обеих рук. Стоит отметить, что одни из самых сильных мышц - дельтовидные, - не показали достоверных различий увеличения активности к концу фазы прицеливания по сравнению с её началом. Зарегистрировано единственное статистически значимое различие данного параметра между высокоточными и низкоточными выстрелами перворазрядниками: площадь ЭМГ *M. biceps brachii sinister* в последнюю секунду фазы прицеливания достоверно возрастала ($p \leq 0,05$) только при выстрелах высокой точности.

Спектральный анализ биоэлектрической активности мышц позволил определить распределение амплитуд и частот колебаний ДЕ. Частота колебаний определялась по максимуму амплитудного спектра ЭМГ.

На рис. 25 представлены частота и амплитуда спектров ЭМГ в последовательности, соответствующей установленному рейтингу уменьшения средней площади мышцы.

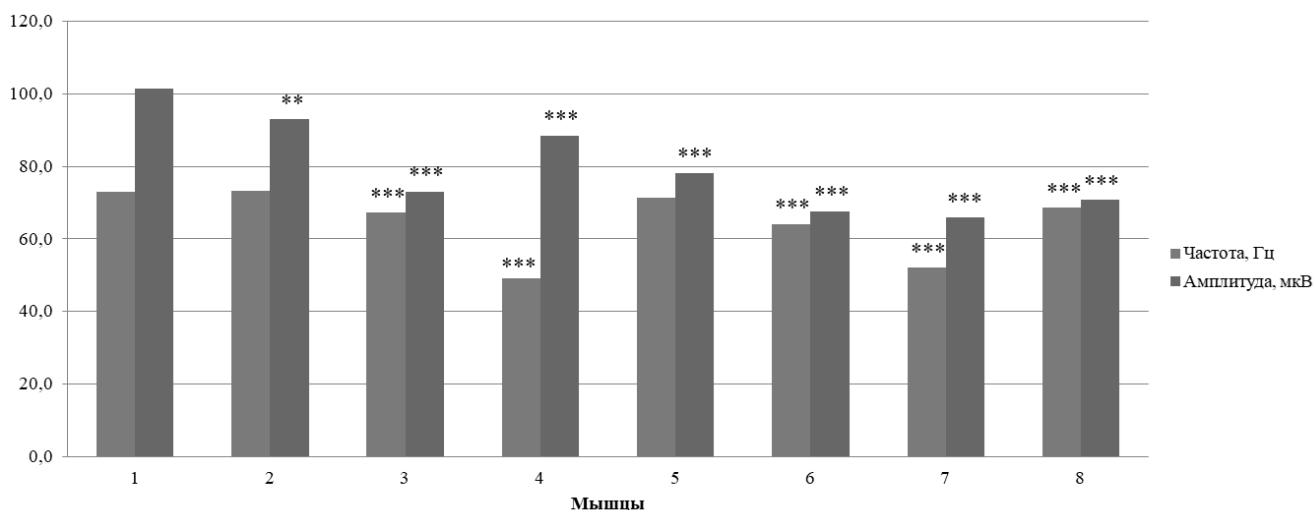


Рисунок 25 - Спектральные характеристики ЭМГ в фазе прицеливания в группе 1-разрядников

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

Из рисунка видно, что соблюдение последовательности, соответствующей установленному рейтингу уменьшения средней площади мышцы, не выявило стройной амплитудной тенденции «От увеличения – к плавному уменьшению» величины амплитуды (как это было у КМС). Динамика различий амплитудных показателей в выстроенном ряду носило не линейный, а, скорее, волнообразный характер, что могло свидетельствовать о ещё не полностью сформированной синхронизации функций организма перворазрядников по сравнению с КМС. Анализ результатов показал различия в распределении активности амплитуды спектра ЭМГ по сравнению с площадью ЭМГ. Частота спектра ЭМГ находится в диапазоне 49-72 Гц, что соответствует II А типу ДЕ. Наибольшая амплитуда спектра регистрируется только у левой дельтовидной мышцы. В остальных мышцах амплитуды достоверно уплощаются. С наибольшей частотой спектра работали левая дельтовидная мышца и трехглавые мышцы обеих рук.

Амплитуда и частота спектров ЭМГ при высокоточных и низкоточных выстрелах в большинстве мышц не изменялась (рис. 26). Исключение составляли частоты спектра в двуглавой и трехглавой мышцах правого плеча:

1) при низкоточных выстрелах (в отличие от высокоточных) частота *M. biceps brachii dexter* было достоверно ($p \leq 0,05$) меньшей, вероятно, как компенсация роста амплитуды.

2) При низкоточных выстрелах частота *M. triceps brachii dexter*, наоборот, достоверно ($p \leq 0,01$) увеличивалась по сравнению с высокоточными выстрелами, так как амплитуда при этом не возрастала.

Такие частные факты могут дополнительно указывать на бóльшую активность и, вероятно, бóльшую энергозатратность двигательных процессов при неточных выстрелах по сравнению с точными у лучников-перворазрядников. Подчеркнём, что подобных различий в группе КМС установлено не было.

Анализ амплитудно-частотных характеристик спектра ЭМГ на начальной и завершающей секундах фазы прицеливания (рис. 27, 28) выявил увеличение амплитуды и снижение частоты спектра ЭМГ лишь в некоторых мышцах.

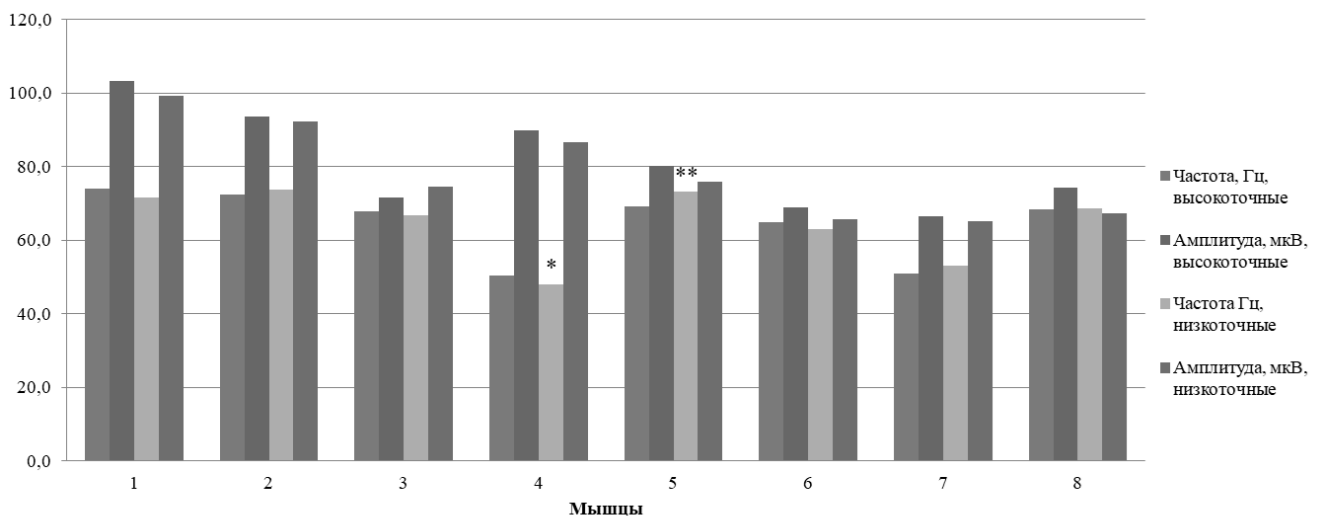


Рисунок 26 - Спектральные характеристики ЭМГ в фазе прицеливания при высоко и низкоточных выстрелах в группе перворазрядников. Примечания: 1 - *M. deltoideus sinister*, 2 - *M. triceps brachii sinister*, 3 - *M. deltoideus dexter*, 4 - *M. biceps brachii dexter*, 5 - *M. triceps brachii dexter*, 6 - *M. trapezius sinister pars ascendens*, 7 - *M. trapezius dexter pars ascendens*, 8 - *M. biceps brachii sinister*; * - $p \leq 0,05$, ** - $p \leq 0,01$.

Достоверные изменения определялись в дельтовидных мышцах и трехглавой мышце слева при выстрелах разной результативности. Значительным повышением амплитуды спектра ЭМГ в последнюю секунду характеризовалась

двуглавая мышца плеча справа, что подчёркивало ее вклад в реализацию дотяга в фазе прицеливания в группе 1 разряда.

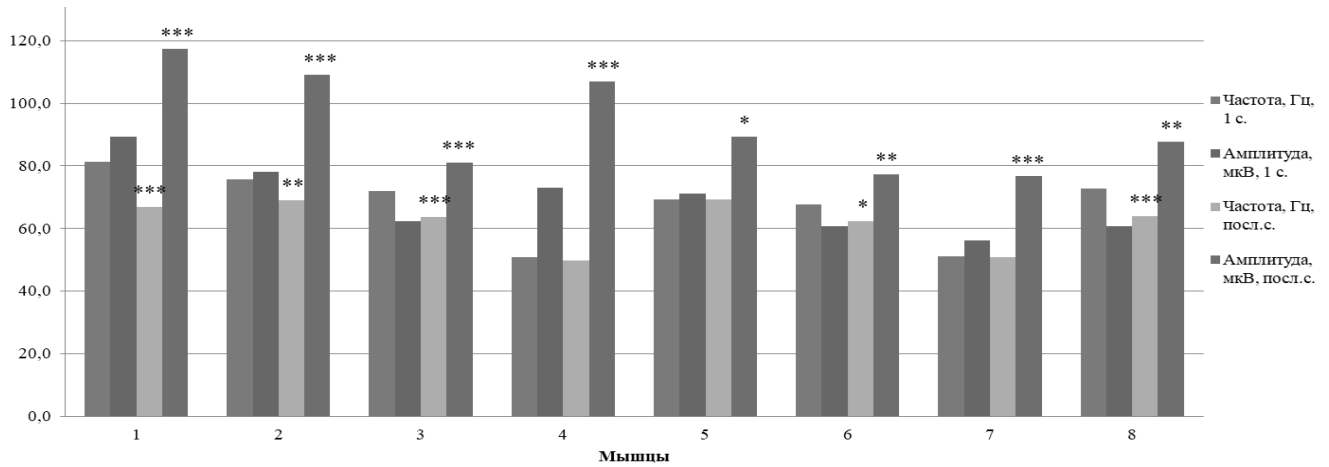


Рисунок 27 - Спектральные характеристики ЭМГ в первую и последнюю секунду фазы прицеливания при высокоточных выстрелах в группе перворазрядников.

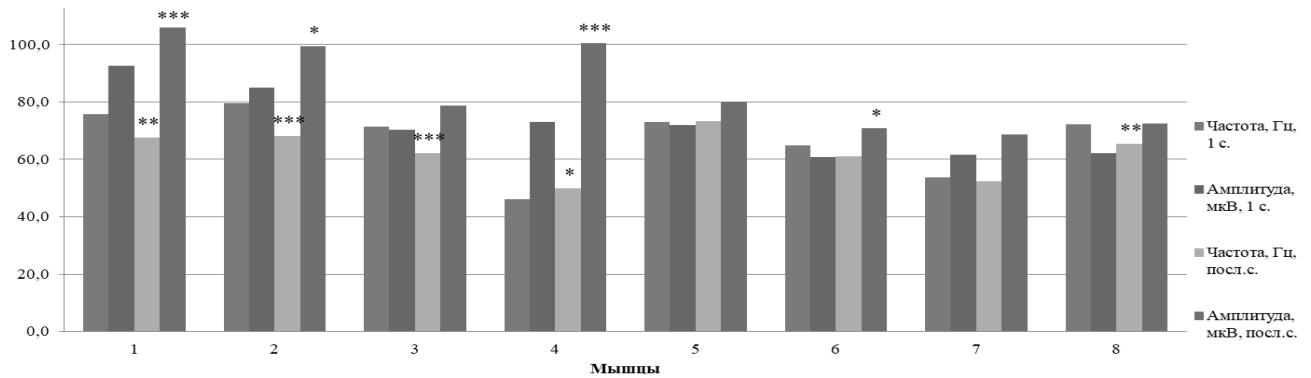


Рисунок 28 - Спектральные характеристики ЭМГ в первую и последнюю секунду фазы прицеливания при низкоточных выстрелах в группе перворазрядников.

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

* - $p \leq 0,05$; ** - $p \leq 0,01$; *** - $p \leq 0,001$.

При сравнении выстрелов разной результативности проявляется значительное увеличение амплитуд мощности спектра во всех исследуемых группах мышц только при высокоточных выстрелах.

Однако при низкоточных выстрелах амплитуда спектра возрастает всего лишь в половине из исследуемых мышц. По нашему мнению, это свидетельствует

о том, что спортсмену более низкой (чем КМС) квалификации необходимо приложить гораздо больше мышечных усилий в последнюю секунду фазы прицеливания для выполнения высокоточного выстрела. Явных закономерностей в изменении динамики частоты спектра между выстрелами различной точности не прослеживается, однако частотный диапазон остается прежним и соответствует двигательным единицам II A типа.

Различия между высокоточными и неточными выстрелами лучников первого разряда состояли в следующих частотных нюансах (рис. 26, 27):

1) при низкоточных выстрелах, производимых перворазрядниками, частота *M. biceps brachii dexter* статистически значимо ($p \leq 0,05$) возрастала на последней секунде фазы прицеливания по сравнению с первой секундой. При высокоточных выстрелах этот параметр достоверно не изменялся.

2) При точных выстрелах частота *M. trapezius sinister pars ascendens* статистически значимо ($p \leq 0,05$) возрастала на последней секунде фазы прицеливания по сравнению с первой секундой. При неточных выстрелах этот параметр достоверно не изменялся.

3) При низкоточных выстрелах отмечались количественно более явные временные изменения параметров ЭМГ (13 эпизодов достоверности) по сравнению с высокоточными (9 эпизодов статистической значимости) на отрезке «фаза прицеливания». В целом, эта же тенденция наблюдалась и у КМС, но менее явная, чем у перворазрядников.

Итак, анализ кинематических и ЭМГ параметров лучников-перворазрядников в фазе прицеливания показал, что (как и у КМС) время прицеливания, длина дотяга и рейтинг функциональной вовлечённости мышц в процесс прицеливания не предопределяли точность выстрела. Амплитудная тенденция функциональной вовлечённости мышц была доминирующей и стойкой как при точных, так и при неточных выстрелах (хотя при разной квалификации проявляла себя по-разному).

Однако, в отличие от КМС, при выстрелах высокой точности перворазрядников, в целом, отмечена большая активация мышц, чем при низкоточных выстрелах. (В группе КМС картина была зеркальной). Установлено

неэкономичное увеличение частоты на фоне амплитудного всплеска *M. biceps brachii dexter* при высокоточных выстрелах по сравнению с низкоточными; и аналогичный сдвиг в параметрах *M. trapezius sinister pars ascendens* высокоточных выстрелов по сравнению с низкоточными. Тогда как в группе КМС, наоборот, регистрировались более целесообразные энергоэкономичные «компенсаторные» амплитудно-частотные соотношения.

Тренировочная нагрузка у спортсменов-перворазрядников достаточно высока в первую очередь, это связано с необходимостью более быстрого формирования двигательного навыка. Недостаточная способность спортсмена контролировать положение звеньев тела в пространстве, отсутствие отточенного до совершенства аутохронометрического навыка, показало почти одинаковую кинематическую вариативность выполнения выстрелов как высокой, так и низкой точности. По результатам интегрированной ЭМГ не выявлено доминирования определенных групп мышц участвующих в реализации фазы прицеливания, уровень их активность не значительно отличался между собой. Высокая активность, а также дополнительная активизация мышц, не участвующих в формировании выстрела, свидетельствует о довольно низкой (по сравнению с КМС) межмышечной координации. В итоге для выполнения высокоточных выстрелов 1-разряднику необходимо еще больше усилий для преодоления сопротивления лука к концу фазы прицеливания, что точно определялось при сравнении динамики амплитуды спектра ЭМГ. При высокой нагрузке и сопутствующем мышечном утомлении проявляется десинхронизация рекрутирования ДЕ. Она выражается в неоднозначности изменений частоты спектра ЭМГ между начальной и конечной секундами фазы прицеливания. Специфика взаимосвязей межмышечной координации определяет уровень организованности движений, а также оптимальную активность мышечных усилий в реализации фазы прицеливания и всего выстрела в целом. Уровень координационных способностей у спортсменов 1 разряда соответствует определённой несформированности двигательного навыка, что требует детализации механизмов корково-подкорковых церебральных взаимодействий, образующих модель выполнения моторной программы. В итоге

формирование высокоточного выстрела зависит от оптимального уровня генерализации центральных и периферических систем. Поэтому нами был произведён дальнейший анализ электрической активности головного мозга (по ЭЭГ) у спортсменов 1 разряда для определения динамики формирования церебральных программ, в том числе с учётом спектра иррадиации возбуждения в различных зонах головного мозга.

Показатели ЭЭГ менее квалифицированных спортсменов. Расчет групповых усредненных топографических карт мощности спектра ЭЭГ с последующим их вычитанием из величины мощности состояния покоя перед высокоточным выстрелом у 1-разрядников (рис. 29) позволил определить пространственное распределение активных церебральных зон, участвующих в формировании выстрела высокой точности.

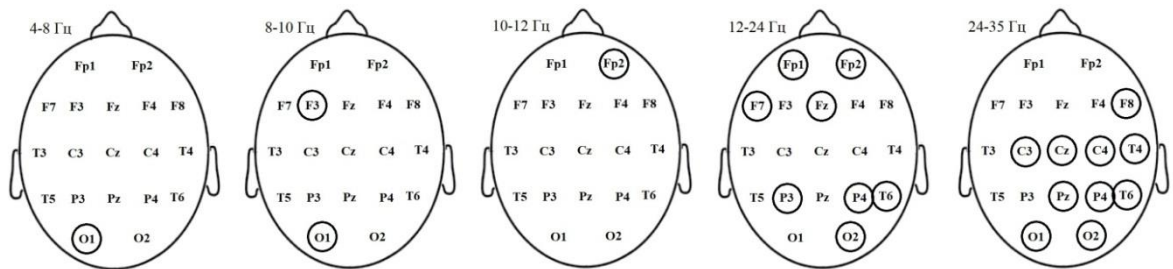


Рисунок 29 - Достоверные ($P < 0,05$) изменения в отведениях спектра мощности ЭЭГ при выстреле высокой точности в группе 1 разряда.

В диапазоне 4-8 Гц достоверные изменения мощности спектра ЭЭГ проявлялись в отведении O1, в диапазоне 8-10 Гц – в F3, O1, в диапазоне 10-12 Гц – в Fp2, в диапазоне 12-24 Гц – в Fp1, Fp2, F7, Fz, P3, P4, T6, O2, и в диапазоне 24-35 Гц – в F8, C3, Cz, C4, T4, Pz, P4, T6, O1, O2.

Индивидуальные карты (рис. 30) расположенные по рейтингу убывания точности выстрелов, показали, что количество неокортикальных областей 1-разрядников также существенно варьировало, как и у КМС. В диапазоне 4-8 Гц изменение активности определялось в отведениях T5, P3, O1, в диапазоне 8-10 Гц - в F8, C3, O1, O2, в диапазоне 10-12 Гц - в F4, Cz, Pz, O1, в диапазоне 12-24 Гц - в

Fp1, F7, Fz, F4, F8, Cz, C4, Pz, P4, O1, O2, в диапазоне 24-35 Гц - в F3, Fz, C4, P3, Pz, P4, T6, O1, O2. Наибольшее пространственное распределение активных корковых зон определялось в высокочастотных диапазонах бета1 и бета2.

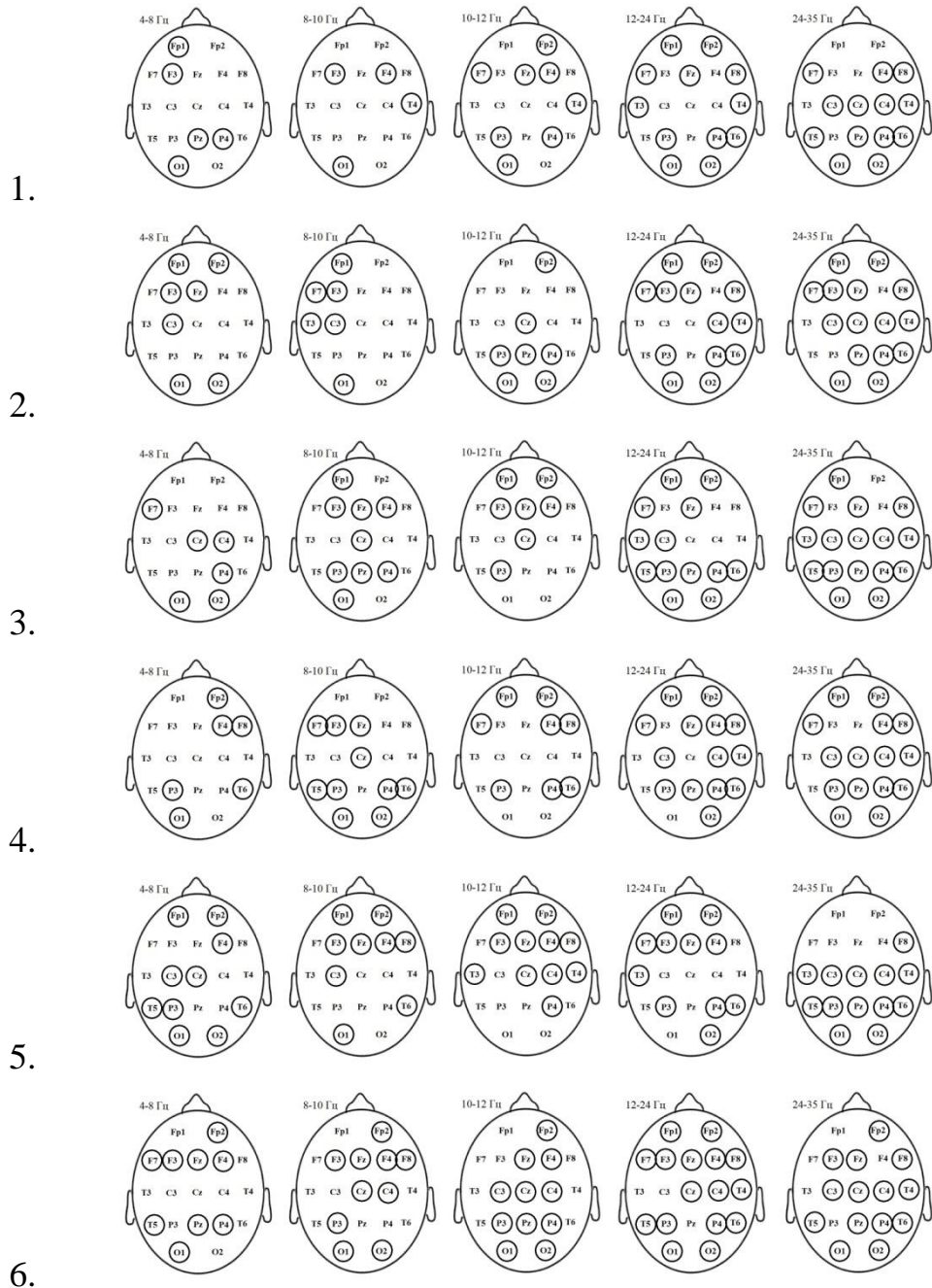


Рисунок 30 - Индивидуальные достоверные ($P < 0,05$) изменения спектра мощности ЭЭГ при вычитании из величины этого параметра в состоянии покоя перед выстрелом высокой точности лучников-первострельщиков (первые 6 спортсменов в рейтинге).

При оценке усреднённых по группе первострельщиков изменений (рис.31),

При оценке усреднённых по группе перворазрядников изменений (рис.31), прежде всего, обращало на себя внимание количественно меньшее скальповое представительство существенных сдвигов мощности основного ритма при точных выстрелах (3 эпизодов) по сравнению с неточными (8 эпизодов). У КСМ аналогичная картина была лишь слабой едва заметной тенденцией. Если вернуться к спортсменам первого разряда, то церебральный источник альфа-активности при их точных выстрелах был преимущественно корковым, а при низкоточных выстрелах – ещё и диэнцефальным (C_3 , C_z).

Что касается гиппокампального тета-ритма, то довольно обширная теменно-задне-височная и затылочная локализация его изменений определялась лишь во

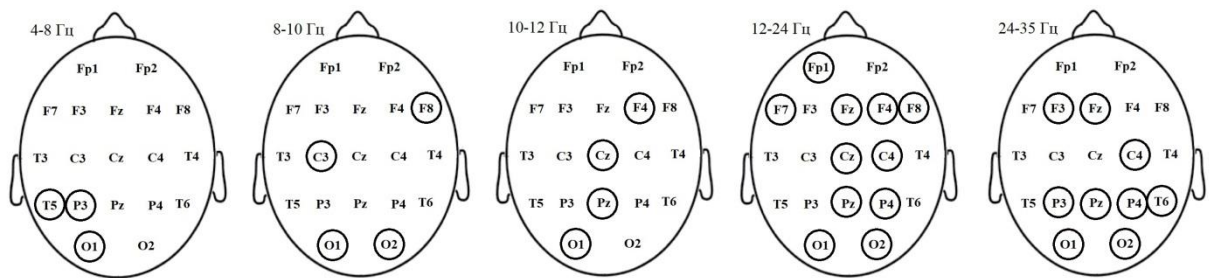


Рисунок 31 – Достоверные ($P < 0,05$) усредненные изменения в отведениях спектра мощности ЭЭГ в группе лучников-перворазрядников. Неточные выстрелы.

время прицеливания при неточных выстрелах. Тогда как точное попадание совпадало в трехкратных сужением представительства тета-активности и ограничивалось лишь левой затылочной долей.

По этим фактам складывалось впечатление, что точность выстрела перворазрядника достигалась (среди прочего) ценой некоторого временного ограничения эмоциональной энергетической подпитки из подкорковых слоёв мозга. Такую кратковременность, вероятно, оперативно необходимую лишь для конкретного действия в конкретный момент прицеливания, косвенно подтверждали стойкие асимметричные проявления (строго по 11 правосторонних

эпизодов как при точном, так и при неточном выстреле). Но, в связи с этим, забегая вперёд, нельзя не отметить факт явного преобладания правосторонних изменений мощности ЭЭГ целом у перворазрядников по сравнению с более квалифицированными спортсменами (11 против 5), особенно относительно высокочастотного основного ритма и бета-активности. Такие соотношения могут свидетельствовать об изначально повышенной эмоциональности перворазрядников по сравнению с КСМ на 6-й фазе упражнения. Отсюда допустимо предположить целесообразность подключения вышеупомянутого ограничения эмоциональности в момент прицеливания для физиологического обеспечения точности упражнения. Впрочем, при точных выстрелах перворазрядников в оценке достоверных изменений мощности во время фазы прицеливания фигурировало отведение $Fp2$ в альфа- и бета-диапазонах. При неточных выстрелах правая лобная зона по данному параметру сколько-нибудь значимо себя не проявила.

Динамика индивидуальных карт мощности спектра ЭЭГ низко точных выстрелов у группы 1-го разряда (рис. 32) тоже, как и при анализе высокоточных выстрелов, показали, что количество корковых областей, в которых выявлялось значимое изменение мощности спектров ЭЭГ, варьировало. Визуально заметно сужение зон вовлеченности тета- и альфа-ритмов по мере убывания числа неточных попаданий, то есть на рис. 31 по направлению снизу – вверх.

У спортсменов-перворазрядников (в отличие от КМС) в групповых картах при выстрелах высокой точности увеличения мощности тета-ритма в центральных фронтальных областях КБП во время прицеливания не происходило. Повышенная активность в низкочастотных диапазонах проявляется лишь в зрительной области слева, а также - в левой премоторной и правой лобной областях в тета, альфа1 и альфа 2 диапазонах. Изменения мощности гиппокампаального ритма обнаруживались преимущественно в левой затылочной области. Мощность альфа-активности была, в основном, симметрична в зрительных и лобной областях. Это в определённом мере согласуется с положением о том, что автоматизация двигательного навыка, посредством

электрической активности в диапазоне альфа приводит к торможению внешних сигналов при прицеливании, что обеспечивает формирование высокоточного выстрела (H.V. Dijk et al., 2008). В частотном диапазоне 12-24 Гц активность проявлялась лишь в центральной, левой соматосенсорной и зрительной областях правого полушария. Активация моторной и сенсорной областей в правом полушарии наблюдается в более высокочастотном диапазоне бета2. Выявленная активность корковых областей правого полушария у спортсменов-перворазрядников обратно симметрична по сравнению с более квалифицированными лучниками. Нисходящая и восходящая афферентации в высокочастотных диапазонах в правом полушарии при выстрелах различной точности, по-видимому, в большей степени поддерживают мышечную координацию левой руки, удерживающей лук. Активность корковых областей у более квалифицированных спортсменов во время представления прицеливания так же не совпадает по вышеописанной пространственной временной электрической активности с лучниками квалификации 1 разряда. У элитных спортсменов, как и у спортсменов группы КМС, высокочастотная электрическая активность корковых областей преобладает в левом полушарии (W. Kim et al., 2014).

В индивидуальных топографических картах по мере снижения количества высокоточных выстрелов число активных зон в низкочастотных диапазонах визуально повышалось. И действительно, по данным литературы, устойчивость реализации высокоточных выстрелов обеспечивается за счет оптимальной активации нейронных сетей, что обеспечивает взаимосвязь нисходящей и восходящей афферентации, способствующей повышению межмышечной координации и точности выстрела (R. A. Adams et al., 2013). Пространственное распределение высокочастотной активности при выстрелах большей точности существенно не отличалось от таковой у КМС. В групповых картах низкоточных выстрелов перворазрядников тета- и альфа- активность охватывала значительные области КБП, включающие лобные доли, центральные и затылочные корковые

поля. Высокочастотная электрическая активность в отличие от спортсменов КМС доминировала в правом полушарии.

Индивидуальные изменения в динамике мощности спектра низкочастотных диапазонов проявлялись в активации большего числа церебральных зон при значительном увеличении числа низкочастотных выстрелов, однако в высокочастотных диапазонах динамика активности оставалась неизменной. Такие количественные топографические оценки требовали дальнейшей качественной проверки и детализации, исходя из соображений, изложенных в предыдущей главе, описывающей результаты нашего исследования.

Корреляционный анализ параметров ЭЭГ и точности попаданий (в очках), произведённый по всем 7-ми фазам выстрела перворазрядников, выявил единственную существенную взаимосвязь (табл. 4) Лишь в первую (подготовительную) фазу зарегистрирована отрицательная выраженная корреляция ($P < 0,05$) мощности спектра высокочастотного альфа-ритма в левом височном отведении. Связь указывала на следующую закономерность: чем точнее выстрел перворазрядника, тем слабее в фазу подготовки мощность основного ритма в диапазоне 10-13 Гц, генерируемого из подкоркового гиппокампального уровня слева и проецирующегося в височную область неокортекса (Жаворонкова Л.А., 2020).

Таблица 4 – Корреляция (R) точности выстрела лучников первого разряда ($n = 20$) с абсолютными значениями мощности спектров ЭЭГ ($\text{мкВ}^2/\text{с}$) на разных фазах упражнения.

Фрагмент

1 фаза, подготовка				2 фаза, изготовление				6 фаза, прицеливание			
О 1 альфа 1	Фр 1 тета	Т 3 альфа 2	Кросс- спектр Т5 с альфа 1 в О1	О 1 альфа 1	Фр 1 тета	Т 3 альфа2	Кросс- спектр Т5 с альфа 1 в О1	О 1 альфа 1	Фр 1 тета	Т 3 альфа 2	Кросс- спектр Т5 с альфа 1 в О1)
-0,09	-0,23	-0,54*	-0,07	0,07	0,07	0,04	0,31	-0,26	-0,32	-0,23	-0,19

Примечание: * - $P < 0,05$.

Данный факт согласовывался с вышеописанными изменениями мощности тета-волн, сместившимися в другие отведения в 6-ю фазу.

Исходное сужение функционального, а затем - и топографического представительства основного ритма подчёркивало значимость начального подготовительного этапа упражнения и, вероятно, отражало характер предварительного психофизиологического настроя спортсмена.

Направленность наблюдаемых изменений (отрицательный знак R) подтверждает вышеизложенные соображения о необходимости ограничения выраженности эмоционального (T3, T5) фона для обеспечения точности выстрела лучниками 1 разряда. Левосторонняя локализация наблюдаемого явления могла указывать на рассудочный, и в результате - идеомоторный характер упреждающего психофизиологического состояния.

В фазу прицеливания 1-разрядников (табл. 4) корреляции имели недостоверную тенденцию к усилению. Малое число значимых связей (по сравнению с КМС) указывает на довольно низкий уровень развития функциональной системы, о недостаточной синергичности физиологических процессов при выполнении упражнения.

О неполной сформированности навыков профессиональных целенаправленных движений перворазрядников (по сравнению с КМС) свидетельствовала индивидуальная амплитудная динамика параметров ЭЭГ, зарегистрированная нами в течение всего упражнения «Стрельба из лука» (пример - на рис.33). Из рисунка видна зеркальность перераспределения функциональной активности полушарий одного и того же спортсмена при измерении амплитуды тета-ритма в височных отделах последовательно от 1 до 7 фазы выстрела.

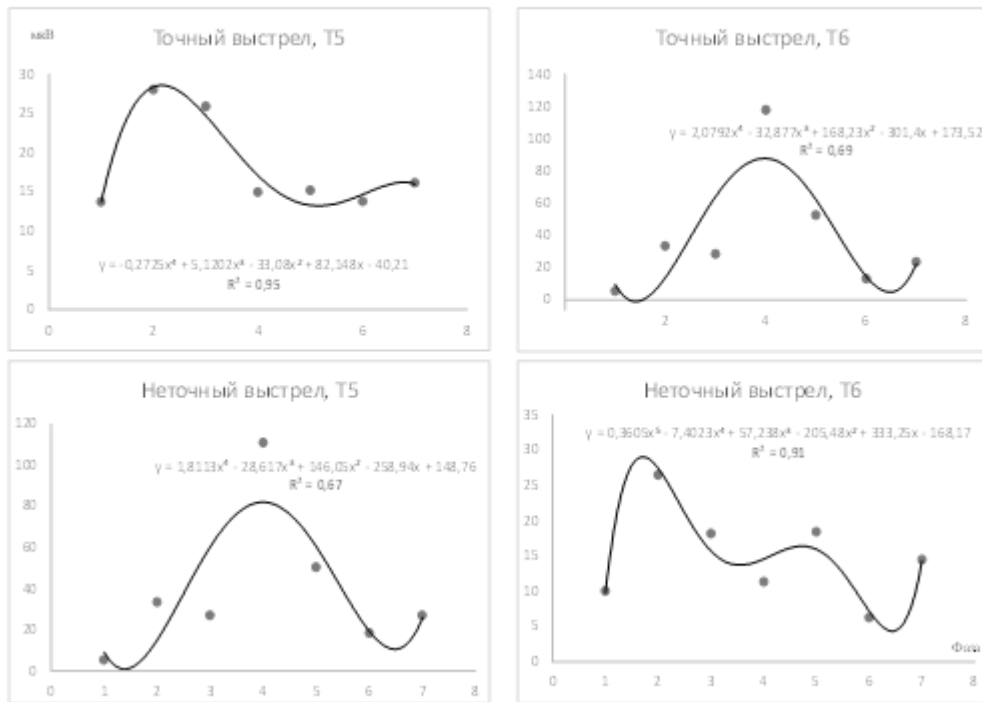


Рисунок 33 - Динамика величины абсолютной амплитуды тета-колебаний ЭЭГ (мкВ, по вертикали) в отведениях Т5 (два графика слева) и в Т6 (два графика справа) перворазрядника Г-ко (15 лет).

По горизонтали – фазы выстрел из лука. Точки – отдельные величины амплитудного параметра испытуемого. Над графиками приведены уравнения аппроксимации с коэффициентом детерминированности (R^2).

Характер левосторонней динамики точного выстрела напоминает таковой при неточном выстреле справа. И наоборот. Сходная картина зеркального межполушарного перераспределения описана в литературе у неспортсменов в режиме ФЗ (Vodolazhskaya M., Vodolazhsky G., 2016). В нашем случае обращает на себя внимание и то обстоятельство, что сила связи величины амплитуды с фактором времени (фазой), выраженная в виде величины коэффициента детерминированности (R^2), была почти максимальной, «функциональной» ($P < 0,001$) при выполнении точного выстрела перворазрядниками именно в левом отведении. А при неточном выстреле – в правом. Такое межполушарное перераспределение дополнительно свидетельствовало о большей

заинтересованности левой (а не правой) половины мозга в обеспечении механизма точности попадания в цель с участием гиппокампального тета-ритма.

Таким образом, судя по анализу ЭЭГ, точность выстрела лучников 1-го разряда предопределяли: в подготовительной фазе упражнения - ослабление мощности высокочастотных альфа-колебаний в переднем височном отведении слева; и затем в момент прицеливания - четырёхкратное сужение скальпового представления высокочастотных альфа-колебаний со смещением неокортикальных зон от затылочно-теменно-центральных и заднелобных отделов к правому передне-лобному отведению; двукратное сужение скальпового представления низкочастотных альфа-колебаний, их левосторонняя концентрация в зрительных и фронтальных зонах; троекратное сужение скальпового представления тета-активности и её концентрация в левой зрительной зоне.

3.2.3 Сравнительный анализ кинематических, ЭМГ и ЭЭГ показателей между спортсменами различной квалификации

Анализ кинематических показателей между группами спортсменов выявил, что длительность фазы прицеливания достоверно не различалась и составляла $4,12 \pm 0,05$ с и $4,05 \pm 0,05$ с. Однако распределение выстрелов по разной длительности временных интервалов показало вариативность времени фазы прицеливания при выстрелах разной результативности у спортсменов КМС, чего не наблюдалось у представителей 1 разряда. У более квалифицированных лучников высокоточные выстрелы находились в диапазоне от 3 до 4 секунд, а низкоточные от 4 до 5 секунд, а у перворазрядников все выстрелы были в одном диапазоне от 3 до 4 с.

Высокий уровень координационных способностей, внимания и анализа производимых действий позволяет КМС показывать достаточно низкую и стабильную длину дотяга $7,9 \pm 0,11$ мм. Достоверным отличием ($t = 3,45$; $P \leq 0,001$) от этой величины характеризовалась длина дотяга в группе 1 разряда. Длина дотяга была большей и составляла $8,9 \pm 0,27$ мм, что (среди прочего), вероятно,

приводило к уменьшению высокоточных выстрелов. Исходя из того, что время фазы прицеливания достоверно не изменялось, а длина дотяга увеличивалась, можно говорить о том, что и скорость прохождения стрелы из-под кликера, так же была большей у 1-разрядников.

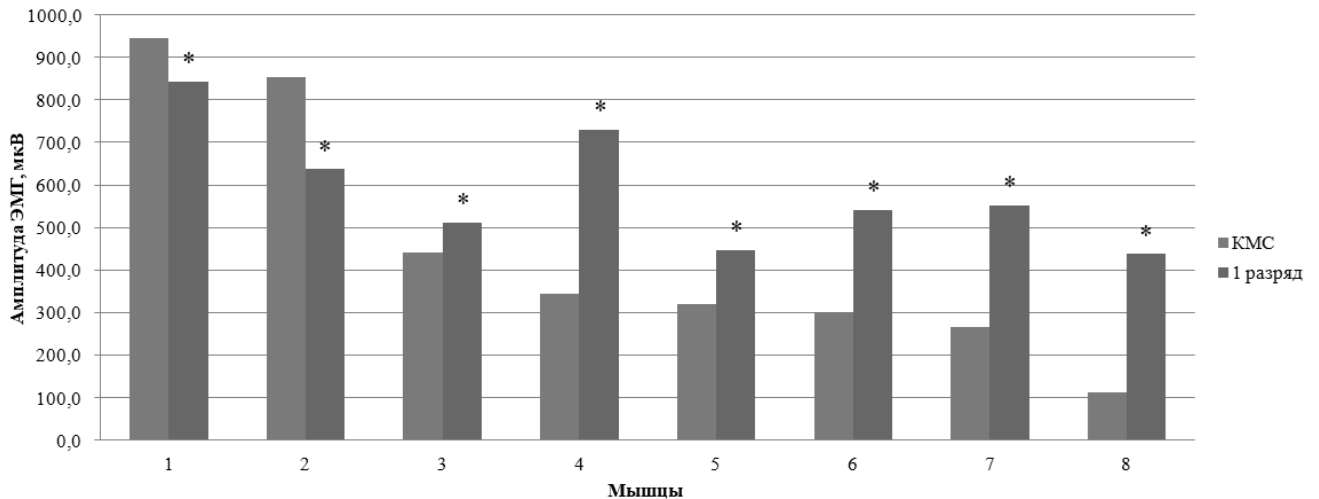


Рисунок 34 - Средняя площадь ЭМГ за 1 секунду во время фазы прицеливания лучников разной квалификации. Примечания: 1 - *M. deltoideus sinister*, 2 - *M. deltoideus dexter*, 3 - *M. trapezius sinister pars ascendens*, 4 - *M. triceps brachii sinister*, 5 - *M. trapezius dexter pars ascendens*, 6 - *M. triceps brachii dexter*, 7 - *M. biceps brachii dexter*, 8 - *M. biceps brachii sinister*; * - $P \leq 0,001$.

Исходя из полученных результатов, средняя площадь ЭМГ по всем исследуемым мышцам в группе КМС составляла $447,7 \pm 4,9$ мкВс. Достоверно большая величина ($P \leq 0,001$) этого показателя определялось в группе 1 разряда: $588,2 \pm 4,9$ мкВс (рис. 34).

Площадь ЭМГ представлена по рейтингу в порядке убывания у спортсменов КМС. Несмотря на то, что общий показатель площади ЭМГ у спортсменов 1 разряда во время прицеливания больше, активность дельтовидных мышц была меньшей, чем в группе КМС. Однако активность остальных групп мышц была значительно больше ($P \leq 0,001$).

На определенных этапах совершенствования технического мастерства и физического развития спортсмена изменяется вес лука, возрастает усилие его натяжения. Однако полученные результаты показали, что спортсмены КМС, имея

более тяжелые по натяжению луки, способны развивать меньше усилий во время выполнения выстрела по сравнению с менее квалифицированными, что обусловлено, среди прочего, высокой межмышечной координацией движений. Данные площади ЭМГ у спортсменов 1 разряда показали дополнительную активацию мышц рук для реализации фазы прицеливания. Это свидетельствует о том, что двигательный навык находится на более низкой фазе моторного обучения.

Поскольку мышца в своем составе имеет различные двигательные единицы, их вклад в конкретное двигательное действие различен. Спектральный метод анализа позволяет оценить активность двигательных единиц определенных типов частотных диапазонов. У всех испытуемых определялась активность ДЕ типа II A, что соответствует среднему частотному диапазону 35-70 Гц (А. Nagata, 1989). Однако средние спектральные величины по всем группам мышц показали достоверно большие значения как частоты, так и амплитуды спектра ЭМГ у 1-разрядников. В группе КМС частота составляла $60,3 \pm 1,0$ Гц, амплитуда $57,5 \pm 1,9$ мкВ, и в группе 1 разряда - частота $64,8 \pm 0,9$ Гц и амплитуда $79,7 \pm 2,2$ мкВ.

Сравнение амлитудно-частотных характеристик спектра ЭМГ (рис. 35) показало, что у спортсменов 1 разряда в левой дельтовидной мышце частота была больше, чем в группе КМС, при этом амплитуда оставалась одинаковой. Относительно высокая частота спектра при низкой площади ЭМГ может служить о различности механизмов формирования сокращения мышцы во время удержания лука у спортсменов более низкой квалификации. В правой дельтовидной мышце выявлялась меньшая амплитуда при одинаковой частоте спектра ЭМГ при аналогичном сравнении групп, что свидетельствует о низком уровне рекрутирования ДЕ определенной частоты. В остальных мышцах перворазрядников частота и амплитуда спектра ЭМГ были больше (по сравнению с КМС).

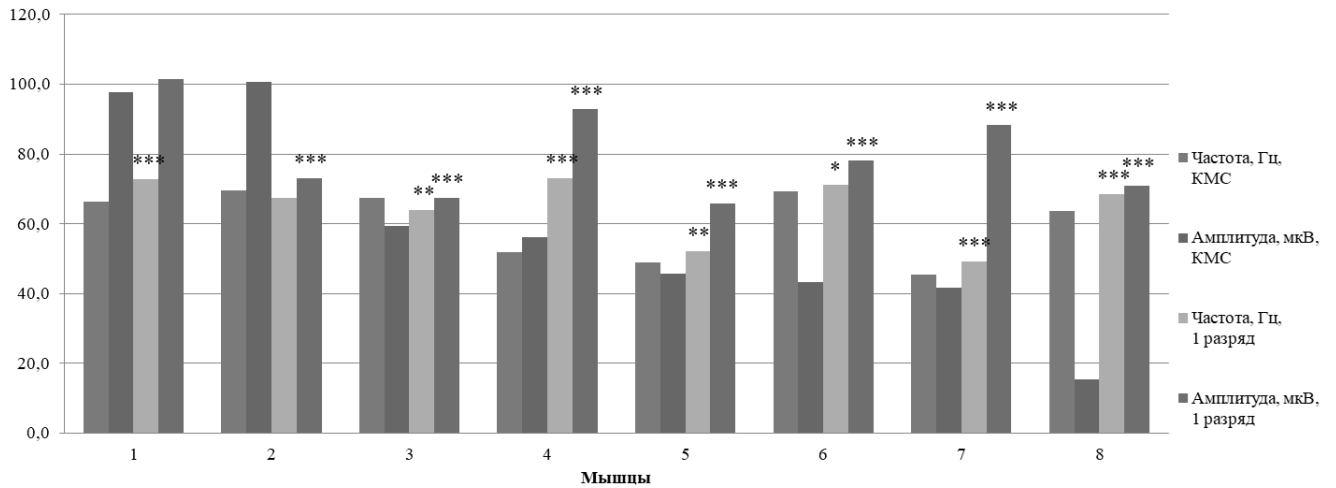


Рисунок 35 - Частота и амплитуда спектра ЭМГ фазы прицеливания в группах спортсменов различной квалификации

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*.; * - $p \leq 0,05$; ** - $p \leq 0,01$; *** - $p \leq 0,001$.

Спортсмены КМС отличаются более стабильным формированием выстрела высокой точности. У них при моторном обучении формируется более высокий уровень двигательного навыка, основой которого является высокая координация большого количества мышц, что снижает частоту импульсации и количество активных ДЕ. Чем выше автоматизация двигательного навыка, тем меньше затрачивает спортсмен энергии, обеспечивающей мышечное сокращение. По классическим представлениям Н.А. Бернштейна (1947), данный механизм ЦД обеспечивается пирамидно-стриальным уровнем С, состоящим из С1 - стриального и С2 – пирамидного уровней иерархической системы управления. Можно предположить, что высокоточные выстрелы спортсменов могут определяться также уровнем теменно-премоторным D и высшим кортикальным уровнем E. Объективным показателем деятельности этих уровней при высокоточных зрительно моторных актах в значительной степени может являться церебральная электрическая активность, в частности ЭЭГ.

Сопоставление показателей ЭЭГ спортсменов разных квалификаций.

Обобщённая оценка локализации церебральных зон, которые, судя по данным ЭЭГ, вовлечены в механизм формирования точного выстрела у лучников различной квалификации выявила интересные, на наш взгляд, межполушарные особенности (рис. 36). Они характеризовались рядом сходств и различий между группами спортсменов. К сходным явлениям относилось: 1) ограничение участия левого полушария в момент прицеливания для выполнения точного попадания (по сравнению с неточными выстрелами). 2) Стойкий стабильный неизменный уровень вовлечённости правого (эволюционно более древнего) полушария как при точных, так и при неточных выстрелах.

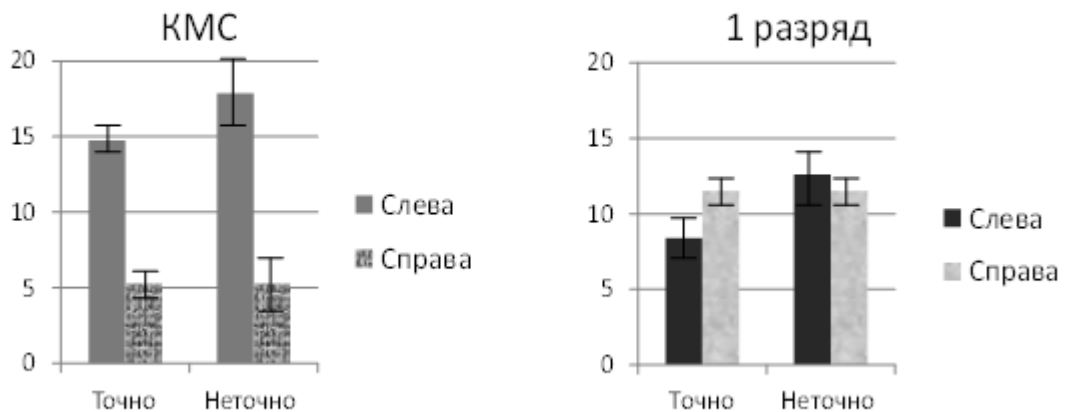


Рисунок 36 - Межполушарная асимметрия степени распространения мощностных изменений ЭЭГ лучников в фазе прицеливания.

Примечание: по вертикали – процент достоверных ($P < 0,05$) сдвигов мощности спектров ЭЭГ, усредненных по группам спортсменов разной квалификации.

За 100% принято число возможных результативных ($P < 0,05$) эпизодов изменений спектральной мощности ЭЭГ.

Различия между представителями спортивных квалификаций заключались в следующем: 1) вышеупомянутые левополушарные ограничения при «переходе от неточного выстрела – к точному» у КМС происходили на значимо более высоком уровне ($P < 0,01$), чем у 1-разрядников (рис. 36). 2) И, наоборот, стабильно-неизменный уровень правополушарного представительства при «переходе от

неточного выстрела - к точному» у КМС в целом был достоверно ниже ($P < 0,05$), чем у лучников 1-го разряда.

С учётом хорошо известной функциональной специфики полушарий (Тришин Е.С. и соавт., 2015; Черенкова Л.В. и соавт., 2015; Жаворонкова Л.А., 2020; Бердичевская Е.М., Пантелеева А.М., 2021), можно было полагать, что перворазрядники в момент прицеливания в целом (на фоновом уровне) более эмоциональны и менее рассудительны, чем более квалифицированные спортсмены. При этом, тем не менее, рассудочно-логические компоненты ВНД и тех, и других – на 6-й фазе «затаиваются», несколько ограничиваются, когда выстрел точнее. И, действительно, точный выстрел из лука, должен содержать как можно меньше движений и быть максимально расслабленным (Л.В. Тарасова, 2014). Есть сведения, что в соревновательном упражнении, на фоне нарастающего утомления пропадает чувство времени удержания (K-S. Lee, 2009). Вот почему тета-активность наших испытуемых КМС при прицеливании тоже затаивается в отведении Fp1. Что же касается эмоционально-творческого психофизиологического фона, то, на первый взгляд, он в механизме прицеливания почти не участвует. Но, подчеркнём, что это суждение на основании исключительно скальпового распространения сдвигов на ЭЭГ «по горизонтали», по конвекситальной поверхности неокортекса. Если же оценить подкорковые (эмоцигенные) проявления в ином направлении – по церебральной вертикали, с известных позиций о локализации генераторов колебаний ЭЭГ, - то картина детализируется. Глубинные церебральные процессы работают на конечный неокортикальный результат, и в итоге – на формирование ЦД.

В частности, фактологическим свидетельством ограничения повышенной эмоциональной (а значит, энергетической) подпитки ЦД в момент прицеливания спортсменов-перворазрядников было исчезновение центральных зон альфа-ритма из сферы вовлечения в выполнение упражнения при «переходе от неточного выстрелу – к точному» (рис. 26). По Жаворонковой Л.В. (2020), основной ритм в центральных отведениях, имеет сугубо диэнцефальное происхождение. И его

частотная полоса (8-10 Гц), зарегистрированная, разумеется, с поверхности мозга, указывает на эту же - подкорковую локализацию генератора.

У КМС, в отличие от лучников 1-го разряда, альфа-ритм в центральных зонах не был сколько-нибудь существенно вовлечен в механизм выстрела любой точности во время прицеливания (рис.15, 17). Медленноволновой спектр мощности ЭЭГ КМС при «переходе от неточного выстрелу – к точному» смещался во фронтальном направлении, что дополняло вышеописанную картину. По скальповой горизонтали (левополушарно) интеллектуально-рассудочный компонент ВНД сужался. Однако по церебральной вертикали он, вероятно, всё же обеспечивался энергетической подпиткой из подкорковых эмоцигенных уровней.

Примечательно, что у КМС для точности выстрела в большей мере требовались значимые изменения мощности тета-ритма в фазу прицеливания, чем перворазрядникам: в левых лобных отделах мощность тета сначала усиливалась ($R=0,45$; $P<0,05$; 1-я фаза), а затем, к моменту прицеливания - ослабевала ($R= -0,69$; $P<0,05$; табл. 5), хотя и оставалась повышенной при сопоставлении с ФЗ (судя по суммарным нейрокартам).

Сравнение результатов корреляционного анализа, оценивающего связи уровня точности выстрела и абсолютными и относительными величинами параметров ЭЭГ (очень большого их числа - более 3000) тоже было нацелено на выявление общности и различий спортсменов 2-х исследуемых групп. При этом $n=40$ потому, что каждый из 20-ти лучников предоставлял 2 варианты для вариационного ряда: от своего точного, и от неточного попадания в цель.

Общностью, прежде всего, явилась вовлечённость 1-й подготовительной фазы (а не только прицеливания) в физиологический механизм формирования точного выстрела и у тех, и у других спортсменов. Это подчёркивает и подтверждает важность и универсальность психологического настроя (Д.А. Напалков и др., 2013; Р.Н. Салихова, 2013; Корнева Н.А., Репина Н.В., 2018; Корнеева М.А., Шагова О.В., 2019; Тарасова Т.В., Тимакова Т.С., 2019; Федотова О.И., Ивашко С.Г., 2019; Иксман А.А., 2019), упреждающего выполнение последующих кинематических фаз упражнения «Выстрел из лука». Именно эта

хронофизиологическая общность выявлена при сравнении двух квалификации лучников порознь: КМС отдельно (верхняя строка таблицы) и 1-разрядников отдельно (2-я строка таблицы).

Таблица 5 – Корреляция (R) точности выстрела (очки) лучников разной квалификации (n = 40) с абсолютными значениями мощности спектров ЭЭГ (мкВ²/с) в динамике выполнения упражнения. Фрагмент

Группа	1 фаза, подготовка				2 фаза, изготовка				6 фаза, прицеливание			
	Отведения ЭЭГ											
	О 1 альфа 1	Fr 1 тета	Т 3 альфа 2	Кросс- спектр Т5 с альфа 1 в О1	О 1 альфа 1	Fr 1 тета	Т 3 альфа2	Кросс- спектр Т5 с альфа 1 в О1	О 1 альфа 1	Fr 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 разряд n = 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.

Когда же оценивалась объединённая группа из всех спортсменов без учета квалификации (нижняя строка таблицы), то сколько-нибудь существенных связей точности со всеми 3000 параметрами ЭЭГ (а не только по тому иллюстративному фрагменту, что показан в табл.5) выявлено не было. Это косвенно свидетельствовало о том, что установленные выше усреднённые достоверные различия между квалификациями вряд ли могут напрямую являться собственно маркерами ЦД. Но они служат физиологической базой, условием формирования точности выстрела, либо предварительным базовым кандидатом в маркеры точности при выполнении ряда условий. Ведь у КМС самих точных выстрелов было количественно больше, чем у перворазрядников. В группе лучников без учёта их квалификации связи оказались настолько опосредованными, что они не выявлялись ни корреляционным, ни аппроксимационным анализом. Между двумя

признаками очень много промежуточных звеньев. Следовательно, общих маркеров ЭЭГ для всех лучников (не зависимо от квалификации) не существует. Во всяком случае, таковые нами не обнаружены. Выявлены лишь условия, физиологически благоприятные для формирования точности выстрела, и являющиеся базой для обнаружения маркёров точности.

Различие первое. При разделении спортсменов на группы в соответствии с их квалификацией - нейрофизиологические маркеры точности ЦД «Выстрел из лука» существуют, но для КМС они – одни, а для перворазрядников – другие. И по ряду параметров - противоположны. Как известно, когда корреляционный (по сути, индивидуальный) анализ выявляет достоверную связь, то это свидетельствует о том, что данная зависимость на 95% безошибочности суждения является, в нашем случае, маркёром точности выстрела. Если проанализировать таблицу, то видно, что основной параметр, с зеркально-противоположной направленностью корреляций у двух групп испытуемых – выраженная связь между точностью попадания и мощностью спектра высокочастотного альфа-ритма в отведении Т3. По классическим представлениям (Виноградова О.С., 1975) тета-ритм, регистрируемый в состоянии бодрствования и тем более, в височных отделах, имеет гиппокампальное происхождение. По результатам нашего корреляционного анализа (табл.5) допустимо предположить, что в начале упражнения у КМС альфа-ритм из Т3 трансформировался в тета-волну, иррадиировал в передне-лобные зоны и стал регистрироваться в Fp1. При этом рост его мощности в 1-ю же фазу выстрела продолжал детерминировать точность попадания КМС. Такое предположение отчасти подтверждает показатель кросс-спектра Т5 с альфа 1 в О1, регистрируемый тоже слева и так же связанный с точностью по выраженности корреляции и по её направленности. В пользу этого же свидетельствует связь абсолютной мощности альфа-ритма в О1 (табл.5), которая была однонаправленной 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, мы можем судить о вовлеченности корково-подкорковых взаимодействий в механизм формирования точности выстрела из лука. В расширительном психофизиологическом смысле это – активизированное взаимоотношение сознания с подсознанием, состояние чрезвычайно благоприятное для раскрытия творческих способностей, достижения высоких когнитивных результатов (Водолажская М.Г., Твердякова Л.В., 2018). Именно оно маркирует точный выстрел в 1-й фазе. Далее, для точного выстрела КМС основной ритм в ТЗ удерживает высокую мощность вплоть до фазы прицеливания, а тета-активность в момент прицеливания $\text{Fr}2$ 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, тем точнее его выстрел».

Различие второе. В 7 раз большее число значимых связей между параметрами ЭЭГ и точностью попадания у КМС по сравнению с перворазрядниками указывает на высокий уровень развития функциональной системы 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 произвольном контроле поддержания «удобной» стойки.

В сформированной у КМС функциональной системе ЦД «Стрельба из лука», естественно, проявляются и общие системные свойства: единство, сила взаимосвязей отдельных подсистем, функциональная и структурная иерархия и

т.д. У спортсменов 1-го разряда церебральный уровень регуляции будущей (пока ещё не до конца 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 представления 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 во временном торможении мыслительно-логических операций. Чем таковых меньше, тем точнее выстрел. А при этом, на периферическом (нижнем, исполнительном) уровне иерархической системы – мышечная активность, наоборот, реципрочно растет, становится более обширной. То есть, ослабляя свою мощность по ряду параметров ЭЭГ, мозг оказывает некое растормаживающее влияние на мышцы, вызывая у перворазрядников в некотором смысле излишнюю 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.

Что касается центрального нервного звена, управляющего мышечным аппаратом, регулирующего и корригирующего его деятельность, - то там (на церебральном уровне) картина зеркальная. 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. 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 термине «растормаживающий». Мы предположили, что мозговое усиление мощности мастеров либо ослабление мощности перворазрядников в 1-ю фазу выстрела имеет тормозную природу. 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. 5).

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 мастер) мышечных энергозатрат.

Косвенными, но вескими доказательствами того, что установленная нами 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 настроения 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; Т.Оtto, 1991), специфически участвует в формировании аутохронометрии (Водолажская М.Г., 2000).

Что касается альфа-активности, тесно связанной с гиппокампальными тета-волнами при усилении корково-подкорковых взаимодействий, то ее сдвиги можно объяснить с позиции тормозной теорией индуцированной синхронизации альфаритма (A.Fink et al., 2006; Min B.K., Hermann C.S., 2007; Яковенко И.А. и соавт., 2016). Согласно этой теории, 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). При этом в соответствующих корковых системах, в основном, – кортико-гиппокампальных и таламо-кортикальных – замедляется метаболизм (Feige B. et al., 2005). У таких испытуемых задача регулируется преимущественно внутренним состоянием «Top-down-cognitive-control», вероятно, формирующемся с участием тормозного медиатора ГАМК, находящегося, как известно, в одном метаболическом шаге от цикла Кребса: альфа-кетоглутаровая кислота → глутаминовая 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., Водолажская М.Г., 2020). Так, вероятно, реализуются пусковые и корректирующие церебральные влияния,

формирующие кинетику 3-й, 4-й, 5-й и особенно 6-й и 7-й (собственно результативной) фаз выстрела из лука.

У перворазрядников точное попадание совпадало с трехкратным сужением представительства тета-активности (по сравнению с неточным выстрелом) и тоже ограничивалось лишь левой затылочной долей. На первый взгляд, можно было думать о невовлечённости тета-волн ЭЭГ 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 (Т3О2). 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 Т5 – к Т3. При этом тета-диапазон трансформируется 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 поструральном контроле у них определена достоверная право-левая асимметрия параметров стабилкинезиограммы 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.

Подытоживая главу, посвящённую сравнению кинематических, ЭМГ и ЭЭГ особенностей между спортсменами различной квалификации, необходимо обозначить следующие сходства и различия.

Для обеих групп испытуемых обязательным условием точности выстрела были:

- сужение зоны распространения изменений мощности ЭЭГ в левом полушарии и полная стабильность данного параметра в правом полушарии. (Уровень, на котором реализовалось это сходство – различался между квалификациями, но факт направленности представлял собой общность).

- Вовлечённость 1-й подготовительной фазы (а не только прицеливания) в нейрофизиологический механизм формирования точного выстрела.

- В объединенной группе всех спортсменов без учета квалификации существенных связей между точностью и параметрами ЭЭГ не установлено, что даёт переход к идентификации различий, которые представлены ниже.

Различиями между спортсменами двух групп явились:

- 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 1-разрядников.

- Участие левого полушария головного мозга для выполнения точного попадания у КМС в момент прицеливания было более обширным, чем у 1-разрядников. Уровень правополушарного представительства при «переходе от неточного выстрела - к точному» в момент прицеливания у КМС, наоборот, был ниже, чем у лучников 1-го разряда.

- У КМС, в отличие от лучников 1-го разряда, альфа-ритм ЭЭГ в центральных зонах не был вовлечен в механизм выстрела любой точности во время прицеливания. КМС для точности выстрела в большей мере требовались значительные изменения мощности тета-ритма в фазу прицеливания, чем перворазрядникам.

- Нейрофизиологические маркеры точности ЦД «Выстрел 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 некоторое ослабление мощности тета-волн ЭЭГ. В отличие от этого, точность выстрела перворазрядников маркирует лишь меньшая мощность основного ритма в височном отведении слева в первую фазу выстрела, а также сужение скальпового представления альфа- и тета-частотных диапазонов ЭЭГ при прицеливании.

- Семикратно большее число значимых связей между параметрами ЭЭГ и точностью попадания у КМС по сравнению с перворазрядниками указывает на высокий уровень развития функциональной системы по мере роста мастерства, о синергизме физиологических процессов при выполнении упражнения более квалифицированными лучниками.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установленные в настоящей работе физиологические маркеры ЦД могут служить основой совершенствования спортивной техники стрелков из классического лука. В соответствии с целью исследования выявлены электроэнцефалографические и электромиографические особенности, маркирующие различные периоды становления целенаправленного движения у спортсменов лучников различной квалификации при выстрелах различной точности. Синхронно определены кинематические, ЭМГ- и ЭЭГ-маркеры выстрела лучников различной квалификации. Одни из них маркировали временной паттерн (3 периода, 7 фаз упражнения), другие – явились «кандидатами в маркеры» и представляли собой ключевые различия между более- и менее квалифицированными спортсменами, а третьи – были собственно маркерами точности попадания в цель. В ходе работы происходил поиск ответа на вопрос, является ли разница величин определённых параметров между спортивными квалификациями - маркером точности выстрела? Индивидуальный анализ показал, что у каждой из двух групп, отобранных по квалификационным характеристикам, свои маркеры точности. А межгрупповые различия — это, скорее, показатели, специфичные для уровня тренированности или «маркеры квалификации лучника», внутри которой могут производиться как точные, так и не точные выстрелы. Именно их мы назвали «кандидатами в маркеры», послужившими условиями для идентификации истинных маркеров точности выстрела.

В обобщённых таблицах 6,7 представлены маркеры паттерна упражнения (фаз выстрела). Кинематические параметры, ЭМГ и ЭЭГ регистрировали одновременно, но анализировали их - поэтапно, по принципу «От простого – к сложному», «От периферии – к центру (ЦНС)». Результаты анализа излагали той же последовательности. Итак, по кинематическим и ЭМГ параметрам (миографическая динамика, табл.6) произведено

Таблица 6 – Предварительное маркирование фазового миографического паттерна целенаправленных движений при стрельбе из лука

I (предварительная подготовка)		II (динамический период: формирование монолитной функциональной системы «Стрелок-оружие» в условиях усложнения вертикальной позы спортсмена)			III (прицеливание, зрительно-моторная коррекция с последующим выстрелом)	
1	2	3	4	5	6	7
<i>Подготовка</i> (занятие огневой позиции, зарядание стрелы)	<i>Издготовка</i> (захват тетивы тянущей рукой и упиранием в лук, формирование оптимальной вертикальной позы)	<i>Установка</i> (подъем опорной руки до оптимального уровня положения лука, сопровождающегося его натяжением)	<i>Основное натяжение</i> (продолжение натяжения лука за счёт M. triceps brachii sinister и deltoideus sinister)	<i>Укладка</i> (максимальное вытягивание стрелы из-под кликера, подчелюстная фиксация тянущей правой руки)	<i>Прицеливание</i>	<i>Выстрел</i>
Отсутствие активности ЭМГ в большинстве мышц при нормальном ритме ЭКГ и РД.	Активация M. biceps brachii sinister и deltoideus sinister. Зависимость между ранним включением в работу мышц и весом лука: высокоамплитудные пики ЭМГ. Активация M. trapezius sinister pars ascendens: удержание левого плечевого сустава в крайнем нижнем положении, как основа правильного формирования упора в лук в следующей фазе упражнения. Проявляется у всех спортсменов.	Повышение электрической активности большинства мышц с последующим перемещением координат лучезапястных суставов по оси Z с их ускорением. На датчике рекурсии дыхания - глубокий вдох. Завершение фазы: максимальные значения координат левого и правого лучезапястных суставов и замедление их перемещения. Повышение электрической активности M. biceps brachii sinister и triceps brachii sinister у КМС 288,5±38,4 и 487,6±72,7 мкВс при сравнении с 1-разрядниками 146,4±25,3 и 234,2±31,4 мкВс (p≤0,01). В большинстве выстрелов у спортсменов 1 разряда регистрируются высокоамплитудные пики в M. triceps brachii dexter и deltoideus dexter.	На датчике РД: полу-выдох с последующей остановкой вплоть до заключительной фазы выстрела. Перемещение координат лучезапястных суставов связано с окончательной установкой мушки в область мишени. Во время основного натяжения взгляд направлен в сторону мишени для определения оптимальной области положения мушки относительно мишени.	Взгляд переводится на наконечник стрелы для контроля длины натяжения лука. Незначительное снижение координаты правого лучезапястного сустава по оси Z, постоянство электрической активности большинства мышц. Активация всех ведущих мышц при их динамическом сокращении. Координаты лучезапястных суставов перемещаются в обеих плоскостях, значительно ускоряясь. Включение большего количества активных мышц у 1-разрядников. Стабилизация динамики увеличения площади ЭМГ у КМС.	Маркёры на окулограммах: взгляд с наконечника стрелы переходит на мушку для последующего контроля прицеливания. К концу фазы постепенно возрастает электрическая активность мышц: увеличивается длина растяжения лука и его усилие. Прицеливание заканчивается срабатыванием кликера, точно прослеживаемым по каналу ДДА.	Перемещение правого лучезапястного сустава по оси Y с одновременным увеличением его скорости, уменьшением электрической активности всех мышц, кроме M. biceps brachii sinister, которая принимает нагрузку свободного лука. Конечная фаза выстрела: зрительно-моторная реакция на звуковой сигнал срабатывания кликера. Время двигательной реакции на кликер – временной маркер успешности реализации выстрела. Величина латентного времени рефлекса - маркер функционального состояния нервных центров выстрела. Окончание фазы - расслабление мышц с последующим опусканием лука.

Таблица 7 – Маркирование фазового ЭЭГ-паттерна целенаправленных движений при стрельбе из лука

I (предварительная подготовка)		II (динамический период: формирование монолитной функциональной системы «Стрелок-оружие» в условиях усложнения вертикальной позы спортсмена)			III (прицеливание, зрительно-моторная коррекция с последующим выстрелом)	
1	2	3	4	5	6	7
<i>Подготовка</i>	<i>Изготовка</i>	<i>Установка</i>	<i>Основное натяжение</i>	<i>Укладка</i>	<i>Прицеливание</i>	<i>Выстрел</i>
<p>У КМС:</p> <p>1) плавное усиление спектральной мощности тета-колебаний в отведении Fp1 детерминирует точность выстрела;</p> <p>2) выраженное увеличение спектральной мощности альфа-ритма в отведениях O1 и T3 детерминирует точность выстрела.</p> <p>3) рост показателя «Кросс-спектр T5 с низкочастотным альфа-ритмом в отведении O1» отражает усиление корково-подкорковых взаимодействий (психологический настрой) и детерминирует точность выстрела.</p>	<p>У КМС:</p> <p>1) утрата связи спектральной мощности тета-колебаний в отведении Fp1 с точностью попадания в цель;</p> <p>2) продолжающиеся заметное увеличение спектральной мощности высокочастотного альфа-ритма в отведении T3 детерминирует точность выстрела;</p> <p>3) утрата связи спектральной мощности основного ритма в отведении O1 с точностью попадания в цель.</p>	<p>ЭЭГ-маркеров точности выстрела и квалификационных маркеров не установлено.</p>	<p>ЭЭГ-маркеров точности выстрела и квалификационных маркеров не установлено.</p>	<p>Физиологические артефакты, проявляющиеся на ЭЭГ, связаны с высокоамплитудными движениями испытуемого.</p>	<p>У КМС:</p> <p>1) ослабление спектральной мощности тета-колебаний в отведении Fp1 (при сохранении более высокого мощностного уровня по сравнению с состоянием покоя) детерминирует точность выстрела;</p> <p>2) продолжающиеся заметное увеличение спектральной мощности высокочастотного альфа-ритма в отведении T3;</p> <p>3) альфа-ритм, топографически выявляемый в неокортикальных областях O1 и T3.</p>	<p>Физиологические артефакты, проявляющиеся на ЭЭГ, связаны с высокоамплитудными движениями испытуемого.</p>
<p>У перворазрядников:</p> <p>1) выраженное ослабление спектральной мощности высокочастотного альфа-ритма в отведении T3 детерминирует точность выстрела.</p>					<p>У перворазрядников:</p> <p>сужение скальпового представительства:</p> <p>1) высокочастотных альфа-колебаний со смещением неокортикальных зон от затылочно-теменно-центральных и задне-лобных отделов к правому передне-лобному отведению;</p> <p>2) низкочастотных альфа-колебаний, их левосторонняя концентрация в зрительных и фронтальных зонах;</p> <p>3) тета-активности и её концентрация в левой зрительной зоне.</p>	

предварительное маркирование фазового паттерна ЦД при стрельбе из лука, то есть до тонкого учёта ЭЭГ. На данном этапе общего (не индивидуального) анализа на первый план по физиологической значимости вышла фаза прицеливания. Затем в результате нейрофизиологической оценки данных (табл. 7), характеризующих центральное регуляторное звено иерархической функциональной системы ЦД, состоялось маркирование фазового ЭЭГ-паттерна ЦД «Стрельба из лука». На этом этапе анализа (уже с включением индивидуального подхода) ведущей по значимости явилась 1-я (подготовительная) фаза упражнения, наряду с прицеливанием. На начальных фазах (1 и 2 фаза выстрела), а также во время прицеливания, при сопоставлении данных ЭЭГ с миографическими параметрами выявлялись и специфические квалификационные различия, и маркеры точности выстрела.

Обобщённая закономерность, вытекающая из наших данных, такова: более квалифицированному спортсмену (КМС) легче точно попасть в цель, чем промахнуться. Этим и отличается мастерство. А перворазряднику легче (ценой относительно меньших усилий) промахнуться, чем точно попасть в цель. Для точного попадания ученику надо приложить много мышечных усилий. Значит, переход к более высокой спортивной квалификации – это подъем на качественно иной уровень спортивного мастерства. При этом зарегистрирован не только количественный, но и качественный скачок, коль скоро наблюдалась реверсия направленности по ряду исследуемых нами нейрофизиологических и миографических параметров. Переход от одного периода к другому, от одной фазы упражнения – к другой, вероятно, осуществляется по принципу системного квантования жизнедеятельности К.В.Судакова (Покровский В.М., Коротько Г.Ф., 2011).

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, несмотря на значительные мышечные усилия, должен

содержать как можно меньше движений и быть максимально расслабленным (Л.В. Тарасова, 2014). Наши данные идентифицируют это «расслабление» или «застаивание» и вносят новые детали в его механизм. Объективизировано сужение зоны распространения изменений мощности колебаний ЭЭГ в левом полушарии, ограничение тета-активности ЭЭГ в отведении Fp1, усиление корково-подкорковых взаимодействий, необходимое для оптимального психофизиологического настроя, достижения пика формы (Петренко Т.И., Базанова О.М., Кабардов М.К., 2019) 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. Допустимо предположить, что у КМС мозговые субстанции (для точности попадания) своим усилением мощностной активности дают команду мышцам по сдерживанию их чрезмерных усилий. В итоге у мастеров точность попадания достигается легко. А излишние мышечные усилия приводят к неточному выстрелу. И, наоборот, у 1-разрядников церебральные нервные центры ЦД своим ослаблением мощностной активности дают растормаживающую команду мышцам и приводят к их повышенной активации. В итоге у перворазрядников точность попадания достигается более напряженно, более энергозатратно, чем у мастеров. А меньшие мышечные усилия 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.

Схематичное моделирование двух специальных функциональных систем становления ЦД лучника при формировании выстрелов различной точности в зависимости от спортивной квалификации

По Анохину П.К., любая функциональная система – это динамически складывающийся саморегулирующийся комплекс центральных и периферических образований, обеспечивающий достижение полезных приспособительных результатов.

Применительно к предмету нашего изучения (точности ЦД лучника) общая для любой спортивной квалификации функциональная система

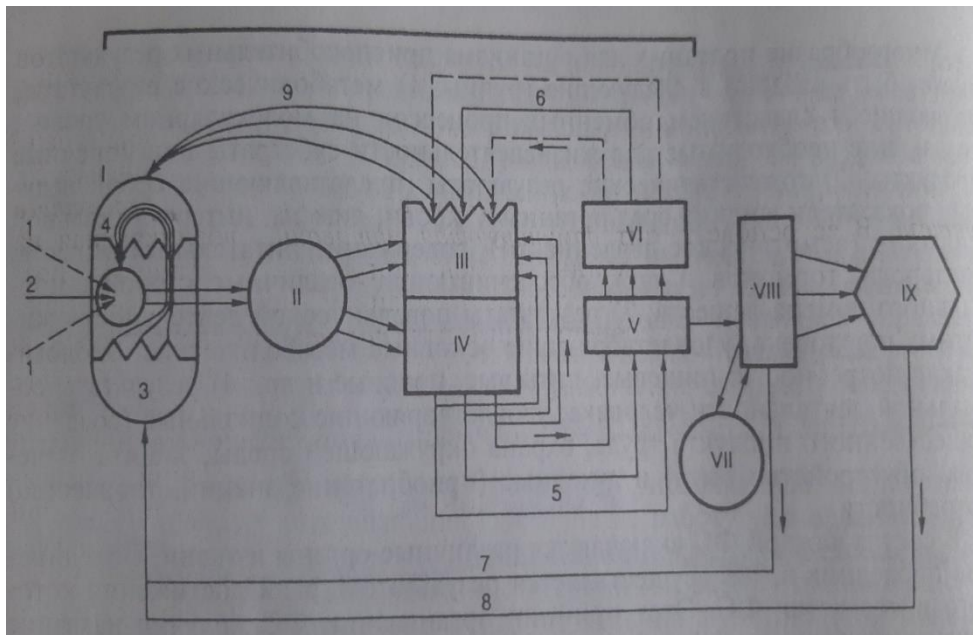


Рис. 37 - Общая архитектура функциональной системы, определяющей целенаправленную деятельность организма, на основе внутренней потребности (по П.К.Анохину; иллюстрация из кн. Покровского В.М., Коротько Г.Ф., 2011) .

I – афферентный синтез: 1 – обстановочная афферентация, 2 – пусковая афферентация, 3 – мотивация, 4 – память; II – принятие решения; III – акцептор результатов действия; IV – программа действия (эфферентный синтез); 5 – поведенческая деятельность; V – результат поведения; VI – параметры результата; 6, 9, - обратная афферентация; VII – метаболизм; VIII – параметры гомеостаза; 7 – гуморальные влияния; IX - рецепторы; 8 – нервные влияния. Сплошная линия сверху (отрезок) – границы поведенческого акта.

становления ЦД представляет собой динамически складывающийся саморегулирующийся комплекс преимущественно церебральных и мышечных (опорно-двигательных) образований, обеспечивающий достижение полезного поведенческого и социального приспособительного результата – выстрела как можно более высокой точности. В настоящем исследовании удалось получить ряд фактов, позволяющих на основе данного общего определения и общей архитектоники (рис. 37) схематично смоделировать две различные специальные функциональные системы становления ЦД лучника с квалификацией «КМС» и лучника 1-го разряда при формировании выстрелов различной точности.

Схематичное моделирование специальной функциональной системы становления ЦД лучника высокой квалификации (КМС)

при формировании выстрелов различной точности

(на основе общей архитектоники, рис. 37 и маркирования, табл. 6,7)

I – афферентный синтез приходится на предварительную подготовку и динамический период (фазы подготовки, изготовления, установки, основного натяжения и укладки):

1 – обстановочная афферентация. В нашем случае это - особенности проведения соревнований, влияние окружающей среды, погодных условий, дальность расстояния до мишени. Уровень функциональной системы - поведенческий и социальный, поэтому в ней внешнее звено саморегуляции играет ведущую роль. Формируется доминирующая мотивация на победу, определяющая психические и двигательные качества. Возбуждение в сочетании с торможением, создаваемые доминирующей мотивацией в виде плавного усиления спектральной мощности тета-колебаний в $Fp1$, увеличения спектральной мощности альфа-ритма в $O1$ и $T3$, росте кросс-спектра $T5$ с низкочастотным альфа-ритмом в $O1$, и, как следствие, отсутствия активности ЭМГ в большинстве мышц, – мобилизует

генетический и персональный приобретенный опыт, а также врождённый потенциал по удовлетворению потребности в спортивной победе. В конкретной соревновательной обстановке оценивается возможность, корректируется прошлый опыт точных и особенно неточных выстрелов. Так, создаётся состояние готовности, необходимое для получения адаптивного результата – точного попадания, при котором оптимально сбалансированы возбуждающие и тормозные влияния. Формируется силовая выносливость, сдержанность, нарастает концентрация внимания. Именно он играет системообразующую роль. Решается аутохронометрический вопрос: «Когда действовать?».

2 – пусковая афферентация переводит систему из состояния готовности в состояние деятельности, когда решается вопрос механизма: «Как действовать?» Механизм концентрации внимания и активации когнитивной сферы более квалифицированного лучника при этом, судя по нашим данным, примерно таков. Продолжается увеличение спектральной мощности высокочастотного альфа-ритма в ТЗ (оно детерминирует будущую точность выстрела); на этом этапе уже утрачиваются связи спектральной мощности тета-колебаний в Fp1 с будущей точностью попадания в цель; утрачиваются также связи спектральной мощности основного ритма в отведении О1 с точностью попадания в цель (и те, и другие сейчас - нецелесообразны); как следствие, для оттачивания координационных свойств организма активируются *M. biceps brachii sinister* и *deltoideus sinister*; регистрируется зависимость между ранним включением в работу мышц и весом лука, а также высокоамплитудные пики ЭМГ. Одновременно активируется *M. trapezius sinister pars ascendens* для удержания левого плечевого сустава в крайнем нижнем положении, как основа правильного формирования упора в лук в следующей фазе упражнения; повышается электрическая активность большинства мышц с последующим перемещением координат лучезапястных суставов по оси Z с их ускорением. Происходит глубокий вдох. Регистрируются максимальные значения

координат левого и правого лучезапястных суставов и замедление их перемещения, а также повышение электрической активности *M. biceps brachii sinister* и *triceps brachii sinister* у КМС $288,5 \pm 38,4$ и $487,6 \pm 72,7$ мкВс при сравнении с 1-разрядниками $146,4 \pm 25,3$ и $234,2 \pm 31,4$ мкВс ($p \leq 0,01$).

3 – Мотивация на выигрыш, на успешный результат, на выстрел высокой точности, на моральное и экономическое вознаграждение, на продвижение по лестнице спортивной карьеры. Координационные процессы, происходящие при этом, по времени совпадают с подготовкой и частично, - с изготовкой. В их основе лежат вышеописанные изменения.

4 – Память (энграммы, сформировавшиеся в процессе продолжительных предварительных тренировок, стаж, высокий квалификационный статус (КМС, МС), опыт побед и поражений, генетический и персональный приобретенный опыт, а также врождённый потенциал).

Итак, для афферентного синтеза характерно вначале: 1) плавное усиление спектральной мощности тета-колебаний в отведении Fp1 (детерминирует будущую точность выстрела); 2) выраженное увеличение спектральной мощности альфа-ритма в отведениях O1 и T3 (детерминирует будущую точность выстрела); 3) рост показателя «Кросс-спектр T5 с низкочастотным альфа-ритмом в отведении O1», отражающий усиление корково-подкорковых церебральных взаимодействий (психологический настрой) и детерминирующий будущую точность выстрела; 4) отсутствие активности ЭМГ в большинстве мышц при нормальном ритме ЭКГ и РД.

Затем на изготовке происходят: 1) продолжающиеся заметное увеличение спектральной мощности высокочастотного альфа-ритма в отведении T3 (детерминирует будущую точность выстрела); 1) утрата связи спектральной мощности тета-колебаний в отведении Fp1 с точностью попадания в цель; 3) утрата связи спектральной мощности основного ритма в отведении O1 с точностью попадания в цель; 4) активация *M. biceps brachii sinister* и *deltoideus sinister*; 5) формирование зависимости между ранним

включением в работу мышц и весом лука; б) высокоамплитудные пики ЭМГ; б) активация *M. trapezius sinister pars ascendens* для координационного удержания левого плечевого сустава в крайнем нижнем положении, как основа правильного формирования упора в лук в следующей фазе упражнения. Во время установки повышается электрическая активность большинства мышц с последующим перемещением координат лучезапястных суставов по оси Z с их ускорением. На датчике рекурсии дыхания - глубокий вдох. Завершение фазы установки: максимальные значения координат левого и правого лучезапястных суставов и замедление их перемещения. Повышение электрической активности *M. biceps brachii sinister* и *triceps brachii sinister* у КМС $288,5 \pm 38,4$ и $487,6 \pm 72,7$ мкВс при сравнении с 1-разрядниками $146,4 \pm 25,3$ и $234,2 \pm 31,4$ мкВс ($p \leq 0,01$).

II – принятие решения приходится на прицеливание и начальные моменты произведения выстрела. Из довольно узкого (для лучника) перечня возможных путей избирается единственный путь для удовлетворения ведущей потребности. Происходит ограничение свободы деятельности функциональной системы. Во время прицеливания это достигается, благодаря: 1) ослаблению спектральной мощности тета-колебаний в отведении Fp1 при сохранении более высокого мощностного уровня по сравнению с состоянием покоя, детерминирующее будущую точность выстрела (**концентрируется внимание**); 2) продолжающемуся заметному увеличению спектральной мощности высокочастотного альфа-ритма в отведении T3 и в неокортикальных областях O1 и T3. К концу прицеливания постепенно возрастает электрическая активность мышц: увеличивается длина растяжения лука и его усилие. Прицеливание заканчивается срабатыванием кликера, точно прослеживаемым по каналу ДДА. Выстрел же кинематически сопровождается перемещением правого лучезапястного сустава по оси У с одновременным увеличением его скорости, уменьшением электрической активности всех мышц, кроме *M. biceps brachii sinister*, которая принимает нагрузку свободного лука. Конечная фаза выстрела:

зрительно-моторная реакция на звуковой сигнал срабатывания кликера. Время двигательной реакции на кликер – временной маркер успешности реализации выстрела. Величина латентного времени рефлекса - маркер функционального состояния нервных центров выстрела. Во время окончания выстрела наступает расслабление мышц с последующим опусканием лука.

III – акцептор результата действия и его программа (IV) экстраполируют все основные черты будущего итога выстрела. Это программирование происходит на базе доминирующей мотивации на победу, которая извлекает из механизмов памяти предшествующих тренировок необходимую информацию о характеристиках результата и путях его достижения. Акцептор результата действия – это, как известно, аппарат предвидения, прогнозирования итога деятельности функциональной системы «Выстрел из лука», где сопоставляются и моделируются параметры точности попадания в цель с афферентной моделью. По нашим данным, такое прогнозирование иллюстрируется корреляциями между ЭЭГ-параметрами и показателями будущей точности выстрела. У КМС этих связей в 7 раз больше, чем у перворазрядников. Информация о параметрах итога выстрела поставляется путем обратной афферентации.

IV – программа действия (эфферентный синтез) согласовывает взаимодействие соматических, вегетативных и гуморальных звеньев для успешного достижения полезного результата - попадания стрелы в цель. Программа действия компонуется необходимый комплекс возбуждений в ЦНС до начала его реализации в виде: формирования новой монолитной функциональной подсистемы «Стрелок-оружие» в условиях усложнения вертикальной позы спортсмена; перевода взгляда на наконечник стрелы для контроля длины натяжения лука; снижения координаты правого лучезапястного сустава по оси Z; постоянства электрической активности большинства мышц; активации всех ведущих мышц при их динамическом сокращении; перемещения координат лучезапястных суставов в обеих плоскостях, при значительном ускорении; стабилизации динамики

увеличения площади ЭМГ. Затем во время прицеливания: ослабляется спектральная мощность тета-колебаний в отведении Fp1 (при сохранении более высокого мощностного уровня по сравнению с состоянием покоя), что детерминирует будущую точность выстрела; продолжается заметное увеличение спектральной мощности высокочастотного альфа-ритма в отведении T3; в неокортикальных областях O1 и T3 топографически выявляется альфа-ритм. Эта программа включает эфферентные структуры, задействованные в получении полезного приспособительного результата. К концу фазы прицеливания постепенно возрастает электрическая активность мышц: увеличивается длина растяжения лука и его усилие.

6, 9 - обратная афферентация даёт возможность оценивать отдельные этапы выстрела и конечный результат попадания в цель. Информация от проприорецепторов, фоторецепторов сетчатки, тактильных рецепторов поступает по афферентным нервным путям и гуморальным каналам к **акцептору результата действия**. Если параметры реального результата и прогнозируемой модели совпадают (выстрел точен), то исходная социальная потребность удовлетворена. Если не совпадают (выстрел неточен, промах), то возникает ориентировочно-исследовательская реакция, по сути, роднящая, (но не делающая тождественными) функциональные системы точных и неточных выстрелов из лука и представляющих собой системную функциональную основу спортивного совершенствования. Ведь данная реакция при малейшей неточности приводит к перестроению афферентного синтеза, принятию нового более эффективного решения, уточнению параметров модели в акцепторе результата действия и программа по его достижению. И тогда деятельность осуществляется в новом скорректированном направлении с целью более полно удовлетворить доминирующую социальную потребность – победить в соревнованиях, увеличить точность выстрела. Снижается число степеней свободы функциональной системы, оптимизируются характер энергообеспечения и управление, повышаются возможности достижения результата.

Схематичное моделирование специальной функциональной системы становления ЦД лучника 1-го разряда

при формировании выстрелов различной точности

(на основе общей архитектоники, рис. 37 и маркирования, табл. 7,8)

I – афферентный синтез приходится на предварительную подготовку и динамический период (фазы подготовки, изготовления, установки, основного натяжения и укладки):

I – обстановочная афферентация. В нашем случае это - особенности проведения соревнований, влияние окружающей среды, погодных условий, дальность расстояния до мишени. Уровень менее сформированной (по сравнению с КМС) функциональной системы - поведенческий и социальный, поэтому в ней внешнее звено саморегуляции играет одну из ведущих ролей. Формируется доминирующая мотивация на победу, определяющая психические и двигательные качества. Возбуждение, создаваемое доминирующей мотивацией в виде выраженного ослабления спектральной мощности высокочастотного альфа-ритма в Т3 (детерминирующего будущую точность выстрела преворазрядника); плавного усиления спектральной мощности тета-колебаний в Fp1, увеличения спектральной мощности альфа-ритма в О1 и Т3, росте кросс-спектра Т5 с низкочастотным альфа-ритмом в О1, и, как следствие, отсутствия активности ЭМГ в большинстве мышц, – мобилизует генетический и персональный приобретенный опыт, а также врождённый потенциал по удовлетворению потребности в спортивной победе. В конкретной соревновательной обстановке оценивается возможность, корректируется прошлый тренировочный и соревновательный опыт точных и, особенно, неточных выстрелов. Так, создаётся состояние готовности, необходимое для получения адаптивного результата – по возможности как можно более точного попадания. Именно он играет системообразующую роль. Решается аутохронометрический вопрос: «Когда действовать?»

2 – пусковая афферентация переводит систему из состояния готовности в состояние деятельности, когда решается вопрос механизма: «Как действовать?». Механизм концентрации внимания и активации когнитивной сферы лучника первого разряда при этом таков. Продолжается увеличение спектральной мощности высокочастотного альфа-ритма в ТЗ (оно детерминирует будущую точность выстрела), но в большинстве выстрелов у спортсменов 1 разряда регистрируются высокоамплитудные пики в *M. triceps brachii dexter* и *deltoideis dexter*, свидетельствующие о повышенной энергозатратности пусковых процессов; утрачиваются связи спектральной мощности тета-колебаний в Fp1 с будущей точностью попадания в цель; утрачиваются связи спектральной мощности основного ритма в отведении O1 с точностью попадания в цель (и те, и другие – нецелесообразны); как следствие, активируются *M. biceps brachii sinister* и *deltoideus sinister*; регистрируется зависимость между ранним включением в работу мышц и весом лука, а также высокоамплитудные пики ЭМГ; одновременно активируется *M. trapezius sinister pars ascendens* для удержания левого плечевого сустава в крайнем нижнем положении, как основа правильного формирования упора в лук в следующей фазе упражнения; повышается электрическая активность большинства мышц с последующим перемещением координат лучезапястных суставов по оси Z с их ускорением. Происходит глубокий вдох. Регистрируются максимальные значения координат левого и правого лучезапястных суставов и замедление их перемещения, а также повышение электрической активности *M. biceps brachii sinister* и *triceps brachii sinister* у КМС $288,5 \pm 38,4$ и $487,6 \pm 72,7$ мкВс при сравнении с 1-разрядниками $146,4 \pm 25,3$ и $234,2 \pm 31,4$ мкВс ($p \leq 0,01$).

3 – Мотивация на выигрыш, на успешный результат, на выстрел высокой точности, на моральное и экономическое вознаграждение, на продвижение по лестнице спортивной карьеры.

4 – Память (энграммы, сформировавшиеся в процессе предварительных тренировок, менее продолжительных и не столь системных

по сравнению с КМС, стаж, квалификационный статус (1-й разряд), опыт побед и поражений, генетический и персональный приобретенный опыт, а также врождённый потенциал).

Итак, для афферентного синтеза перворазрядника характерно: 1) выраженное ослабление спектральной мощности высокочастотного альфа-ритма в Т3, детерминирующее будущую точность выстрела; 2) плавное усиление спектральной мощности тета-колебаний в отведении Fp1 (тоже детерминирует будущую точность выстрела); 3) выраженное увеличение спектральной мощности альфа-ритма в отведениях О1 и Т3 (и оно детерминирует будущую точность выстрела); 4) рост показателя «Кросс-спектр Т5 с низкочастотным альфа-ритмом в отведении О1», отражающий усиление корково-подкорковых церебральных взаимодействий (психологический настрой) и снова детерминирующий будущую точность выстрела; 5) отсутствие активности ЭМГ в большинстве мышц при нормальном ритме ЭКГ и РД.

Затем на изготовке происходит: 1) продолжающиеся заметное увеличение спектральной мощности высокочастотного альфа-ритма в отведении Т3 (детерминирует будущую точность выстрела); 2) утрата связи спектральной мощности тета-колебаний в отведении Fp1 с точностью попадания в цель; 3) утрата связи спектральной мощности основного ритма в отведении О1 с точностью попадания в цель; 4) активация *M. biceps brachii sinister* и *deltoideus sinister*; 5) зависимость между ранним включением в работу мышц и весом лука; 6) высокоамплитудные пики ЭМГ; 7) активация *M. trapezius sinister pars ascendens*: удержание левого плечевого сустава в крайнем нижнем положении, как основа правильного формирования упора в лук в следующей фазе упражнения. Во время установки повышается электрическая активность большинства мышц с последующим перемещением координат лучезапястных суставов по оси Z с их ускорением. На датчике рекурсии дыхания - глубокий вдох. Завершение фазы установки: максимальные значения координат левого и правого лучезапястных суставов

и замедление их перемещения. Пониженная электрическая активность *M. biceps brachii sinister* и *triceps brachii sinister* при сравнении с КМС. И, главное, - регистрируются высокоамплитудные пики в *M. triceps brachii dexter* и *deltoideis dexter* большинстве выстрелов у спортсменов 1 разряда, свидетельствующие о высоких энергозатратах, высокой цене адаптации менее квалифицированных лучников на данном этапе формирования функциональной системы «Стрельба из лука».

II – принятие решения приходится на прицеливание и начальные моменты произведения выстрела. Из довольно узкого (для лучника) перечня возможных избирается единственный путь для удовлетворения ведущей потребности. Происходит ограничение свободы деятельности функциональной системы. Во время прицеливания это достигается, благодаря: сужению 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. К концу прицеливания постепенно возрастает электрическая активность мышц: увеличивается длина растяжения лука и его усилие. Прицеливание заканчивается срабатыванием кликера, точно прослеживаемым по каналу ДДА. Выстрел же кинематически сопровождается перемещением правого лучезапястного сустава по оси *У* с одновременным увеличением его скорости, уменьшением электрической активности всех мышц, кроме *M. biceps brachii sinister*, которая принимает нагрузку свободного лука. Конечная фаза выстрела: зрительно-моторная реакция на звуковой сигнал срабатывания кликера. Время двигательной реакции на кликер – временной маркер успешности реализации выстрела. Величина латентного времени рефлекса - маркер функционального состояния нервных центров выстрела. Окончание выстрела - расслабление мышц с последующим опусканием лука.

III – акцептор результата действия и его программа (IV) экстраполируют все основные черты будущего итога выстрела. Программирование происходит на базе доминирующей мотивации на победу, которая извлекает из механизмов памяти предшествующих не столь продолжительных и системных (по сравнению к КМС) тренировок и соревнований необходимую информацию о характеристиках результата и путях его достижения. Акцептор результата действия, как аппарат предвидения, прогнозирования итога деятельности функциональной системы «Выстрел из лука», сопоставляет и моделирует параметры точности попадания в цель с афферентной моделью. По нашим данным, такое прогнозирование иллюстрируется корреляциями между ЭЭГ-параметрами и показателями будущей точности выстрела. Но лучников-перворазрядников этих связей в 7 раз меньше, чем у КМС, что свидетельствует о более низком уровне сформированности данной функциональной системы. Информация о параметрах итога выстрела поставляется путем обратной афферентации.

IV – программа действия (эфферентный синтез) согласовывает взаимодействие соматических, вегетативных и гуморальных звеньев для успешного достижения полезного результата - попадания стрелы в цель. Программа действия komponует необходимый комплекс возбуждений в ЦНС до начала его реализации в виде: формирования новой монолитной функциональной подсистемы «Стрелок-оружие» в условиях усложнения вертикальной позы спортсмена; перевода взгляда на наконечник стрелы для контроля длины натяжения лука; включения большего количества активных мышц. Затем во время прицеливания, как уже было сказано: сужается скальпового представительство: 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. Эта программа включает эфферентные структуры,

задействованные в получении полезного приспособительного результата. К концу фазы прицеливания постепенно возрастает электрическая активность мышц: увеличивается длина растяжения лука и его усилие.

6, 9 - обратная афферентация даёт возможность оценивать отдельные этапы выстрела и конечный результат попадания в цель. Информация от проприорецепторов, фоторецепторов сетчатки, тактильных рецепторов поступает по афферентным нервным путям и гуморальным каналам к **акцептору результата действия**. Если параметры реального результата и прогнозируемой модели совпадают (выстрел точен), то исходная социальная потребность удовлетворена. Если не совпадают (выстрел неточен, промах), то возникает ориентировочно-исследовательская реакция, по сути, роднящая функциональные системы точных и неточных выстрелов из лука и представляющих собой единую системную функциональную основу спортивного совершенствования. Ведь данная реакция в случае малейшей неточности попадания приводит к перестроению афферентного синтеза, принятию нового более эффективного решения, уточнению параметров модели в акцепторе результата действия и программа по его достижению. И тогда деятельность осуществляется в новом скорректированном направлении с целью более полно удовлетворить доминирующую социальную потребность – победить в соревнованиях, увеличить точность выстрела, повысить мастерство, в том числе, возможно, дойти до уровня КМС.

Следовательно, маркирующие моменты, установленные в нашем исследовании (табл. 6, 7) совпали с началом (запуском) «Афферентного синтеза» и «Принятия решений» специальной функциональной системы ЦД лучника. А это может означать, в соответствии с принципом системного квантования жизнедеятельности К.В. Судакова, что 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 - физиологической основой спортивного совершенствования лучника.

Таким образом, 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), проиллюстрированный нами корреляциями между ЭЭГ-параметрами и показателями будущей точности выстрела, как показатели 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 архитектура – избирательное объединение нервных субстанций разных уровней в специализированные узловы механизмы в виде моторных зон коры больших полушарий, глубоких слоёв неокортекса, анатомически и функционально контактирующих с диэнцефалоном, субэнцефальных образований (гиппокамп, септум, поясная извилина и др.) 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 схематично представленные функциональные системы «КМС» и «1-го разряда», не разделены пропастью. Они являются родственными, диалектически взаимосвязанными состояниями, находятся в динамическом перестроении, в перманентном переходе (в основном, однонаправленном) в каждый момент времени и 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 позднюю 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 определяют точность выстрела независимо 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 pars ascendens*, 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 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. Маркером фазы прицеливания является сужение скальпового представления: 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 целенаправленных движений дает возможность тренерам, а также другим специалистам по данному 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 точности целенаправленных движений, особенностей электрофизиологической активности мозга и нервно-мышечной системы в различные периоды становления ЦД при стрельбе из лука 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 ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аганянц Е.К., Бердичевская Е.М., Трембач А.Б. Очерки по физиологии спорта: учебное пособие. – Краснодар, Экоинвест, 2001. – 204 с.
2. Адашевский В.М. Определение основных рациональных биомеханических характеристик в стрельбе из лука / В.М. Адашевский, С.С, Ермаков, В.А. Шабашов // Физическое воспитание студентов.– 2012.- № 3. – С. 5-10.
3. Адрианов О.С. Церебральные взаимоотношения познавательной и эмоциональной активности//Журн.высш.нерв.деят.,1995.– Т.45.-№3.–С.441.
4. Алексеев М.А. Психофизиологическое обследование спортсменов, занимающихся стрельбой из лука // Олимпийский спорт: педагогическое наследие Д.П. Коркина и роль личности тренера в становлении спортсмена / Материалы III Международной научно-практической конференции в рамках проведения международного турнира по вольной борьбе. - Издательский дом СВФУ, 2019. - С. 139-142.
5. Анохин П.К. Биология и нейрофизиология условного рефлекса. – М. - Медицина, 1968. – 547 с.
6. Арансон М.В. Анализ основных направлений исследований в стрельбе из лука зарубежом / М.В.Арансон, Э.С.Озолин, О.В.Тупоногова, Б.Н.Шустин // Педагогико-психологические и медико-биологические проблемы физической культуры и спорта. – Т.14. - №3. - 2019. - С. 19-25.
7. Базанова О.М. Биоуправление в оптимизации моторной реактивности. Сообщение 2. Динамика сегментных характеристик альфа-активности / О. М. Базанова, Е.Г. Веревкин, М.Б. Штарк // Физиология человека. - 2007. - № 33 (6). - С. 1-6.
8. Базанова О.М. Вариабельность индивидуальных характеристик альфа-активности электроэнцефалограммы в сенсомоторной интеграции: дис. докт. биол. наук, 2009. - 222 с.

9. Байдыченко Т.В. Психофизиологический подход к проблеме индивидуализации спортивной подготовки на примере стрельбы из лука / Т.В. Байдыченко, Д.М. Тонтоева // Вестник Бурятского государственного университета. Образование. Личность. Общество. - №3. – 2017. – С. 35-43.
10. Байдыченко Т.В. Совершенствование технической подготовленности спортсменов, стрелков из классического лука / Т. В. Байдыченко, Е. А. Архипова, Р. В. Шакиров // Ученые записки университета имени П. Ф. Лесгафта. - №3. - 2014. - С. 19-24.
11. Байдыченко Т.В. Методика педагогической оценки эффективности спортивной подготовки стрелков из лука высокой квалификации / Т.В. Байдыченко, В.А. Драугелите, И.И. Сысоев // Экстремальная деятельность человека. - №3(44). – 2017. – С. 64-69.
12. Бакаев В.В. Распределение мышечных усилий при стрельбе из лука / В.В. Бакаев // Путь науки. – 2016. - №3 (25). – С. 86-88.
13. Белоус П.А. Анализ временных и электромиографических параметров в оценке качества техники движений стрелков из лука / П.А. Белоус, М.К. Борщ // Международный научно-теоретический журнал «Прикладная спортивная наука». - 2017. - №1(5). – С. 4-11.
14. Бердичевская Е.М. Компьютерная стабиллография в исследовании функциональных асимметрий в стрелковом спорте // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2008. - №6 (83). – С. 120-123.
15. Бердичевская Е.М. Стабиллографическая билатеральная характеристика вертикальной устойчивости футболистов с правым и левым профилем сенсомоторной асимметрии/ Е.М. Бердичевская, А.М. Пантелеева // Физическое воспитание и спортивная тренировка. – 2021. – Т.36. - №2. – С.77-86.
16. Бердичевская Е.М., Тришин Е.С. Современные проблемы физиологии спорта: учебное пособие. - Краснодар: КГУФКСТ, 2020. -75 с.
17. Бернштейн Н.А. О построении движений / Гос. изд. мед. литературы – Медгиз, 1947. – 254 с.

18. Бернштейн Н.А. Очерки по физиологии движений и физиологии активности / М. - Медицина, 1966. - 349 с.
19. Бехтерева Н.П. Биопотенциалы больших полушарий головного мозга при супратенториальных опухолях / Л. – Медгиз, 1960. – 188 с.
20. Бехтерева Н.П. Динамика когерентности ЭЭГ при выполнении заданий на невербальную (образную) креативность / Н.П. Бехтерева Н.П., Ж.В. Нагорнова // Физиол. человека. – 2007. – Т. 33. – № 5. – С. 5–13.
21. Блеер А.Н. Социологический прогноз развития спортивной стрельбы из лука в России / А.Н. Блеер, Т.В. Байдыченко, И.И.Сысоев // Теория и практика физической культуры. - 2012. - №10. – С. 101-104.
22. Болдырева Г.Н. Сопоставление фМРТ-реакций мозга здоровых людей при активных, пассивных и воображаемых движениях рукой / Г.Н.Болдырева, Е.В. Шарова, Л.А. Жаворонкова [и др.] // Медицинская визуализация.- 2015. - № 5. - С. 100.
23. Болотин А.Э. Педагогическая модель подготовки стрелков из лука к соревновательной деятельности / А.Э. Болотин, В.В. Бакаев // Научно-теоретический журнал «Ученые записки». – 2014. - №10 (116). – С. 39-42.
24. Болотин А.Э. Факторы, определяющие высокую эффективность стрельбы из лука / А.Э. Болотин, В.В. Бакаев // Научно-теоретический журнал «Ученые записки». – 2014. - №3 (109) – С. 33-35.
25. Боляк А.А. Анализ техники стрельбы из лука спортсменов высокой квалификации / А.А. Боляк, А.Я. Муллагильдина // Биомеханика спортивных двигательных действий и современные инструментальные методы их контроля. – М., 2013. – С. 97-104.
26. Боляк А.А. Совершенствование физической и психологической подготовленности лучников высокой квалификации / А.А. Боляк, А.Я. Муллагильдина, Н.И. Мыльченко // Слобожанський науково-спортивний вісник. – 2012. - №4. – С. 69-74.
27. Бучацкая И.Н. Динамика электрической активности мышц стрелков из лука в ходе многократно повторяющихся выстрелов / И.Н.

Бучацкая, Р.М. Городничев // Теория и практика физической культуры. – 2015. - №1. – С. 32-35.

28. Бучацкая И.Н. Особенности кинематических и электромиографических параметров стрельбы из лука / И.Н. Бучацкая, А.М. Пухов, Р.М. Городничев // Биомеханика спортивных двигательных действий и современные инструментальные методы их контроля. Матер. Всерос. науч.-практ. конф. МГАФК. - Малаховка, 2013. - С. 104-109.

29. Бучацкая, И.Н. Особенности регуляции биоэлектрической активности мышц при выполнении движений разной координационной сложности: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Ярославль, 2005. -18 с.

30. Верхошанский Ю.В. Основы специальной физической подготовки спортсменов // Изд. Советский спорт. – 2013. – 216 с.

31. Виноградова О.С. Гиппокамп и память.– М.: Наука,1975.– 333 с.

32. Водолажская М.Г. Онтогенетическое становление способности к эндогенному отсчету времени и ее взаимосвязь с уровнем тревожности // Российский физиологический журнал.-2000.–Т.86. №6.– С. 642-655.

33. Водолажская М.Г. Влияние геофизических факторов на параметры ЭЭГ человека / М.Г. Водолажская, Г.И. Водолажский, М.Д. Найманова, И.М. Рослый // Биофизика. - 2010. - Т.55. - В.3. - С.544-551.

34. Водолажская М.Г. Нейрофизиологические корреляты агрессии и агрессивности людей разного возраста в биометеорологическом аспекте/ М.Г. Водолажская, Г.И. Водолажский // Вестник клинической нейрофизиологии. Спец. выпуск. - СПб, 22-23 ноября.- 2018. – С. 36-37.

35. Водолажская М.Г. Аутохронометрия спортсмена: возрастная динамика церебральных процессов / М.Г. Водолажская, Г.И. Водолажский // Материалы международной конференции Physical culture and sport.olympic education. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. PART 1. Краснодар. - 2020. - С. 183-184.

36. Водолажская М.Г. Возрастные особенности электроэнцефалографических коррелятов творческого интереса / М.Г.

Водолажская, Г.И. Водолажский // Материалы Всероссийской конференции «Психология творчества и одаренности». - 2018.- М. – С. 5-8.

37. Водолажский Г.И. Метеочувствительность спортсменов с разным уровнем агрессивности / Г.И.Водолажский, Т.Л.Боташева, О.П.Заводнов, О.В.Резенькова, М.Г.Водолажская // Человек. Спорт. Медицина.– 2021. - Т.21. - № 3. – С. 46–55.

38. Водолажский Г.И. Мозговая метеочувствительность здоровых взрослых людей. Гендерный аспект / Г.И. Водолажский, М.Г. Водолажская // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки. - 2015. - № 4 (171). - С. 41-46.

39. Водолажская М.Г. Взаимосвязь физиологических и биохимических закономерностей на модели иерархической организации биоритмов / М.Г. Водолажская, И.М. Рослый, Г.И. Водолажский // Психотерапия.–2006. -№10.– С.1-15.

40. Водолажская М.Г. Возрастная динамика электроэнцефалографических параметров здоровых людей с разным уровнем агрессивности / М.Г. Водолажская, Г.И. Водолажский // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки. 2020. № 1 (256). С. 34-42.

41. Водолажский, Г.И. Амплитудная динамика микроритмов головного мозга в процессе индивидуального развития человека / Г.И. Водолажский, И.Н. Чадова // Вестник Ставропольского государственного университета.– В. 74. – №3. – 2011. – С.81- 85.

42. Волжанин С.Д. Инструментальные методы оперативного контроля в стрельбе из лука / С.Д. Волжанин, В.Н. Ешеев // Проблемы, перспективы подготовки высококвалифицированных спортсменов по стрельбе из лука: материалы международной конференции.–2014.–С.9-14.

43. Воробьев В.П. Атлас анатомии человека / под ред. Р. Д. Синельникова. – М. – Л.: Медгиз, 1942. – Т.1. - 26 с.

44. Воронов А.В. Аппаратно-программный комплекс «СпортЛаб»/ Руководство пользователя. - М. - 2009. – 73 с.
45. Воронов А.В. Руководство пользователя к аппаратно-программному комплексу «Видеоанализ – 3D Биософт» «Биомеханика». – М.-2011. – 94 с.
46. Гаврон А.А. Групповой и индивидуальный фМРТ-анализ основных сетей покоя здоровых испытуемых / А.А. Гаврон, А.А. Yacila Isabela Deza Araujo , Е.В. Шарова, Л.Н. Жавронкова [и др.] // Журнал высшей нервной деятельности. – 2019. – Т.69. - № 2. – С. 150–163.
47. Галимов Г.Я. Совершенствование организационно-методического подхода к подготовке высококвалифицированных спортсменов / Г.Я. Галимов, С.М. Струганов // Вестник Бурятского государственного университета. - 2012. – В.13: Физическая культура и спорт. - С.57-60.
48. Германов Г.Н. Исследование стабилметрических параметров устойчивости «изготовки» стрелков-винтовочников / Г.Н. Германов, И.А. Сабирова, С.В. Седоченко, А.В. Черных // Культура физическая и здоровье. – 2014. – №3. – С. 43 – 45.
49. Гимазов Р.М. Биомеханический подход к классификации стабилметрических показателей / Р.М. Гимазов, Г.А. Булатова // Научно-теоретический журнал «Ученые записки». – 2014. - №12 (118). – С. 51-57.
50. Гимазов Р.М. Концепция о последовательности решений двигательных задач в нервной системе // Управление движением. Motor Control 2020 / Материалы VIII Российской с международным участием конференции по управлению движением. Петрозаводск, 2020. – С.33-34.
51. Гимазов Р.М. Оценка нервной регуляции моторной активности при стабилметрическом обследовании / Р.М. Гимазов, Г.А. Булатова // Наука. – 2016. - №4 (10). – С. 115-121.
52. Гимазов Р.М. Решение двигательных задач в нервной системе при построении движений // Управление движением. Motor Control 2020 /

Материалы VIII Российской с международным участием конференции по управлению движением. Петрозаводск, 2020. – С.32-33.

53. Гомбожапова Х-Ц.Д. Проблемы управления технической подготовкой спортсменов в стрельбе из лука / Х-Ц. Д. Гомбожапова // Вестник Бурятского государственного университета.–2011.- №13.– С.64-68.

54. Гомбожапова Х-Ц.Д. Индивидуальные особенности уровня специальной физической подготовленности стрелков из лука / Х-Ц.Д. Гомбожапова // Вестник Бурятского Государственного университета. – 2015. – В.13. – С. 33-38.

55. Гомбожапова Х-Ц. Д. Структурно-функциональная модель отдельного выстрела в стрельбе из лука / Х-Ц. Д. Гомбожапова // Вестник Бурятского государственного университета. – 2014. - №13. – С. 74-79.

56. Гомбожапова Х-Ц.Д. Тренерская деятельность: причины успеха в стрельбе из лука // Современные проблемы и потенциал научных исследований в физической культуре и спорте. - Улан-Удэ, 2019. – С. 23 – 28.

57. Городничев Р.М. Физиология нервно-мышечного аппарата / Р.М. Городничев, В.И. Тхоревский. – Великие Луки: ВЛГИФК, 1993. – 40 с.

58. Городничев Р.М. Физиология силы: монография / Р.М. Городничев, В.Н. Шляхтов. - М: Спорт, 2016. – 232 с.

59. Городничев, Р.М. Спортивная электронейромиография: монография / Р.М. Городничев. – Великие Луки, 2005. – 229 с.

60. Гумерова А.А. Стрельба из лука как редкий вид спорта в России / А.А. Гумерова, Е.А. Костина // Актуальные проблемы физического воспитания студентов. - Материалы Международной конференции. - Чувашская государственная сельскохозяйственная академия (Чебоксары). - 2019. – С.71-72.

61. Гурфинкель В.С. Мышечная рецепция и обобщенное описание положения тела / В.С. Гурфинкель, Ю. С. Левик // Физиология человека. – 1999. – Т.25. - №1. – С. 87-97.

62. Гурфинкель В.С. Регуляция позы человека / В. С. Гурфинкель, Я.М. Коц, М.Л. Шик. // М. - Изд.: Наука, 1965.- 256 с.
63. Гурфинкель В.С., Левик Ю.С. Координация движений. В кн. Физиология человека / Под ред. В.М. Покровского, Г.Ф.Коротько. – М.: Медицина, 2011. – 656 с. – С.161-168.
64. Гусельников В.И. Электрофизиология головного мозга. - М.: Высшая школа, 1976. - 423 с.
65. Дашинамаева А.Ц. Индивидуальные особенности личности спортсменов высокого класса (на примере стрельбы из лука) // Современные проблемы психологии физической культуры и спорта. – 2016. – С. 93-99.
66. Дубровский В.И. Биомеханика / В.И. Дубровский, В.Н. Федорова // Изд.: «Владос-пресс». – 2003. – 550 с.
67. Дунаев, К.С. Характеристика ачери-биатлона / К.С. Дунаев, А.В. Швецов // Электронный научный журнал. - №10-3. - 2016. – С. 312–317.
68. Жаворонкова Л.А. Правши-левши. Межполушарная асимметрия биопотенциалов мозга человека. - Краснодар: Экоинвест, 2009. - 239 с.
69. Жаворонкова Л.А. Нейрофизиология: межполушарная асимметрия мозга человека (правши–левши): монография. – 3-е изд., доп.– М.: «Юрайт», 2020.– 217 с.
70. Жуков Р.С. Особенности развития координационных способностей на этапе совершенствования спортивного мастерства в стрельбе из лука / Р.С. Жуков, Е.В. Залян // Вопросы функциональной подготовки в спорте высших достижений. – 2015. – Т.3. – С. 42-49.
71. Зайченко К.В. Съём и обработка биоэлектрических сигналов / К.В. Зайченко, О.О. Жаринов, А.Н. Кулин, Л.А. Кулыгина, А.П. Орлов. – 2001. – Санкт-Петербург. – 140 с.
72. Захаров С.М. Практическое применение компьютерной электроэнцефалографии / С.М. Захаров, А.А. Скоморохов. – 2012. – Таганрог. – 69 с.

73. Зациорский В.М. Биомеханика двигательного аппарата человека / В.М. Зациорский, А.С. Аруин, В.Н. Селуянов. – М.: Физкультура и спорт. – 1981. – 143 с.
74. Зенков Л.Р. Функциональная диагностика нервных болезней / Л.Р. Зенков, М.А. Ронкин / Руководство для врачей. 3-е изд., перераб. и доп. – М.: МЕДпресс - информ, 2004. – 488 с.
75. Зенков Л.Р. Клиническая электроэнцефалография (с элементами эпилептологии) / М.: МЕДпресс-информ. – 2004. – 368 с.
76. Иваницкий М.Ф. Анатомия человека / Под ред. Б.А. Никитюка, А.А. Гладышевой, Ф.В. Судзиловского. – М.: Спорт, 2016. – 624 с.
77. Иванов С.М. Применение биологической обратной связи с использованием электромиографии в подготовке спортсменов-лучников / С.М. Иванов, С.А. Моисеев, А.М. Пухов, Р.М. Городничев // Материалы II Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – 2015. – Москва. – С. 46-48.
78. Иващенко Е.А. Специфика электрофизиологических коррелятов моторных программ при планировании и реализации целенаправленных движений в простой и сложной моторной задаче у человека // Физическая культура, спорт - наука и практика. – 2014. - №1. - С. 25-28.
79. Иващенко Е.А. Маркеры ЭЭГ, определяющие успешность выполнения простого целенаправленного движения / Е.А. Иващенко, Т.А. Пономарёва, М.А. Липатникова // Материалы научной и научно-методической конференции профессорско-преподавательского состава кубанского государственного университета физической культуры, спорта и туризм. – 2014. – 31. – С. 120-121.
80. Игнатенко Е.М. Индивидуально-типологические особенности квалифицированных спортсменов, занимающихся стрельбой из лука // Тезисы докладов XLVII научной конференции студентов и молодых ученых вузов южного федерального округа. - 2020. – Краснодар. – С. 117.

81. Иксман В.М. Эффективность предстартовой подготовки квалифицированных спортсменов по стрельбе из лука // Современное состояние и тенденции развития физической культуры и спорта в условиях Северо-Востока России / Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием в рамках проведения VII спортивных игр народов Республики Саха (Якутия). - Издательский дом СВФУ, 2019. - С. 474-480.

82. Калинина Д. Исследование механизмов управления локомоторного поведения в условиях нормального и измененного дофаминергического контроля на модели *dat-ko* крыс / Д. Калинина, А.Горяинова, Ю.Сысоев [и др.] // Управление движением. Motor Control 2020 / Материалы VIII Российской с международным участием конференции по управлению движением. Петрозаводск, 2020. – С. 42-43.

83. Калиниченко, А. Н. Изучение особенностей образования условно-рефлекторных двигательных актов в заключительной фазе выстрела из лука на основе электромиографии плечевого пояса / А.Н. Калиниченко // Роль физической культуры в здоровом образе жизни: материалы II науч.-практич. конф. – Львов. - 1991. – Ч.1. - С. 60-61.

84. Канискин И.С. Влияние ветра при стрельбе из лука на длинные дистанции / И.С. Канискин, В.В. Бакаев // Физическая культура и спорт в профессиональном образовании. Межвузовский сборник научно-методических работ. Под ред. В.А. Щеголева. СПб. - 2020. - С. 297 – 301.

85. Карамян А.И. Эволюция лимбического мозга / А.И.Карамян, Т.И.Соллертинская // Биол. журн. Армении, 1990.–Т.43.–№10-11.–С.824-836.

86. Касаткин В.Н. Применение технологий биологической обратной связи для тренировки произвольной активации нервной системы спортсмена с целью повышения спортивных результатов / В.Н. Касаткин, А.В. Ковалёва, А.В. Квитчастый [и др.] / Выходец. - Методическое пособие. - М.: ФМБА России, 2016. – 32 с.

87. Климченко С.В. Анализ электрической активности головного мозга у студентов 1 курса при тренинге координационных способностей посредством биологической обратной связи / С.В. Климченко, Е.Р. Миниханова // Тезисы докладов XLIV научной конференции студентов и молодых ученых вузов южного федерального округа (февраль-март 2017 г., г. Краснодар). – Краснодар. - 2017. – Ч.1. – С. 21 – 23.

88. Коваль И.Н. Двигательные условные рефлексы после повреждения гиппокампа и свода у кошек / И.Н.Коваль, Т.Г. Саркисов // Журнал высш. нерв. деятельности.-1983. - Т.33. - В.1. - С.20-25.

89. Козловская И.Б. Гравитация и позно-тоническая двигательная система // Авиакосмическая и экол. медицина.–2017.-Т.51.- № 3. – С.5-21.

90. Коренева Н.А. Психологические особенности внимания у стрелков из лука / Н.А. Коренева, Н.В. Репина // Современные тенденции и актуальные вопросы развития стрелковых видов спорта. - Материалы Всероссийской с международным участием научно-практической конференции.– Изд.: "Элист", 2018. – С. 114-117.

91. Корнеева М.А. Вопросы психологической подготовки в лыжных многоборьях, связанных со стрельбой / Н.А. Коренева, О.В. Шагова // Проблемы совершенствования физической культуры, спорта и олимпизма Материалы Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов, магистрантов, соискателей и студентов. Министерство спорта Российской Федерации. - Сибирский государственный университет физической культуры и спорта, 2019. - С. 203 – 210.

92. Костандов Э.А. Изменение вызванной корковой электрической активности на разных отрезках времени между предупреждающим и целевым стимулами / Э.А.Костандов, Е.А.Черемушкин, М.Л.Ашкинази, И.А. Яковенко // Журнал высшей нервной деятельности им. И.П.Павлова. – 2011. – Т. 61. – № 6. – С. 675–687.

93. Костюк П.Г. Электрофизиология нейрона / П.Г. Костюк, А.И. Шаповалов / в кн.: Современные проблемы электрофизиологических исследований нервной системы М.: Медицина, 1964. – С. 31-50.
94. Кропотов Ю.Д. Количественная ЭЭГ, когнитивные вызванные потенциалы мозга человека и нейротерапия / Перевор с англ. под ред. В.А. Пономарева. – Донецк: Издатель Заславский А.Ю. – 2010. – 512 с.
95. Кулаичев А.П. Компьютерная электрофизиология / А.П. Кулаичев. – М.: Изд. МГУ. – 2002. – 379с.
96. Майорчук В.Е. Электрофизиологический анализ функциональных свойств коры больших полушарий в зоне патологического очага // Физиологический журнал СССР. – 1957. – Т.3. – С. 193-201.
97. Малахов М.В. Функциональная стабิโลграфическая диагностика в спорте высших достижений / М.В. Малахов, С.А. Слива, К.А. Беспалова, В.С. Шаповалов // Инженерный вестник Дона. – 2012. - № 4-2 (23). – С. 25.
98. Малука М.В., Игнатенко Е.М. Восприятие времени спортсменами, специализирующимися в стрельбе из лука // Материалы научной и научно-методической конференции профессорско-преподавательского состава Кубанского государственного университета физической культуры, спорта и туризма.-2020. - №1. – С. 175-176.
99. Манханов З.С. Построение тренировочных нагрузок высококвалифицированных стрелков из лука с различным уровнем специальной физической подготовленности: автореф. дис. ... канд. пед. наук.– М. – 2009. – 23 с.
100. Медведев, В.И. Адаптация человека / В.И. Медведев. – СПб.: Ин-т мозга РАН, 2003. -584 с.
101. Мельников, А.А. Устойчивость позы во время статического напряжения до и после субмаксимального аэробного велоэргометрического теста у спортсменов / А.А. Мельников, А.А. Савин, Л.В. Емельянова, А.Д. Викулов // Физиология человека. – 2012. – Т. 38. – №2. – С. 66 – 72.

102. Мендот И.Э. Национальные виды спорта и игры как этнопедагогическое и духовное воспитание на уроках физической культуры / И.Э.Мендот, Э.Э. Мендот, Э.Э. Мендот // Вестник Бурятского государственного университета. – 2013. - №13. – С. 96-100.

103. Миниханова Е.Р. Динамика мощности спектра электроэнцефалограммы у спортсменов, занимающихся стрельбой из лука / Е.Р. Миниханова, А.В. Полтавченко // Тезисы докладов XLV научной конференции студентов и молодых ученых вузов Южного федерального округа. – 2018. – С. 19-20.

104. Миниханова Е.Р. Сравнительная оценка топографических карт спектра электроэнцефалограммы при прицеливании в зависимости от точности выстрела // Тезисы докладов XLIV научной конференции студентов и молодых ученых вузов Южного федерального округа (февраль-март 2017 г., Краснодар). – 2017. – Часть 1. – С. 20–21.

105. Мицар «WinEEG» Пакет программного обеспечения для регистрации и обработки электроэнцефалограммы в. 2.8 / ООО «Мицар». – 2008. – СПб. – 279 с.

106. Моисеев С.А. Влияние мышечных нагрузок различной целевой направленности на внешнюю и внутреннюю структуру сложнокоординационного двигательного действия: автореф. дис. ... канд. биол. наук – Краснодар, 2010. -23 с.

107. Моисеев, С.А. Механизм снижения вариативности в системе управления скелетными мышцами спортсменов по принципу формирования функциональных синергий // Ульяновский медико-биологический журнал. – 2019. - №2. – С. 95-104.

108. Моисеев С.А. Паттерны синергетического взаимодействия скелетных мышц при сложнокоординационной работе // Управление движением. Motor Control, 2020 / Материалы VIII Российской с международным участием конференции по управлению движением. Петрозаводск, 2020. – 2020. – С. 29-31.

109. Моисеев С.А. Роль функциональных синергий в управлении пространственно-временной структурой точностных движений человека (на примере стрельбы из лука) / С.А.Моисеев, А.М. Пухов // Журнал медико-биологических исследований. - 2019. - Т. 7. - № 4. - С. 410–419.

110. Мошонкина Т. Р. Проблема коактивации мышц при модуляции ходьбы методом неинвазивной электрической стимуляции спинного мозга / Т. Р. Мошонкина, Н. Д. Шандыбина, С. А. Моисеев [и др.] // Управление движением. Motor Control, 2020 / Материалы VIII Российской с международным участием конференции по управлению движением. Петрозаводск, 2020. – 2020. – С.17-18.

111. Напалков Д.А. Аппаратные методы диагностики и коррекции функционального состояния стрелка / Д.А. Напалков, П.О. Ратманова, М.Б. Коликов // Методические рекомендации. – 2009. – 212 с.

112. Напалков Д.А. Диагностика и оптимизация психофизиологического состояния стрелка / Д.А. Напалков, М.Б. Коликов, П.О. Ратманова, Д.М. Рамендик, Е.И. Евина, О.В. Колесникова, А.В. Латанов, В.В. Шиян, В.В. Шульговский // Медико-биологические технологии повышения работоспособности в условиях напряженных физических нагрузок. – М., - 2007. – Вып. 3. –С. 117-129.

113. Напалков Д.А. Перспективы применения психофизиологических методов в стрелковом спорте / Д.А. Напалков, М.Б. Коликов, П.О. Ратманова // Физиология мышечной деятельности. – 2009. - №1. – С. 10-21.

114. Напалков Д.А. Электроэнцефалографические корреляты оптимального функционального состояния головного мозга спортсмена в стрелковом спорте / Д.А. Напалков, П.О. Ратманова, Р.Н. Салихова [и др.] // Бюллетень сибирской медицины. – 2013. – Т. 12. – № 2. – С. 219–226.

115. Наумов И. А. Влияние афферентации различных сенсорных входов на отолито-окулярный рефлекс в условиях реальной и моделируемой невесомости / И. А. Наумов, Л. Н. Корнилова, Д. О. Глухих [и др.] // Физиология человека. – 2021. – Т. 47. - № 1. – С. 84–93.

116. Николаев А.Р. Воспроизводящиеся паттерны альфа– ритма ЭЭГ при решении психологических задач / А.Р. Николаев А.Р., Г.А.Иваницкий, А.М. Иваницкий // Физиол. человека.– 1998. – Т. 24. – № 3. – С. 1–8.

117. Огаркин А.В. Развитие помехоустойчивости у юных стрелков из лука на этапе спортивной специализации // Современные проблемы физической культуры и спорта. Материалы Всероссийской научно-практ. конф. / Под ред. Е.А. Ветошкиной. - Изд.: Дальневосточная государственная академия физической культуры (Хабаровск), 2019. - С. 175-178.

118. Олёмкинская П.М. Интерактивные компьютерные игры в подготовке спортсменов с поражением опорно-двигательного аппарата в стрельбе из лука // Физическая культура. Спорт. Туризм. Двигательная реакция. – 2019. – Т.4, №3. – С.97-100.

119. Орешкина Т.И. Психоэмоциональное состояние как фактор надежности соревновательной деятельности стрелков из лука // Актуальные проблемы физической культуры, спорта и здоровья: пути их реализации. Материалы научно-практической конференции. - 2015. – С. 47-52.

120. Островский М.А. Настало время думать «физиологически». К 100-летию Физиологического общества имени И.П. Павлова // Вестник Российской академии наук. – 2017. – Т.87. - №2. – С.158-165.

121. Персон Р.С. Двигательные единицы и мотонейронный пул / Физиология движений: Руководство по физиологии.– Л.: Наука, 1976.– 69 с.

122. Персон Р.С. Теоретические основы трактовки электромиограммы // Физиология человека. – 1987. – Т.13. - №4. – С. 659-673.

123. Петренко Т.И., Базанова О.М., Кабардов М.К. Перспективы использования биологической обратной связи для обучения музыкантов-исполнителей // Вестник РУДН. Серия: Психология и педагогика. - 2019. - Т. 16. - № 4. - С.495–516

124. Покровский, В.М. Физиология человека: учебник для мед. вузов / В.М. Покровский, Г.Ф. Коротько. – М.: Медицина, 2011. – 656 с.

125. Пономарев В.А. Скрытые источники электроэнцефалограммы и связанных с событиями потенциалов и их значение: дис. ... докт. биол. наук. – СПб. – 2016. – 676 с.

126. Постановление Правительства РФ от 14 апреля 2021 г. N 592 "О внесении изменений в государственную программу Российской Федерации "Развитие физической культуры и спорта" / <http://gov.garant.ru/SESSION/PILOT/main.htm>

127. Приймаков А.А. Устойчивость равновесия в вертикальной стойке и управление произвольным движением у спортсменов стрелков в процессе изготовления и стрельбы по мишени / А.А. Приймаков, Е. Эйдер, Е.В. Омельчук // Физическое воспитание спортсменов. – 2015. - № 1. – С. 36-42.

128. Прянишникова О.А. Электромиографическая характеристика сложнокоординационных движений: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Ярославль, 2003. – 19 с.

129. Пухов А.М. Биоуправление активностью мышц в тренировочном процессе стрелков из лука / А.М. Пухов, Б.В. Исаченко // Материалы Всероссийской практической конференции. Великие Луки. - 2015. – С.62-64.

130. Пухов А.М. Закономерности управления движениями у высококвалифицированных стрелков из лука / А.М. Пухов, С.А. Моисеев, С.М. Иванов, Р.М. Городничев // Теория и практика физической культуры. – 2015. - №6. – С. 20-22.

131. Пухов А.М. Индивидуальные биомеханические особенности выполнения выстрела из лука. / А.М. Пухов, С.А. Моисеев, С.М. Иванов // Материалы Всероссийской конференции по вопросам спортивной науки в детско-юношеском спорте и спорте высших достижений. – 2016. – С. 52-60.

132. Пухов А.М. Некоторые биомеханические аспекты выстрела из лука // Биомеханика двигательных действий и биомеханический контроль в спорте материалы VIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. -М. -2020. - С. 108 – 112.

133. Пухов А.М. Некоторые физиологические механизмы прицельных движений / А.М. Пухов, Р.М. Городничев // Sportul Olimpic si sportul toti^ MaterialeCongresului St. Intern / col.red.: Manolachi V., Danail S. – Ch.: USEFS, 2011. – S. 428-431.

134. Пухов А.М. Особенности мышечной активности при выполнении выстрела из лука / А.М. Пухов, С.А. Иванов, С.А. Моисеев, Р.М. Городничев // Наука и спорт: современные тенденции. – 2016. - № 2 (Т.11). – С. 82-87.

135. Пухов А.М. Подходы к оценке индивидуальных технических действий высококвалифицированных стрелков из лука / А.М. Пухов, С.А. Моисеев, С.М. Иванов // Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 90-летию журнала «Теория и практика физической культуры.-2015. - С. 454-458.

136. Пухов А.М. Электромиографические характеристики результативности прицельных движений человека (на примере стрельбы из лука и пистолета): дис. ... канд. биол. наук.– Великие Луки.– 2013.–119 с.

137. Пухов А.М. Электромиографические характеристики стрельбы из классического и блочного лука / А.М. Пухов, С.А. Моисеев, С.М. Иванов, Р.М. Городничев // Материалы II Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – 2015. – Москва. – С. 118-121.

138. Разумникова О.М. Функциональное значение биопотенциалов альфа2–диапазона при конвергентном и дивергентном вербальном мышлении. // Физиология человека. – 2007. – Т. 33. – № 2. – С. 23–34.

139. Разумникова О.М. Половые различия межполушарного взаимодействия при распределенном и направленном внимании / О.М. Разумникова, Н.В. Вольф // Журнал высшей нервной деятельности им. И.П.Павлова. – 2006. – Т. 56. – № 3. – С. 327–333.

140. Разумникова О.М. Полушарные взаимодействия при поиске оригинальных вербальных ассоциаций: особенности когерентности биопотенциалов коры у креативных мужчин и женщин / О.М. Разумникова,

Е.Н. Ларина // Журнал высшей нервной деятельности им. И.П.Павлова. – 2005. – Т. 55. – № 6. – С. 777–787.

141. Рудовский А.А. Компьютерная стабилोगрафия в подготовке квалифицированных стрелков из лука / А.А. Рудовский, Ю.А. Рымшина // Рудиковские чтения. – 2016. – С. 361-365.

142. Рослый И.М., Водолажская М.Г. Правила чтения биохимического анализа: Руководство для врача. – 3-е изд., испр. и доп. – М.: ООО «Медицинское информационное агентство», 2020. – 112 с.

143. Русинов В.С. Некоторые вопросы теории электроэнцефалограммы // в кн.: Физиология. Л., - 1954. – С. 235-256.

144. Сабирова И.А. Регуляция Альфа-ритма квалифицированных стрелков с применением идеомоторной тренировки / И.А. Сабирова, С.В. Седоченко, А.В. Черных, В.В. Федеров, Е.А. Ткач, С.А. Зозулин // Изд.: Изд. полигр. центр «Научная книга». – 2017. – С. 92-96.

145. Савин, А.А. Влияние острого физического утомления на показатели стабилोगрафии у борцов высокого класса / А.А. Савин, Л.В. Емельянова, А.А. Мельников // Известия ЮФУ. Технические науки. - 2010. - №9. - С. 155 – 158.

146. Салихова Р.Н. Психофизиологический анализ функционального состояния стрелка в период прицеливания: автореф. дис. ... канд. биол. наук – М. – 2013. – 26 с.

147. Скворцов Д.В. Методика исследования кинематики движений и современные стандарты. Видеоанализ / Д.В. Скворцов // Лечебная физкультура и спортивная медицина. – 2012. - № 12 (108). – С. 4-10.

148. Скворцов, Д.В. Стабилометрическое исследование: краткое руководство. – М.: Маска, 2010. – 172 с.

149. Скворцова В.И. Оценка постуральной функции в клинической практике / В.И. Скворцова, Г.Е. Иванова, Д.В. Скворцов, Л.В. Климов // Лечебная физкультура и спортивная медицина. – 2013. - №6 (114). – С. 8-15.

150. Слива А.С. Развитие методов и средств компьютерной стабилографии / А.С. Слива, И.Д. Войнов, С.С. Слива // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2010. – №9. – С. 158 – 164.
151. Смирнов В.М. Стереотаксическая неврология. – Л. – Медицина, 1976. – 264 с.
152. Сологуб Е.Б. Электрическая активность мозга в процессе двигательной активности / Е. Б. Сологуб. - Л.: Медицина, 1973. - 248 с.
153. Солодков А.С. Физиология человека. Общая. Спортивная. Возрастная / А.С. Солодков, Е.Б. Сологуб // М.: Спорт. - 2018. – 620 с.
154. Сыманович П.Г. Техническая подготовка стрелков из лука 10-12 лет на основе совершенствования механизмов прицеливания: автореф. дис. ... канд. пед. наук. – Минск. – 2000. – 24 с.
155. Сыманович П. Г. Стрельба из лука – основы техники: учебное пособие / МГПИ им Н.К. Крупской. - Мозырь, 2002. – 63 с.
156. Талис В. Л., Казенников О.В. Кинематика движения правой руки при перемещении ею смычка подобно игре на виолончели / В.Л. Талис, О.В.Казенников // Управление движением. Motor Control, 2020 / Материалы VIII Российской с международным участием конференции по управлению движением. Петрозаводск, 2020. – 2020. – С. 26-27.
157. Тарасов П.Ю. Построение тренировочных нагрузок силовой направленности в годичном цикле подготовки квалифицированных стрелков из лука: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – М. – 2013. – 23 с.
158. Тарасова Е.В. Функция равновесия у спортсменов, занимающихся разными видами спорта / Е.В. Тарасова // Проблемы и перспективы физического воспитания, спортивной тренировки и адаптивной физической культуры. – Казань. – 2016. – С. 1106 – 1108.
159. Тарасова И.В. Связь изменений мощности ЭЭГ с инструкцией, стимулирующей творческое мышление у мужчин и женщин/ И.В. Тарасова, О.М.Разумникова, Н.В. Вольф // Журнал высшей нервной деятельности им. И.П.Павлова. – 2006. – Т. 56. – № 5. – С. 611–617.

160. Тарасова Л.В. Механизм энергообеспечения стрелков из лука в процессе спортивной тренировки // Научно-теоретический журнал «Ученые записки». – 2009. - №7 (53). – С. 102-105.

161. Тарасова Л.В. Направленность специальной силовой тренировки стрелков из лука / Л.В. Тарасова, П.Ю. Тарасов // Культура физическая и здоровье. – 2012. - №1 – С. 23-26.

162. Тарасова Л.В. Определение наиболее эффективного режима стрельбы у высококвалифицированных и юных стрелков из лука / Л.В. Тарасова // Вестник спортивной науки. – 2010. - №6. – С. 27-29.

163. Тарасова Л.В. Система комплексной оценки функционального состояния и физической подготовленности юных и квалифицированных спортсменов стрелков из лука в процессе многолетней подготовки: дис. ...докт пед. наук. / Л.В. Тарасова. – М. – 2014. – 247 с.

164. Тарасова Л.В. Факторы устойчивости системы «стрелок-оружие» в тренировке высококвалифицированных стрелков / Л.В. Тарасова // Вестник спортивной науки. М., - 2009. -№3. – С.25-27.

165. Тарасова Л.В. Индивидуально-типологические особенности стрелков из лука во взаимосвязи с мотивационной составляющей и психоэмоциональным состоянием / Л.В. Тарасова Л.В., Тимакова Т.С. // Материалы XV Всероссийской конференции с международным участием «Рудиковские чтения-2019». - М. - 2019. - С. 263 – 268.

166. Томиловская Е.С. Опорная афферентация в системе регуляции позы и локомоций / Е.С. Томиловская, И.Б. Козловская // Управление движением. Motor Control 2020: материалы VIII Российской с международным участием конференции по управлению движением (Петрозаводск, 20—22 апреля 2020 г.). — Петрозаводск : Издательство ПетрГУ, 2020. — С.10.

167. Трэмбач А. Б. Нейрофизиологические механизмы, определяющие точность и устойчивость целенаправленных движений на примере стрельбы

из лука // А.Б. Трёмбач, О.И. Шестаков, Т.В. Пономарева, Е.Р. Миниханова // Физическая культура, спорт - наука и практика. – 2018. - №4. – С. 82-87.

168. Трёмбач А.Б. Биомеханические параметры как системообразующий фактор, обеспечивающий взаимосвязи физиологических функций и определяющий успешность целенаправленных движений человека на примере стрельбы из лука / А.Б. Трёмбач, О.И. Шестаков, А.А. Скоморохов, Т.В. Пономарева // Физическая культура, спорт – наука и практика. – 2016. - №1. – С. 72-75.

169. Трёмбач А.Б. Динамика мощности спектра ЭЭГ при подготовке успешных и неуспешных целенаправленных движений у человека / А.Б. Трёмбач, Е.А. Кузьменко // Нейронаука для медицины и психологии: 7-й Международный междисциплинарный конгресс. Судак, Крым, Россия; 3 – 13 июня 2011 г.: Труды Конгресса – 2011. – С. 416-417.

170. Трёмбач А.Б. Корковый контроль точности целенаправленных движений человека: электроэнцефалографический анализ / А.Б. Трёмбач // Нейронаука для медицины и психологии. – 2017. – С. 404-405.

171. Трёмбач А.Б. Стабилографические и энцефалографические методы диагностики ментальных и моторных функций в физической реабилитации / А.Б. Трёмбач, Т.В. Пономарева // Уч. пособие. Изд.: КГУФКСТ. – Краснодар, 2019. – 68 с.

172. Трёмбач А.Б. Электрофизиологические корреляты при целенаправленных движениях в зависимости от их точности и устойчивости на примере стрельбы из лука / А.Б. Трёмбач, О.И. Шестаков, Т.В. Пономарева, Е.Р. Миниханова // Нейронаука для медицины и психологии: XV международный междисциплинарный конгресс. – 2019. – С. 408-409.

173. Трёмбач А.Б. Влияние возрастающей нагрузки на электрическую активность двуглавой мышцы плеча у квалифицированных спортсменов силовых видов спорта / А.Б. Трёмбач, В.В. Марченко // Теория и практика физической культуры. – 2003. – №9. – С. 39– 41.

174. Трембач А.Б. Характеристика электромиограммы двуглавой мышцы плеча у тяжелоатлетов при различном дозировании нагрузок / А.Б. Трембач, В.В. Марченко // Теория и практика физической культуры. - 2000. - №1. – С.20-22.

175. Тришин А.С. Особенности пострального контроля у высококвалифицированных спортсменов в ситуационных видах спорта при воздействии латерализованных факторов /А.С.Тришин, Е.С.Тришин, Е.М.Бердическая, Л.В. Катрич // Асимметрия. – 2015. – Т.9. - №1. – С.4-12.

176. Удалова А.А. Стрелковый тренажер СКАТТ как метод оценки координаций в пулевой стрельбе / А.А. Удалова, С.А. Огнев // Современные подходы к совершенствованию технической подготовленности в стрелковых видах спорта. – Великие Луки. – 2015. – С. 84-86.

177. Федотова О.И. Учет психофизиологических особенностей стрелков из лука в процессе технической подготовки / О.И. Федотова, С.Г. Ивашко // Материалы XV Всероссийской конференции с международным участием «Рудиковские чтения-2019».–М.-2019.–С.272-275.

178. Федорова И.Н. Анализ ЭЭГ при организации целенаправленного движения // Физическая культура и спорт. Олимпийское образование. Материалы международной конференции. - 2019. – С. 275-276.

179. Черенкова Л.В. Стабилографические характеристики постральной регуляции высококвалифицированных гребцов на каноэ с учетом функциональной асимметрии /Л.В.Черенкова, Е.М.Бердичевская, В.А.Балуева// Физ. культура, спорт – наука и практика.-2015.– N4.-С.82-88.

180. Черенкова Л.В. Центральная регуляция позной устойчивости у квалифицированных каноистов, использующих левостороннюю стойку / Л.В.Черенкова, Е.М.Бердичевская // Физическая культура, спорт – наука и практика.- 2018. – N4. - С.69-75.

181. Чермит К. Д. Смена типа биоэлектрического управления мышц голени бедра и спины в старшем дошкольном возрасте в процессе

выполнения приседаний // К.Д. Чермит, А.Б.Бгуашев, А.Г.Заболотный
Физическая культура, спорт – наука и практика.- 2015. - №4. – С. 89-93.

182. Черных А.В. Электрическая активность мозга стрелков-пистолетчиков в процессе выполнения соревновательного упражнения, с учетом временных фаз // А.В.Черных, И.А.Сабилова, С.В.Седоченко, А.А. Володин // Изд.: Изд. полигр. центр «Научная книга», 2015. – С. 497-503.

183. Шенкман Б.С. Гравитационные механизмы в тонической двигательной системе. Нейрофизиологические и мышечные аспекты / Б.С.Шенкман, А.И.Григорьев, И.Б. Козловская // Физиология человека. – 2017. – Т.43.- № 5. - С. 104–117.

184. Шестаков, О.И. Электроэнцефалографические корреляты центральных программ, определяющих их точность и устойчивость на примере стрельбы из лука / А.Б. Трёмбач, 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.

185. 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. Трёмбач // Научно-методический журнал «Физическая культура, спорт – наука и практика». – 2017. - № 4.- С. 70-75.

186. Шестаков, О.И. Периоды и фазы становления целенаправленного движения спортсмена на основе биологических маркеров / А.Б. Трёмбач, О.И. Шестаков, Т.В. Пономарева, Е.Р. Миниханова // Научно-теоретический журнал «Теория и практика физической культуры». – 2018. - № 10. – С. 79-81. (Scopus)

187. Шестаков, О.И. Нейрофизиологические механизмы целенаправленных движений различной точности на примере стрельбы из лука у высококвалифицированных спортсменов / А.Б. Трёмбач, О.И.

Шестаков // Международный научно-технический журнал «Наукоемкие технологии». – 2019. - № 5. – С. 29-36.

188. 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.

189. 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.

190. 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 РИО КГУФКСТ, 2016. - №1. – С. 266-270.

191. 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.

192. 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.

193. 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.

194. 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.

195. 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.

196. 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.

197. 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.

198. Шестаков, О.И. Кортикальный 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.

199. 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.

200. 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.

201. 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.

202. 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.

203. 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.

204. 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.

205. Энока Р.М. Основы кинезиологии // Изд.: «Олимпийская литература». – 1998. – 400 с.

206. Эрдыниева Н.К. Научно-методическое обеспечение тренировочного процесса стрелков из лука высокой квалификации / Н.К. Эрдыниева, В.М. Цинкер // Проблемы современной науки и образования. – 2018. - №6 (126). – С. 86-92.

207. Юрьев А.А. Спортивная стрельба.- М.: ФиС, 1962. - 543 с.

208. Яковенко И.А. Взаимозависимость ритмических параметров ЭЭГ при формировании и действии установки на лицевую экспрессию / И.А. Яковенко, Е.А.Черемушкин, Н.Е. Петренко // Вестник клинической нейрофизиологии. - 2016. - Спец. вып. - С. 33–34.

209. Adams R.A. Predictions not commands: active inference in the motor system / R.A. Adams, S. Shipp, K. J. Friston // Brain Struct Funct. – 2013. – V. 218(3). – P. 611-643.

210. Adrian E.D. Interpretations of potential waves in cortex / E.D. Adrian, B.H.C. Matthews // J. Phisios. – 1934. – P. 440-471.

211. Babiloni C. Judgment of actions in experts: a high-resolution EEG study in elite athletes / C. Babiloni, C. Del Percio, P. M. Rossini [et al.] // *Neuroimage*. – 2009. - V. 45. - №2. - P. 512–521.
212. Babiloni C. Restingstatecorticalrhythms in athletes: a high-resolution EEG study / C. Babiloni [et al.] // *Brain Research Bulletin*. – 2010. – V. 81. – №1. – P. 149-156.
213. Babiloni C. Cortical sources of resting state EEG rhythms are related to brain hypometabolism in subjects with Alzheimer’s disease: an EEG-PET study / C. Babiloni, C.Del Percio, A.Caroli [et al.] // *Neurobiology of Aging*.- 2016. – V.48. – P. 122–134.
214. Baker S.N. Oscillatory interactions between sensorimotor cortex and the periphery. // *Curr. Opin. Neurobiol*. – 2007. – V. 17. – P. 649– 655.
215. Barany D. A. Feature interactions enable decoding of sensorimotor transformations for goal-directed movement / D.A. Barany, V.Della-Maggiore, S. Viswanathan, M.Cieslak, S.T.Grafton // *The Journal of Neuroscience*. - 2014. - №34(20). – P. 6860–6873.
216. Bazanova O.M. Interpreting EEG alpha activity / O.M.Bazanova, D. Vernon // *Neurosci. Biobehav. Rev*. - 2013. – P.13 – 23.
217. Bebetos E. Psychological skills of elite archery athletes // *J. Hum. Sport Exerc*. - 2015. – 10 (2). – P.623-628.
218. Berger H. Ueber das Elektroenkephalogramm des Menschen // *Arch. Psychiat. Nervenkr*. – 1929. – V. 78. – P. 527-570
219. Berke J.D., Okatan M., Skurski J., Eichenbaum H.B. Oscillatory entrainment of striatal neurons in freely moving rats // *Neuron*. – 2004. – V. 43. – P. 883–896.
220. Betz W. Anatomischer Nachweis zweier Gehirncentra // *Centralblatt für die medizinischen Wissenschaften*, 1874. – Bd.12. – S.578-580, 595-599.
221. Bizzi E. The Neural Origin of Muscle Synergies / E. Bizzi, V.C.K. Cheung // *Front. Comput. Neurosci*. - 2013. - V.7. - P. 51.

222. Bland B. H. Theta band oscillation and synchrony in the hippocampal formation and associated structures: the case for its role in sensorimotor integration / B.H. Bland, S. D. Oddie // *Behavioural Brain Research*. - 2001.–P.119–136.

223. Boldyreva G.N. Structural-functional characteristics of brain functioning on performance and imagination of motor tasks in healthy people (EEG and fMRI studies) / G.N. Boldyreva G.N., Sharova E.V., Zhavoronkova L.F. [et al.] // *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова*.– Т.112.- № 5.- 2012.– С.62-69.

224. Bouyer J.J. Anatomical localization of cortical beta rhythms in cat / J.J. Bouyer, M.F.Montaron, J.M. Vahnée [et al.] // *Neuroscience*. – 1987. – V. 22. – P. 863–869.

225. Brian H. Bland Theta band oscillation and synchrony in the hippocampal formation and associated structures: the case for its role in sensorimotor integration / B.H. Bland, S.D. Oddie // *Behavioural Brain Research*. - 2001. – P.119–136.

226. Brown P. Abnormal oscillatory synchronisation in the motor system leads to impaired movement. // *Curr. Opin. Neurobiol.*– 2007.–V.17. – P.656–664.

227. Burman D.D. Hippocampal Connectivity with Sensorimotor Cortex during Volitional Finger Movements: Laterality and Relationship to Motor Learning. *PloS ONE*. – 2019. - N14. - P.9.

228. Buzsaki G. The origin of extracellular fields and currents —EEG, ECoG, LFP and spikes / G. Buzsaki, C.A.Anastassiou, C. Kocj // *Nat Rev Neurosci*. – 2012. – V. 13. – P. 407–420.

229. Buzsaki G. Cellular bases of hippocampal EEG in the behaving rat. *Brain Res* / G.Buzsaki, L.Leung, C.H.Vanderwolf // *Brain Res*.–1983.–V.6.– P.139–171.

230. Callan D.E. Neural Processes Distinguishing Elite from Expert and Novice Athletes / D.E. Callan, E. Naito // *Cognitive and behavioral neurology: official journal of the Society for Behavioral and Cognitive Neurology*. – 2014. - № 27 (4). – P. 183-188.

231. Callan D.E. Neural processes distinguishing elite from expert and novice athletes/D.E.Callan,E.Naito//Cogn Behav Neurol.–2014.–V.27.–P.183-188.

232. Callaway A.J. Identification of temporal factors related to shot performance for indoor Recurve archery/ A.J. Callaway, J.Wiedlack, M.Heller // J. of Sport Sciences. – 2017. – 35 (12). - P. 1142 – 1147.

233. Canolty R. High gamma power is phase– locked to theta oscillations in human neocortex / Canolty R., Edwards E., Dalal S. [et al.] // Science. – 2006. – V. 313. – P. 1626–1628.

234. Chatrian G.E. The mu rhythms / Handbook of Electroencephalography and Clinical Neurophysiology / Ed. A.Remond. – Amsterdam: Elsevier, 1976. – V.6A. – P. 46– 69.

235. Chalkley D. Enhancing the Daily Training Environment in Archery Using Technology. Targenting Rio / D.Chalkley, G.Giblin, G.-J.Pepping // J. of fitness research.- 2016. - N5 (Special Insue ASTN-Q Conference).– P.43-46.

236. Chatrian G.E. The blocking of the rolandic wicket rhythm and some central changes related to movement / G.E.Chatrian, M.C.Petersen, J.A. Lazarte // Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol. – 1959. – V. 11. – P. 497–510.

237. Chen C. W. Detecting movement-related EEG change by wavelet decomposition-based neural networks trained with single thumb movement / C.W. Chen, C.C. Lin, M.S. Ju // Clin Neurophysiol. - 2007. - №118 (4).- P.802-14.

238. Christodonlou, V.X. Changes in heart rate variability during an archery competition / V.X. Christodonlou, P.C. Dinas, N.G. Balamis, A.D. Felouris // 15th annual congress of the European College of Sport Science: book of abstracts. - 2010. - V. №15. - P. 339.

239. Cruikshank L. C. Theta oscillations reflect a putative neural mechanism for human sensorimotor integration / L.C. Cruikshank, A.Singhal, M.Hueppelsheuser, J.B. Caplan // J.Neurophysiol.–V.107.- 2012.-P.65–77.

240. Csercsa R. Laminar analysis of slow wave activity in humans / R.Csercsa, B.Dombovari, D.Fabo [et al.] // Brain.–2010.–V.133.– P.2814–2829.

241. Deeny S. P. Electroencephalographic coherence during visuomotor performance: a comparison of cortico-cortical communication in experts and novices / S. P. Deeny, A. J. Haufler, M. Saffer, and B. D. Hatfield // *Journal of Motor Behavior*. – 2009. – V. 41. -N2. - P. 106–116.
242. Del Percio C. Visuo-attentional and sensorimotor alpha rhythms are related to visuo-motor performance in athletes / C. Del Percio, C. Babiloni, M. Bertollo et al. // *Hum Brain Mapp*. -2009. - № 30 (11). - P. 3527-40.
243. Dijk H. V. Prestimulus oscillatory activity in the alpha band predicts visual discrimination ability / H. van Dijk, J.-M.Schoffelen, R.O., O.Jensen // *J.Neurosci*. – 2008. - Feb 20. - N28(8). – P.1816-23.
244. Eccles J.C. *The Physiology of synapses* // Berlin – Gottingen – Heidelberg: Springer – Verlag, 1964. – 132 p.
245. Eeckman F.H. Correlations between unit firing and. EEG in the rat olfactory system/F.H.Eeckman,W.Freeman//*Brain Res*.-1990.–V.528.–P.238–244.
246. Era P. Postural stability and skilled performance—a study on top-level and naive rifle shooters / Era P., Kontinen N., Mehto P. [et al.] // *J. Biomech*.-1996. - V. 29. - N. 3. - P. 301-306.
247. Ertan H. Hit distribution patterns in recurve archery: An exploratory spatial analysis / H. Ertan, F. Er, A. J. Callaway // *12th International Symposium on Computer Science in Sport IACSS*. – Moscow. – 2019. – P. 97-98.
248. Ertan H. Muscular Activation Strategies in Archery / H. Ertan, A. J. Knicker, R.A. Soulu//*Sport Medicine and Science in Archery II*.–2008.–96 p.
249. Evans A. An MRI-based stereo-tactic atlas from 250 young normal subjects/A.Evans, D.Collins, B.Milner//*J.Soc.Neurosci.Abstr*.-1992.-V18.-P.408.
250. Fingelkurts An. Structural (operational) synchrony of EEG alpha activity during an auditory memory task / An.Fingelkurts, Al.Fingelkurts, C. Krause [et al.] // *Neuroimage*. – 2003. – V. 20. – P. 529–542.
251. Fink A. Divergent thinking training is related to frontal electroencephalogram alpha synchronization / A. Fink, R.H. Grabner, M. Benedek, A.C. Neubauer // *Eur. J. Neurosci*. - 2006. - N23. - P.2241–2246.

252. Freeman W.J. Spatial patterns of visual cortical fast EEG during conditioned reflex in a rhesus monkey / W.J.Freeman, B.W. van Dijk // *Brain Res.* – 1987. – V. 422. – P. 267–276.
253. Fronso S. Neural markers of performance states in an Olympic athlete: an EEG case study in air-pistol shooting / S.di Fronso, C.Robazza, E.Filho [et al.] // *Journal of Sports Science and Medicine.*–2016.- V.15.- №2.-P.214–222.
254. Ganter N. Comparing three methods for measuring the movement of the bow in the aiming phase of Olympic archery / N. Ganter, K. C. Matyschiok, M. Partie [et al.] // *Procedia Engineering.* – 2010. - №2. – P. 3089-3094.
255. Gehring, D. Fatigue-based changes in lower extremity joint control during perturbed lateral jumps / D. Gehring, G. Mornieux, A. Gollhofer // *13TH Annual congress of the european college of sport science, July 9-12, 2008: book of Abstract.* - Estoril – Portugal, 2008. - P. 478-479.
256. Gong A. Rifle Shooting Performance Correlates with Electroencephalogram Beta Rhythm Network Activity during Aiming / A. Gong, J. Liu, C. Jiang, Y. Fu // *Hindawi Computational Intelligence and Neuroscience.* – 2018. – 11 p.
257. Gonzalez C.C. Exploring the quiet eye in the archery using field and laboratory-based task / C.C. Gonzalez, J. Causer, G.W. Grey, R.S. Miall [et al.] // *Exp. Brain Res.* - 2017. – 235. – P. 2843-285.
258. Guderian S. Medial temporal theta state before an event predicts episodic encoding success in humans / S.Guderian, B.Schott, A.Richardson–Klavehn, E.Düzel // *Proc.Natl.Acad.Sci. USA.*–2009 –V.106. – P.5365–5370.
259. Halgren E. Responses of human limbic neurons to induced changes in blood gases/E.Halgren, T.Babb, P.Crandall // *Brain Res.*–1977.–V.132.–P.43–63.
260. Harmony T. The functional significance of delta oscillations in cognitive processing//*Frontiers in integrative neuroscience.*-2013.-Dec.7.–P.83.
261. Hatfield B.D. Electroencephalographic studies of skilled psychomotor performance / B.D.Hatfield, A.J.Haulier, T.M. Hung, T.W. Spalding // *J. Clin. Neurophysiol.* -2004.- V. 21.- N. 3.- P. 144-156.

262. Haufler A.J. Neurocognitive activity during a self-paced visuospatial task: comparative EEG profiles in marksmen and novice shooters / A.J.Haufler, T.W.Spalding, D.L. Santa Maria, B.D. Hatfield // *Biol. Psychol.* - 2000. - V. 53. - N. 2-3. - P.131-160.
263. Hayri, E. Archery biomechanics: a kinematical approach / E., Hayri, I. Rafet // Paper presented at the Annual Meeting of the American Society of Biomechanics. – 2010. – P.131-139.
264. Heller M. Evaluation of arrow release in highly skilled archers using an acoustic measurement system//*Procedia Engineering.*–2012.–№34.–P.532-537.
265. Hennessy M. P. Electromyography of arrow release in archery / M. P. Hennessy, A.W. Parker//*Electromyogr. Clin. Neurophysiol.*–1990.–V.30.–P.7–17.
266. Hung L. Q. Brain dynamics during the shooting preparatory period: a comparison of shooting and motor demands / L. Q. Hung, I. F. Chen, C. J. Huan [et al.] // *Physical Education Journal.* – 2014. - V. 47. -N2. - P. 195–204.
267. Ivanenko Y. Human Postural Control / Y.Ivanenko, V.S.Gurfinkel // *Frontiers in Neuroscience.* - 2018. - N12. – P/171.
268. Jasper H. Functional properties of the thalamic reticular system. In: *The brain mechanisms and consciousness* //A Symp.Oxford.–1954.–P.371-401.
269. Jensen O. Shaping functional architecture by oscillatory alpha activity: gating by inhibition / O.Jensen, A.Mazaheri // *Front Hum Neurosci.* - 2010. - N.4.– P. 186.
270. Jung R. Postural support of goal-directed movement: the preparation and guidance of voluntary action in man // *Acta Biol Acad Sci Hung.* -1982.–№ 33 (2-3).- P.201-213.
271. Keller I. Analysis of oscillatory components in perioperative AEP–recordings: A nonparametric procedure for frequenc measurement / I.Keller, C.Madler, D.Schwender, E.Poppel // *Clin. Electroenc.*–1990.–V.21.– P. 88–92.
272. Kerick S.E. The role of the left temporal region under the cognitive motor demands of shooting in skilled marksmen / Kerick S.E., McDowell K., Hung T.M. [et al.] // *Biol. Psychol.* - 2001. - V. 58. - N. 3. - P.263-277.

273. Kim W. An fMRI study of differences in brain activity among elite, expert, and novice archers at the moment of optimal aiming / W. Kim, Y. Chang, J. Kim, J. Seo, K. [et al.] // *Cogn. Behav. Neurol.* – 2014. – V.27. – P.173-182.
274. Kisik Lee. Inside the archery: text-book / Lee Kisik, Tayler Benner. – Astra LLC, USA. - 2009. – 253 p.
275. Klimech W. EEG alpha oscillations: the inhibition-timing hypothesis / W.Klimech, P.Sauseng, S.Hanslmayr // *Brain Res.Rev.-№53(1).*–2007.–P.63-88.
276. Knyazev G.G. The default mode network and EEG alpha oscillations: An independent component analysis / G.G.Knyazev, J.Y.Slobodskoj-Plusnin, A.V.Bocharov, L.V.Pylkova // *Brain Research.*- 2011. - V.1402.- C.67–79.
277. Kos A. Sensor System for Precision Shooting Evaluation and Real-Time Biofeedback. *Procedia Computer / A.Kos, A.Umek, S.Marković, M.Dopsaj // Science.*-2019. - V.147. -P.319–323.
278. Landers, D.M. Effect of learning on encephalographic and electrocardiographic patterns in novice archers / D.M. Landers, M. Han, W. Salazar, S.J. Petruzzello // *Int. J. Sport Psychol.* - 1994. - V.22. - P. 56-71.
279. Lankford D.F. The effect of fatigue and elevated heart rate on archery shot performance / D.F. Lankford, B. Higginson // *Int. J. of Exercise Science: Conference Proceeding.* - 2016. – N8(4). – P.40-56.
280. Leanna C. Theta oscillations reflect a putative neural mechanism for human sensorimotor integration / C. Leanna, A. Singhal, H. M. Caplan // *J. Neurophysiol.* - 2012. – P. 65–77.
281. Lebar N. On the neural basis of sensory weighting: Alpha, beta and gamma modulations during complex movements / N.Lebar, J.Danna, S.Moré, L. Mouchnino, J.Blouin // *NeuroImage.* – V.150. - 2017. – P. 200–212
282. Lee K.H. Evaluation of Attention and Relaxation Levels in Shooting Processed using Brain Wave Signal Analysis Algorithms // *NeuroSky Inc.* – 2009. – V. 12. - N3 – P. 341-350.
283. Lee K-S. Total Archery Inside the archer / K. S. Lee, T. Benner // *Astra LLC.* - 2009. –253 p.

284. Lin J.J. Activation and tremor of the shoulder muscles to the demands of an archery task / J.J. Lin, C.J. Hung, C.C. Yang, H.Y. Chen, F.C. Chou, T.W. Lu // *Journal of Sport Sciences*. – 2010. - №4. – P. 415-421.
285. Lindstrom L. H. Interpretation of myoelectric power spectra: A model and its applications / L.H. Lindstrom, R. I. Magnusson // *Proceedings of the IEEE*. – 1977. – V. 65. – P. 653-662.
286. Loh W.H. Classifying the Archery Performance with Conditional Effects on Angular and Linear Shooting Techniques / W.H.Loh, Y.Chong // *J. of Telecommunication, Electronic and Comp.Engineering*.-2018.-10(3-2).-P.95-99.
287. Loze G. M., Pre-shot EEG alpha-power reactivity during expert airpistol shooting: a comparison of best and worst shots / G. M.Loze, D.Collins, , P.S. Holmes // *J. Sports Sci*. – 2001. – N 19. – P. 727–733.
288. Min B.K., Hermann C.S. Prestimulus EEG alpha activity reflects prestimulus top-down processing // *Neurosci. Let*. - 2007. - N422 (2).-P.131–135.
289. Monzoni R. Functional training is effective in improving archery sport performance / R.Monzoni, C.F.Lucerini, A.Federici / URL // <http://www.gnc.comwww.gnc.comwww.sportsci.orgwww.sportsci.org/2016/WCPASabstracts/ID-1605.pdf>.
290. Massimini M. EEG slow (~1Hz) waves are associated with nonstationarity of thalamo– cortical sensory processing in the sleeping human / M.Massimini,M.Rosanova,M.Mariotti//*J.Neurophys*.-2003.-V.89.-P.1205–1213.
291. Miller K.J. Human motor cortical activity is selectively phase– entrained on underlying rhythms / K.J.Miller, D.Hermes, C.J. Honey [et al.] // *PLoS Comput. Biol*. – 2012 Sep. – V. 8. – e1002655.
292. Mitchell D.J. Frontal-midline theta from the perspective of hippocampal theta / D.J.Mitchell, N.McNaughton, D.Flanagan, I.J. Kirk // *Progress in Neurobiology*. – 2008. – V. 86. – P. 156–185.
293. Molle M. Grouping of spindle activity during slow oscillations in human non– REM sleep / M.Molle, L.Marshall, S.Gais, J.Born // *J. Neurosci*. – 2002b. – V. 22. – P. 10941–10947.

294. Murthy V. Coherent 25– to 35– Hz oscillations in the sensorimotor cortex of awake behaving monkeys / V.Murthy, E. Fetz // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. – 1992. – V. 89. – P. 5670–5674.
295. Nagata A. Auto-regression analysis upon EMG power spectra during dynamic exercise / A. Nagata, M. Miyazaki // Journal of Biomechanics. – 1989. – Vol. 22 (10). – P.1-3.
296. Napalkov D.A. Paradoxical increase of the alpha rhythm during the aiming in marksmen: Component analysis / Napalkov D.A., Shishkin S.L., Koliokoff M.B. [et al.] // Int. J. Psychophysiol. - 2008. -V.69. -P.256.
297. Niedermeyer E. Sleep and EEG // Electroencephalography: Basic Principles, Clinical Applications, and Related Fields, 5th eds. / E.Niedermeyer, F.Lopes da Silva // Lippincott Williams and Wilkins.- 2005b. – P.193–209.
298. Niedermeyer E. The Normal EEG of the Waking Adult // Electroencephalography: Basic Principles, Clinical Applications, and Related Fields, 5th eds. / E.Niedermeyer, F.Lopes da Silva // Lippincott Williams and Wilkins, 2005a. – P. 167–192.
299. Nishizono H. An electromyographical analysis of purposive muscle activity and appearance of muscle silent period in archery shooting / H. Nishizono, K. Nakagava, T. Suda et al. // Japanese Journal of Physical Fitness and Sports Medicine. – 1984. – V.33. – P. 17–26.
300. Nishizono H. Analysis of Archery Shooting Techniques by Means of Electromyography/H.Nishizono,H.Shibayamal,T.Izuta,K.Saito.–1987.–P.364-372.
301. Otto T. Olfactory discrimination learning, hippocampal unit activity and long-term potentiation // Chem.Signals.Vertebr. VI Symp., Philadelphia, Pa, June 16-22, 1991: Progr. And Abstr. – Hanover (N.H.), 1991. – P.37.
302. Park, J. L. Making the case for mobile cognition: EEG and sports performance / J. L. Park, M. M. Fairweather, D. I. Donaldson //Neuroscience Biobehavioral Reviews. – 2015. – V. 52. – P. 117-130.

303. Pavlidou A. Beta oscillations and their functional role in movement perception / A.Pavlidou, A.Schnitzler, J.Lange // *Translational Neuroscience*. - 2014. - №5(4). – P. 286-292.
304. Percio C. Del Visuoattentional and sensorimotor alpha rhythms are related to visuo-motor performance in athletes / C. Del Percio, C. Babiloni, M. Bertollo [et al.] // *Human Brain Mapping*. –2009.–V.30.-№11. - P.3527–3540.
305. Pesaran B. Temporal structure in neuronal activity during working memory in macaque parietal cortex / B. Pesaran, J.S. Pezaris, M. Sahani et al. // *Nat Neurosci*. - 2002. № 5 (8). - P. 805-11.
306. Pinault D. Voltage– dependent 40– Hz oscillations in the rat reticular thalamic neurons in vivo / D.Pinault, M. Deschrenes // *Neuroscience*. – 1992. – V.51. – P. 245–258.
307. Pool E.M. Functional resting-state connectivity of the human motor network: Differences between right- and left-handers / Pool E.M., Rehme A.K., Eickhoff S.B. [et al.] // *NeuroImage*. - 2015. –T. 109. – P. 298–306.
308. Quan C.H. Relationship between Aiming Pattern and Scores in Archery Shooting / C.H.Quan, S.Lee // *Korean J. of Sport Biomechanics*.-2016.– 26(4).– P.353-360.
309. Rektor I. Intracerebral ERD/ERS in voluntary movement and in cognitive visuomotor task / I. Rektor, D. Sochurkova, M. Bockova // *Prog. Brain. Res*. - 2006. - № 159. - P. 311-30.
310. Santello M. Neural Bases of Hand Synergies / M.Santello, G.Baud-Bovy, H.Jörntell // *Front. Comput. Neurosci*. - 2013. - Vol. 7. - Art. № 23.
311. Shestakov, O.I. Biological markers of goal-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.
312. Simon N.R. A MEG study of sleep/ N.R.Simon, I.Mandshanden, F.H. Lopes da Silva // *Brain Res*. - 2000. – V.860. – P.64–76.

313. Simsek D. Muscular coordination of movements associated with arrow release in archery /D.Simsek, A.O.Cerrah [et al.]–2018.– 40(1).– P.141-155.
314. Spratford W. Postural stability, clicker reaction time and bow draw force predict performance in elite recurve archery / W.Spratford, R.Campbell // *Evropean J. of Sport Science*. – 2017. – V.17. - N5. – P.539-545.
315. Suppiah P. The effectiveness of a core muscles stability program in reducing the postural sway of adolescent archers: a panacea for a better archery performance /P.Suppiah, T.W.K.Kiet, R.M.Musa [et al.]–2017.–4(5).–P.296-301.
316. Tallon-Baudry C. Rhythms in cognitive processing / C. Tallon–Baudry // *Rhythms of the neocortex: Where do they come from and what are they good for?* Kopell N. Eds. – 2009. – P. 29–36.
317. Timofeev I. Mechanisms and biological role of thalamocortical oscillations/ I.Timofeev, M.Bazhenov // *Trends in chronobiology research* / Columbus F. ed. – Hauppauger: Nova Science Publishers, 2005. – P.1–47.
318. Tinazci C. Shooting dynamics in archery: A multidimensional analysis from drawing to releasing in male archers // *Procedia Engineering*. – 2011. - № 13. – P. 290-296.
319. Trembach A.B. Invariant and variable electrophysiological correlates of central programs of goal-directed movements in humans / A.B.Trembach, E.A. Ivashchenko, E. R.Minihanova // *Управление движением. Motor Control 2020: материалы VIII Российской с международным участием конференции по управлению движением (Петрозаводск,20-22 апреля 2020г.)* / — Петрозаводск : Издательство ПетрГУ, 2020. — С.89 - 92.
320. Tursi D., Napolitano S. Technical movements in archery // *J.Hum.Sport Exerc.*–2014.- 9 (Proc1). – P. S570-S575.
321. Twigg P. Exploration of the Effect of EEG Levels in Experienced Archers / P. Twigg, D. Southall, A. Shenfield // *Measurement and Control*. 2014. – P. 38-54.
322. Vittorio T. The Heretic Archer / Vittorio, M.Frangilli,2005.–159 p.

323. Vodolazhskaya M. G. Gender differences in weather sensitivity of normal adult people registered on the rheoencephalogram and electroencephalogram / M. G.Vodolazhskaya, G. I. Vodolazhsky // Human Physiology. – 2016. – V. 42, N. 7, V.42. - N7. – P.793-798.

324. Walter W.G. The localization of cerebral tumors by electroencephalography // Lancet. – 1936. – V.231. – P. 305-208.

325. Wells C. Named coach of the year at us olympic and paralympic committee awards / C.Wells K.Lee [Электронный ресурс]: News World Archery.– 21 November 2019, Los Angeles, USA <https://worldarchery.org/news/176230/kisik-lee-named-coach-year-us-olympic-and-paralympic-committee-awards>.

326. Wheaton L. Left parietal activation related to planning, executing and suppressing praxis hand movements / L.Wheaton, E.Fridman, S.Bohlhalter, [et al.] // Clin. Neurophysiol. – 2009. – V. 120. – P. 980– 986.

327. Wilmore J. H. Physiology of sport and exercise (third edition) / J.H. Wilmore, D.L. Costil. – 2004. – 726 p.

328. Winter, D.A.Television-computer analysis of kinematics of human gait / Winter, D.A., Greenlaw, R.K., Hobson, D.A. // Computers and Biomed. Research. -1972. - N5. – P.498-504.

329. Zahari, T Correlation between archer's hands movement while shooting and its score / T. Zahari, A.M-J. Arif, O. Syed Faris Syed, S. Edin // Procedia Engineering. – 2016. - № 147. – P. 145-150.

330. Zulkifli A. Biomechanics measurements in archery / A. Zulkifli, T. Zahari, A. H. Hasnun, A. H. Mohd, H. J. Nasrul, K. Kumaran // Journal of Mechanical Engineering and Sciences. – 2014. – Vol.6. – P. 762-771.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

A1	-	ушное (референтное) отведение ЭЭГ слева
A2	-	ушное (референтное) отведение ЭЭГ справа
БОС	-	биологическая обратная связь
БЭАГМ	-	биоэлектрическая активность головного мозга
ВНД	-	высшая нервная деятельность
ДДА	-	датчик двигательной активности
ДЕ	-	двигательная единица
КБП	-	кора больших полушарий
КГУФКСТ	-	Кубанский государственный университет физической культуры, спорта и туризма
КМС	-	кандидат в мастера спорта
ФЗ	-	фоновая запись ЭЭГ
ЦД	-	целенаправленное движение
ЦНС	-	центральная нервная система
ЧСС	-	частота сердечных сокращений
ЭКГ	-	электрокардиограмма
ЭМГ	-	электромиограмма, электромиография, электромиографический
ЭОГ	-	электроокулограмма, электроокулографический
ЭЭГ	-	электроэнцефалограмма, электроэнцефалография, электроэнцефалографический
Fr1	-	левое переднее лобное отведение ЭЭГ
Fr2	-	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.

ПРИЛОЖЕНИЕ**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, № 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 goal-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. ТрEMBач // 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.