

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«ВЕЛИКОЛУКСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ ФИЗИЧЕСКОЙ
КУЛЬТУРЫ И СПОРТА» (ФГБОУ ВО «ВЛГАФК»)

На правах рукописи



Ланская Елена Владимировна

**ОСОБЕННОСТИ ПЛАСТИЧНОСТИ КОРТИКО-СПИНАЛЬНЫХ И
НЕРВНО-МЫШЕЧНЫХ СТРУКТУР ПРИ ЗАНЯТИЯХ РАЗЛИЧНЫМИ
ВИДАМИ СПОРТА**

1.5.5. – Физиология человека и животных

Диссертация

на соискание ученой степени кандидата биологических наук

Научный руководитель:
доктор биологических наук, профессор
Городничев Руслан Михайлович

Великие Луки - 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	12
1.1 Структурно-функциональная организация кортико-спинального тракта и его роль в регуляции движений	12
1.2 Нейропластические изменения на корковом и спинальном уровнях под влиянием двигательной активности	22
1.3 Методы изучения кортико-спинального тракта и нейропластичности, вызванной физической нагрузкой	33
ГЛАВА 2. ОРГАНИЗАЦИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	38
2.1 Организация исследования	38
2.2 Методы исследования	39
ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	45
3.1 Анализ характеристик вызванных ответов мышц плеча, предплечья и кисти при магнитной стимуляции коры головного мозга, шейного утолщения спинного мозга и периферических нервов у спортсменов и нетренированных лиц	47
3.2 Анализ характеристик вызванных ответов мышц бедра, голени и стопы при магнитной стимуляции коры головного мозга, поясничного утолщения спинного мозга и периферических нервов у спортсменов и нетренированных лиц	61
3.3 Анализ характеристик вызванных ответов мышц плеча, предплечья и кисти при электростимуляции шейного утолщения спинного мозга и периферических нервов у спортсменов и нетренированных лиц	75
3.4 Анализ характеристик вызванных ответов мышц бедра, голени и стопы при электростимуляции поясничного утолщения спинного мозга и периферических нервов у спортсменов и нетренированных лиц	90
ГЛАВА 4. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ	104

4.1 Возбудимость кортико-спинального тракта и периферических нервов у спортсменов и нетренированных лиц при магнитной и электрической стимуляции нервных структур	104
4.2 Проводящая способность кортико-спинального тракта и аксонов периферических нервов у спортсменов и нетренированных лиц при магнитной и электрической стимуляции нервных структур.....	110
4.3 Физиологические особенности формирования вызванных моторных ответов при магнитной и электрической стимуляции нервных структур	112
4.4 Форма вызванных моторных ответов при магнитной и электрической стимуляции нервных структур	120
4.5 Роль наследственных факторов в адаптивной реорганизации нервной системы в процессе моторного обучения	122
ВЫВОДЫ.....	126
ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ.....	128
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....	129
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	130
ПРИЛОЖЕНИЕ А	161
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	173
ПРИЛОЖЕНИЕ В	184
ПРИЛОЖЕНИЕ Г.....	190

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования. Систематическое выполнение физических нагрузок вызывает значительные изменения функциональных возможностей нервно-мышечной системы (Nielsen, Cohen, 2008; Grzejszczak et al., 2024). При этом обсуждаются возможные процессы нейрональной пластичности в корковых и спинальных отделах центральной нервной системы (ЦНС) и приспособительные механизмы моторной системы в зависимости от модели двигательной деятельности спортсменов (Aagaard et al., 2002; Judge et al., 2003; Jensen et al., 2005; Ross et al., 2007; Folland, Williams, 2007; Городничев и др., 2007; Фомин, Селяев, 2011; Андриянова, Ланская, 2014; Потапов, 2016; Clos et al., 2021). Для изучения этих аспектов используется широкий арсенал методических подходов, причем особенный размах приобрели тонкие нейрофизиологические исследования, благодаря которым можно получить точные сведения о функционировании нервных и мышечных структур, входящих в систему управления движениями (Персон, 1987; Gerasimenko et al., 2015; Rossini et al., 2015; Xue et al., 2023). Новые знания о пластичности кортико-спинальных и нервно-мышечных структур можно получить при проведении исследований с участием спортсменов, адаптированных к многолетней разнонаправленной мышечной деятельности, различающейся: режимом функционирования скелетных мышц при выполнении физической работы, направленной на развитие приоритетных для конкретного вида спорта двигательных качеств; физиологическими особенностями совершаемых движений - стереотипные (стандартные) против ситуационных (нестандартных); кинематической характеристикой мышечной деятельности - циклической против ациклической; длительностью и интенсивностью выполняемой работы. Этим определяется актуальность темы исследования.

Степень разработанности темы исследования. Адаптация моторной системы человека к специфической спортивной деятельности проявляется в

пластических функциональных перестройках нервно-мышечного аппарата (Исаев и др., 2012; Городничев, Шляхтов, 2016; Нопин и др., 2020) и нейронных структур двигательного контроля (Ланская и др., 2015). Несмотря на достаточно широкое распространение методов исследования кортико-спинального тракта (КСТ) и периферических отделов нервной системы, осуществляющих двигательный контроль и иннервацию скелетных мышц, и анализа мышечной деятельности, ряд вопросов, касающихся локализации пластических перестроек на разных уровнях моторной системы (кортикальных, спинальных, периферических нервных и/или мышечных) при занятиях различными видами спорта, специфичности функциональных перестроек в зависимости от направленности спортивной деятельности и возможных механизмов, которые могут их обуславливать, остается не до конца изученным. На решение этих вопросов и направлено наше исследование.

Следует отметить широко известный факт, что представители игровых, циклических и силовых видов спорта отличаются характеристиками нервной системы, композицией мышечных волокон, характером энергообеспечения, и эти отличия, по данным ряда авторов, генетически детерминированы (Ахметов, 2009; Сологуб и др., 2017; Фудин и др., 2018; Ахметов и др., 2021). Но, наряду с генотипическими исследованиями, выраженный интерес сосредотачивается на изучении возможных нейрональных изменений и адаптационных механизмов в двигательной системе спортсменов, вызванных различными видами двигательной деятельности (Maffiuletti et al., 2001; Judge et al., 2003; Арифалин, 2005; Городничев, Фомин, 2007; Ross et al., 2007; Фомин, Селяев, 2011; Андриянова, Ланская, 2014; Aprigliano et al., 2016; Clos et al., 2021). Участниками нашего исследования выступали спортсмены, имеющие многолетний стаж занятий спортом, поэтому мы полагаем, что специфические пластические перестройки в центральных и периферических структурах моторной системы могут быть связаны с направленностью долговременной двигательной деятельности. При этом влияние

генетического фактора также не исключается. Обсуждение этого вопроса находилось в фокусе нашего внимания и представлено в диссертации. Систематизация таких сведений, отражающая разные точки зрения на взаимодействие генетических факторов и внешнего влияния окружающей среды, которая в процессе многолетней спортивной подготовки включает тренировочные воздействия, соревновательные нагрузки и необходимые средства восстановления, в научной литературе широко не представлена и должна быть, на наш взгляд, дополнительно рассмотрена.

Цель исследования – выявить особенности пластичности кортико-спинальных и нервно-мышечных структур при занятиях различными видами спорта.

Задачи исследования:

1. Выявить различия функционального состояния кортико-спинальной системы двигательного контроля скелетных мышц тренированных и нетренированных лиц при последовательном проведении транскраниальной магнитной стимуляции моторной зоны коры головного мозга, магнитной и электрической стимуляции спинного мозга и периферических нервов.

2. Установить особенности пластичности кортико-спинальных и периферических нервных структур у представителей различных видов спорта посредством изучения параметров мышечных ответов, вызванных магнитной стимуляцией разных отделов нервной системы.

3. Определить особенности пластичности спинальных и периферических нервных структур у представителей различных видов спорта посредством изучения параметров мышечных ответов, вызванных электрической стимуляцией данных отделов нервной системы.

4. Сопоставить эффекты электрического и магнитного стимуляционного воздействия на спинной мозг и периферические нервы, иннервирующие мышцы верхней и нижней конечностей.

Научная новизна исследования. Впервые проведен комплексный анализ параметров вызванных моторных ответов при магнитной и

электрической стимуляции разных отделов нервной системы у представителей видов спорта с различной продолжительностью, мощностью и структурой соревновательных движений и лиц, не занимающихся спортом.

Показано, что многолетние циклические нагрузки на выносливость большой мощности, а также силовые ациклические и скоростные циклические нагрузки высокой мощности вызывают более выраженные признаки пластичности кортико-спинальных и периферических нервных структур, чем мышечная деятельность переменной мощности с преимущественно ациклической структурой движений и циклическая работа субмаксимальной мощности.

Установлены однонаправленные изменения значений параметров вызванных ответов мышц при магнитном и электрическом воздействии на спинальные и периферические нервные структуры у представителей игровых, циклических и силовых видов спорта, однако их количественная выраженность зависела от вида стимуляции. Электрическое стимуляционное воздействие на разные отделы спинного мозга и периферические нервы приводило к большей генерализации процессов возбуждения в данных структурах нервной системы, чем магнитное.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- доказаны положения, вносящие вклад в расширение представлений об особенностях пластичности корковых и спинальных отделов ЦНС и нервно-мышечного аппарата у спортсменов, адаптированных к двигательной деятельности различной направленности;

- применительно к проблематике диссертации эффективно, с получением обладающих новизной результатов, использован комплекс методов для изучения на примере видов спорта (пауэрлифтинга, бега на короткие, средние и длинные дистанции, баскетбола) функциональных свойств нейромоторной системы, что имеет важное теоретическое значение для современной физиологии движений, поскольку позволяет оценивать

функциональное состояние центральных нервных и нервно-мышечных структур при занятиях различными видами спортивной деятельности;

- изложены аргументы в пользу наличия связи специфических пластических перестроек в кортикальных, спинальных и нервно-мышечных структурах с направленностью спортивной деятельности.

Практическая значимость работы. Показано, что транскраниальная магнитная стимуляция, магнитный и электрический виды стимуляционного воздействия на спинной мозг и периферические нервы дополняют спектр высокоинформативных методов комплексной диагностики функциональных свойств моторных зон коры головного мозга, сегментов спинного мозга и периферических нервов, иннервирующих мышцы верхних и нижних конечностей, у спортсменов различных специализаций и нетренированных лиц.

Методические подходы и полученные данные рекомендуется использовать в тренировочном процессе спортсменов в качестве дополнительных критериев медико-биологического контроля подготовки к соревнованиям и для изучения направленного воздействия разных видов спортивной тренировки на функционирование нейромоторной системы.

Легитимность исследования. Протоколы исследований одобрены комиссией по биоэтике ФГБОУ ВО «Великолукская государственная академия физической культуры и спорта» (Протокол №3 от 01.10.2015 г.).

Методология и методы исследования. Методологическую основу диссертационного исследования составили теория управления движениями (Н.А. Бернштейн, 1966); системный подход и теория функциональных систем П.К. Анохина (1975); представления об организации двигательных путей (Николлс, Мартин, Валлас, 2008) и функциях ЦНС в ходе управления позой и движениями (Дж. Дудел, И. Рюэгг, Р. Шмидт, В. Яниг, 1985).

Методы исследования: метод магнитной стимуляции моторной коры головного мозга, спинного мозга и периферических нервов; метод чрескожной электрической стимуляции спинного мозга; метод

электрической стимуляции периферических нервов; метод стимуляционной электромиографии. Статистическая обработка данных осуществлялась при использовании программного пакета «STATISTICA 10.0» (Statsoft Inc, USA, 2010).

Положения, выносимые на защиту:

1. Функциональное состояние моторной системы спортсменов, оцениваемое с применением методов магнитной и электрической стимуляции, характеризуется более высокой возбудимостью и проводящей способностью кортико-спинального тракта и периферических нервов скелетных мышц по сравнению с нетренированными лицами.

2. Направленность многолетней спортивной деятельности определяет выраженность признаков пластичности кортико-спинальных и периферических нервных структур, осуществляющих двигательный контроль и иннервацию скелетных мышц. Наибольшая их выраженность обнаружена у спортсменов, систематически выполняющих циклическую работу на выносливость в режиме большой мощности, а также силовые ациклические и скоростные циклические нагрузки высокой мощности по сравнению с атлетами, адаптированными к мышечной деятельности переменной мощности с преимущественно ациклической структурой движений и циклической работе субмаксимальной мощности.

3. У спортсменов с учетом специфики их спортивной деятельности при магнитной и электрической стимуляции спинного мозга и периферических нервов обнаружены однонаправленные изменения значений параметров вызванных моторных ответов, однако их количественная выраженность зависела от вида стимуляционного воздействия.

Степень достоверности и апробация работы. Достоверность результатов исследования подтверждается значительным объемом обработанного материала с применением адекватных методов статистического анализа данных, публикацией результатов работы в рецензируемых научных изданиях и представлением на конференциях

разного уровня: VI Российской с международным участием конференции по управлению движением «Motor Control-2016» (Казань, 2016); Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Проблемы функциональных состояний и адаптации в спорте» (Санкт-Петербург, 2016); VIII Международной научно-практической конференции «Физическое воспитание, спорт, физическая реабилитация и рекреация: проблемы и перспективы развития» (Красноярск, 2018); IX Всероссийской с международным участием конференции с элементами научной школы по физиологии мышц и мышечной деятельности, посвященной памяти Е.Е. Никольского «Новые подходы к изучению классических проблем» (Москва, 2019); Международной научно-практической конференции «Формирование и развитие новой парадигмы науки в эпоху постиндустриального общества» (Магнитогорск, 2025); Международной научно-практической конференции «Теоретические и практические основы научного прогресса в современном обществе» (Челябинск, 2025); X Российской с международным участием конференции по управлению движением (Казань, 2025).

Апробация диссертационного исследования состоялась 28.03.2024 г. на расширенном заседании кафедр физиологии и спортивной медицины и естественно-научных дисциплин ФГБОУ ВО «ВЛГАФК» (протокол № 7).

Внедрение. Полученные результаты используются при реализации дисциплин направлений подготовки 49.03.01 Физическая культура, 49.04.03 Спорт и научной специальности 1.5.5 Физиология человека и животных в ФГБОУ ВО «ВЛГАФК» (акт внедрения от 01.09.2023 г.), а также в научно-исследовательской работе лаборатории «Физиология нервной и мышечной систем» на базе НИИ проблем спорта и оздоровительной физической культуры ФГБОУ ВО «ВЛГАФК» (акт внедрения от 01.09.2023 г.).

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа изложена на 160 страницах печатного текста, состоит из введения, четырех глав, выводов, практических рекомендаций, списка сокращений и списка литературы. Содержание диссертации дополнено 5 приложениями. Работа

содержит 27 рисунков и 1 таблицу. Библиография включает 266 источников (103 отечественных и 163 иностранных).

Личное участие автора в получении результатов. Автор лично выполнял сбор, анализ и обработку полученных данных. Совместно с руководителем работы сформированы выводы диссертации, подготовлены научные публикации по исследуемой теме, текст диссертации и автореферата.

По теме диссертации опубликовано 22 печатных работы, в числе которых 1 монография, 2 статьи в журналах, индексируемых в базе Scopus, и 4 статьи в журналах, включенных в список ВАК РФ.

Соответствие паспорту научной специальности. Диссертация соответствует следующим областям паспорта специальности 1.5.5. - Физиология человека и животных, биологические науки:

2. ... интегративная организация физиологических функций.
4. Закономерности функционирования основных систем организма (нервной, ..., двигательной, ...) при различных состояниях организма.

ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 Структурно-функциональная организация кортико-спинального тракта и его роль в регуляции движений

Вопрос контроля движений является принципиальным для понимания природы и механизмов двигательного поведения человека. Первой научной концепцией о механизмах регуляции движений была теория рефлексорной деятельности мозга. И.П. Павлов, его ученики доказали, что движения запускаются разнообразными внешними сигналами и их комбинациями. Последовательно выполняемые движения складываются в двигательный стереотип, для вызова которого достаточно лишь первого сигнала. Факты о вариативности движений при стабильных условиях позволили дополнить представления о жестком двигательном стереотипе рефлексов понятием «динамический». Следовательно, двигательные действия в стандартных условиях выполняются стереотипно, но при изменении условий те же действия реализуются с несколько иными временными и амплитудными параметрами. Однако рефлексорная теория не объясняла конкретные механизмы регуляции движений.

Значительным вкладом в изучение механизмов и принципов управления движениями являются представления Н.А. Бернштейна (1966). В частности, в результате детальных биомеханических исследований он сделал вывод о невозможности точного управления движением путем использования только заранее составленных команд и сформулировал представление о непрерывных, сенсорных коррекциях (исправления структуры в ходе самого движения) как необходимом элементе регуляции целенаправленного двигательного действия.

Н.А. Бернштейн выдвинул идею об иерархической многоуровневой организации управления произвольными движениями. Он считал, что управляющие сигналы перерабатываются одновременно или поэтапно на разных уровнях ЦНС. На каждом из этих уровней решаются двигательные

задачи различной координационной сложности. Ведущим уровнем для конкретных движений является тот, на котором возможна реализация решающих в смысловом отношении коррекций. В соответствии с концепцией о многоуровневой иерархии системы управления постулируется, что чем выше ведущий уровень регуляции, тем более выражена степень осознаваемости и степень произвольности двигательного действия (Бернштейн, 1966).

В регуляции произвольных движений существенное значение отводилось и афферентным системам. Согласно концепции о кольцевом регулировании, сенсорные системы двигательного аппарата передают информацию о состоянии мышц и сочленений, в то время как сигналы от зрительной и слуховой систем используются для оценки направления, расстояния от объекта воздействия - внешней стороне координации. На рисунке 1 представлена схема рефлекторного кольца (по Н.А. Бернштейну). Концепция Н.А. Бернштейна состояла в опровержении принципа рефлекторной дуги как механизма организации движений и замене его принципом рефлекторного кольца, которое фиксирует факт регуляции и контроля всех отправлений организма по принципу обратной связи на основе непрерывного потока афферентной сигнализации контрольного и коррекционного назначения.

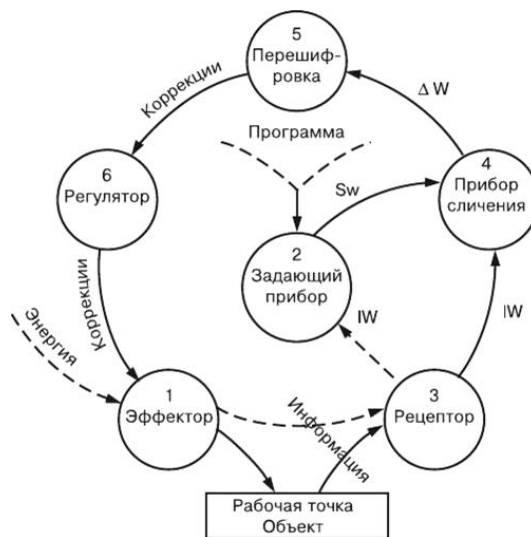


Рисунок 1 – Схема рефлекторного кольца по Н.А. Бернштейну. Представлено с изменениями по Бернштейну, 1966.

Для объяснения механизмов целостного поведения П.К. Анохиным (1975) разработана теория функциональных систем. Поскольку двигательные действия являются компонентом целостного поведения человека, то эта теория применима и для анализа управления движениями человека. Вне зависимости от сложности своей организации и количества составляющих их компонентов любые функциональные системы имеют одни и те же узловые механизмы (Рисунок 2).

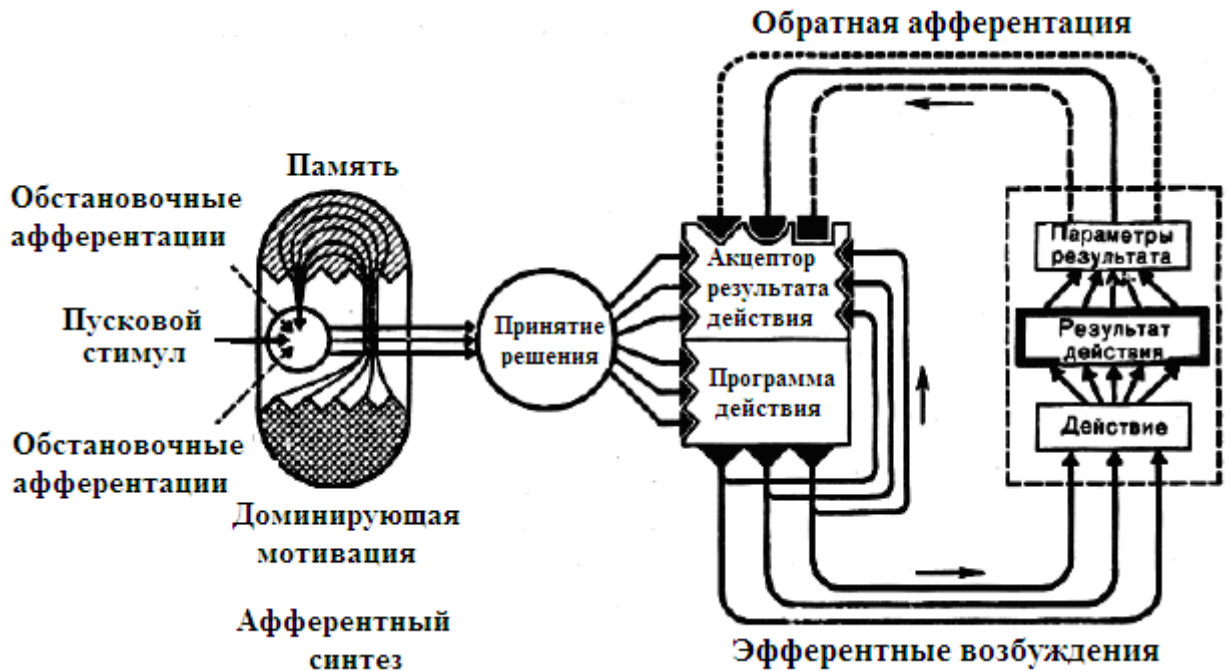


Рисунок 2 - Общая архитектура функциональной системы.
Представлено с изменениями по Анохину, 1975.

Согласно архитектуры функциональной системы, к механизмам, лежащим в основе структуры произвольного двигательного действия любой степени сложности, относятся (Рисунок 2): 1) афферентный синтез; 2) стадии принятия решения; 3) формирование акцептора результата действия; 4) формирование конкретной программы самого действия; 5) осуществление действия; 6) достижение результата; 7) обратная афферентация о параметрах полученного результата и сравнение его с ранее сформированной моделью результата в акцепторе результата действия.

Двигательные действия регулируются и контролируются нервной системой. В зависимости от сложности выполняемого движения ведущая роль принадлежит той или иной структуре нервной системы. Рисунок 3 схематически обобщает функции ЦНС в ходе управления позой и движением согласно представлениям Дж. Дудела, И. Рюзга, Р. Шмидта, В. Янига о функциональной организации двигательной системы (1985).



Примечание. Важнейшие двигательные структуры и их основные взаимосвязи указаны в левом столбике. Для простоты все чувствительные пути объединены вместе (кружок слева). В среднем столбике перечислены самые главные функции, обнаруженные при раздельном изучении каждой из этих структур. В правом столбике указано, каким образом эти функции связаны с возникновением и выполнением движения. Базальные ганглии и мозжечок расположены на одном уровне, а двигательная кора участвует в превращении программы движения в его осуществление.

Рисунок 3 - Общая схема функциональной организации двигательной системы. Представлено с изменениями по Дж. Дуделу и др., 1985.

Весьма существенна роль двигательных отделов головного мозга в согласовании работы мышц через соответствующие моторные нейрональные

контуры спинного мозга (Асанума Хироши, 2007; Николлс и др., 2008; Latash, Zatsiorsky, 2015). Выделяются две группы нисходящих путей от супраспинальных структур: медиальную и латеральную. Медиальная группа включает вестибуло-спинальный и ретикуло-спинальный тракты, которые иннервируют мышцы туловища, плечевого и тазового поясов, обеспечивают регуляцию мышечного тонуса и осуществление позотонических реакций. К латеральной группе относят кортико-спинальный и кортико-красноядерно-спинальный тракты, которые в основном иннервируют мышцы дистальных отделов конечностей и обеспечивают выполнение тонких движений кисти и стопы (Шаповалов, 1975; Yang et al., 2015).

Важнейшим нейрональным путем в моторной системе человека является кортико-спинальный или пирамидный тракт - анатомо-функциональное образование, включающее в себя корковые моторные связи (так называемые корковые нейрональные контуры), сегментарные интернейроны и спинальные альфа-мотонейроны (α -МН), контролирующие произвольные движения человека (Carpaday et al., 1999; Фомин, Селяев, 2011; Lohia, McKenzie, 2024). Около 40% волокон КСТ начинаются от нейронов, расположенных в зоне двигательной коры – цитоархитектоническом поле 4 по Бродману, расположенному в прецентральной извилине. Двигательную кору называют первичной моторной корой (или областью). Первичная моторная кора характеризуется низкими электрическими и магнитными порогом возбуждения. Нейроны, иннервирующие глотку и гортань, расположены в нижней части 4-го цитоархитектонического поля Бродмана. Затем в восходящем порядке следуют нейроны к мышцам лица, рук, туловища и ног (Дуус, 1997). Таким образом, тела нейронов, осуществляющие иннервацию отдельных мышечных групп, имеют расположение, обратное расположению частей человеческого тела.

Корковые нейроны располагаются не только в поле 4 – они имеются и в соседних кортикальных полях, например, в поле 6, которое получило название «вторичная моторная кора» (A. Lohia, J. McKenzie, 2024). В нем

различают дополнительную моторную область (медиальная часть) и премоторную кору (латеральная часть). Основная масса верхних нейронов расположена в V кортикальном слое цитоархитектонического поля 4 (Malcolm, 2003). Эти клетки называются гигантскими пирамидальными (гигантопирамидальными), или клетками Беца, дающими быстропроводящие аксоны с толстой миелиновой оболочкой (Дуус, 1997; Королев, 2013). Из 1 млн аксонов КСТ, которые проходят в пирамидах продолговатого мозга, на долю клеток Беца приходится лишь 3,4-4,0%. Примерно половина волокон КСТ начинается от мелких пирамидных или веретенообразных клеток первичной двигательной коры (поле 4), остальные нейроны находятся главным образом в дополнительном двигательном поле 6, а также в первичной соматосенсорной коре (поля 3, 1 и 2) и верхней теменной доле (поля 5 и 7) (Дуус, 1997; Никитин, Куренков, 2003; Lohia, McKenzie, 2024). Стимуляция поля 4 индуцирует общие движения отдельных мышц, в то время как стимуляция поля 6 вызывает более сложные движения, такие как движения всей руки или ноги (Дуус, 1997). В последнее время получены данные о ведущей роли поля 6 в качестве ассоциативного, участвующего в подготовке и реализации движения, особенно если ранее оно было разучено. Особенностью двигательных областей коры является то, что площадь каждой из них зависит не от массы мышц, а от сложности и тонкости выполняемой функции. Особенно велика площадь двигательной области кисти и пальцев верхней конечности, в частности большого, а также губ, языка (Ермолаева и др., 2014).

Нейроны пирамидной корково-спинномозговой системы человека разделяют на две подсистемы: быструю (фазическую) и медленную (тоническую). Первая контролирует быстрые рефлекторные движения, а вторая – обеспечивает регуляцию тонуса мышц и позотонических установок. Эфферентная импульсация КСТ оказывает не только «пусковое» влияние на МН, но и обеспечивает текущую регуляцию интернейронов спинного мозга посредством облегчения необходимых для данного момента рефлекторных

механизмов или их торможения в случае ненужности. Следовательно, КСТ одновременно регулирует работу МН, интернейронов и проприоцептивных афферентных каналов, организуя их взаимодействие в соответствии с задачами текущего момента (Шаповалов, 1975; Николлс и др., 2008; Kilavik et al., 2014; Latash, Zatsiorsky, 2015).

Двигательные корковые поля имеют прямые связи с МН и вставочными нейронами спинного мозга через КСТ и поддерживают не прямые контакты с нижними нейронами через нисходящие пути ствола головного мозга (Malcolm, 2003), особенно с помощью РКСП. На рисунке 4 схематично представлены сведения о прямых и перекрещенных кортико-спинальных путях и их основной роли в функционировании нейромышечной системы.

Периферический двигательный нейрон образован МН передних рогов спинного мозга и двигательными ядрами черепно-мозговых нервов, а также их аксонами, достигающими мышцы-исполнители через передние корешки, спинальные нервы, сплетения, периферические или черепные нервы. Каждый МН иннервирует несколько мышечных волокон, которые образуют «двигательную единицу» (ДЕ). Большие α -МН передают возбуждающий и трофический импульс на быстро сокращающиеся ДЕ, а малые α -МН – на медленно сокращающиеся (тонические) ДЕ, γ -МН посылают нервный импульс на мышечные веретена. Постоянная импульсация от γ -МН на мышечные веретена является необходимым условием для поддержания мышечного тонуса.

Волокна кортико-спинального пути (КСП), покинув двигательную кору, проходят через белое вещество в составе лучистого венца и сходятся в области заднего бедра внутренней капсулы. В компактном виде они проходят в соматотопическом порядке внутреннюю капсулу и вступают в среднюю часть ножек мозга. Здесь они представляют собой компактный пучок, опускающийся в центр основания каждой из половин моста, окруженный множеством нейронов ядер моста и волокнами различных систем. На уровне перехода моста в продолговатый мозг пирамидные пути становятся заметными снаружи и формируют удлинённые перевернутые пирамиды по обе стороны от передней средней линии (П. Дуус, 1997; С.С. Никитин, А.Л. Куренков, 2003). На границе продолговатого и спинного мозга около 80% кортико-спинальных волокон переходит на противоположную сторону, а меньшая продолжает идти по своей стороне

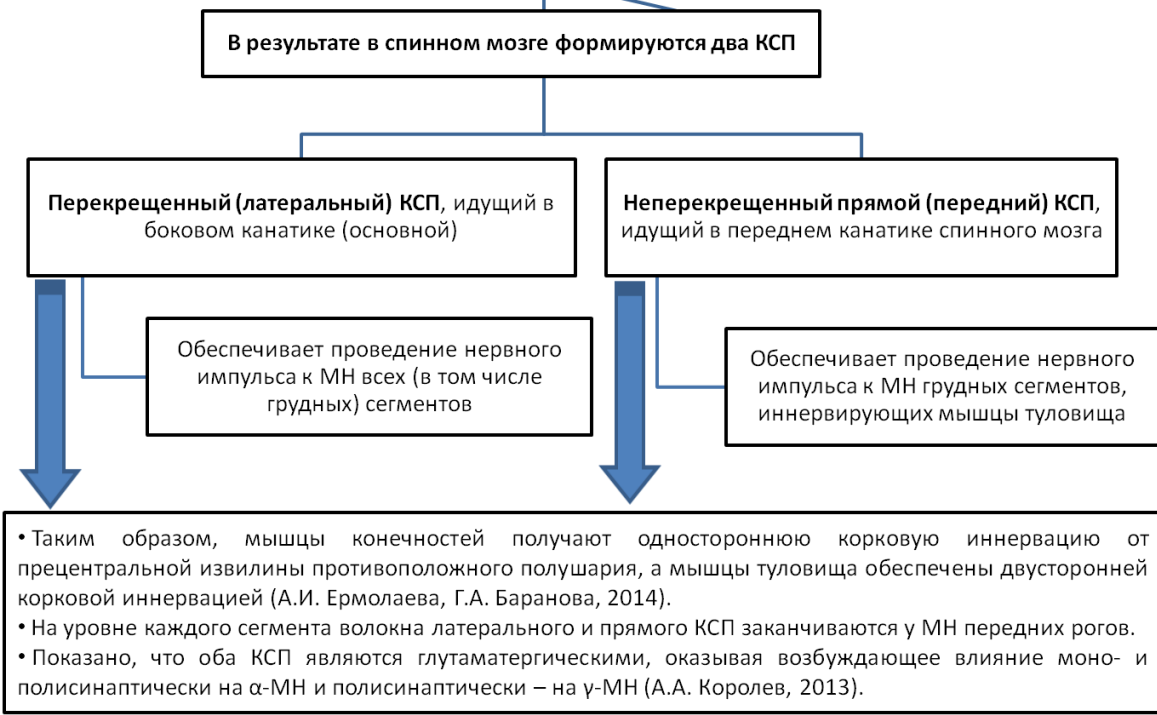


Рисунок 4 - Кортико-спинальные пути и их роль в функционировании нейромышечного аппарата. Представлено с изменениями по Дуус, 1997; Никитину, Куренкову, 2003; Королеву, 2013; Ермолаеву, Баранову, 2014.

Таким образом, периферический двигательный нейрон реализуется через эфферентную часть сегментарных рефлекторных дуг спинальных рефлексов, выполняет тонотропную и трофотропную функции. Центральный двигательный нейрон, заканчиваясь на α - и γ -МН, регулирует эти сегментарные двигательные функции (Ермолаева, Баранова, 2014).

Интернейроны, входящие в состав полисинаптической цепи, играют первостепенную роль в определении характера импульса к МН – конечному общему пути. В связи с этим интернейроны могут рассматриваться по отношению к МН как еще один, более высокий уровень регуляции его активности. Интернейроны при этом получают импульсацию не только от двигательной коры, ствола мозга и лимбической системы, но и от афферентных периферических нервов. Эти клетки согласуют интегральные действия мышц-синергистов и тормозят работу мышц-антагонистов, регулируя их совместную деятельность, контролируют защитные и позные рефлексы, опосредуют стереотипные поведенческие реакции, а также в определенной степени обеспечивают реализацию высококодифференцированных движений (Young, 1994; Николлс и др., 2008; Королев, 2013).

Интернейроны могут также контролировать контрлатеральный моторный пул. Разновидность интернейронов – клетки Реншоу, которые регулируют возбудимость α -МН с помощью отрицательной обратной связи, используя такие тормозные нейротрансмиттеры, как глицин и, возможно, таурин (Alexander, Crutcher, 1990; Николлс и др., 2008; Королев, 2013). Мышечные сокращения – это конечный результат сложной иерархической организованной системы двигательного контроля, изучение которого важно для понимания механизмов формирования двигательного акта в норме и при патологии (Королев, 2013). Некоторые сведения о функции КСТ у человека отражены схематично на рисунке 5.

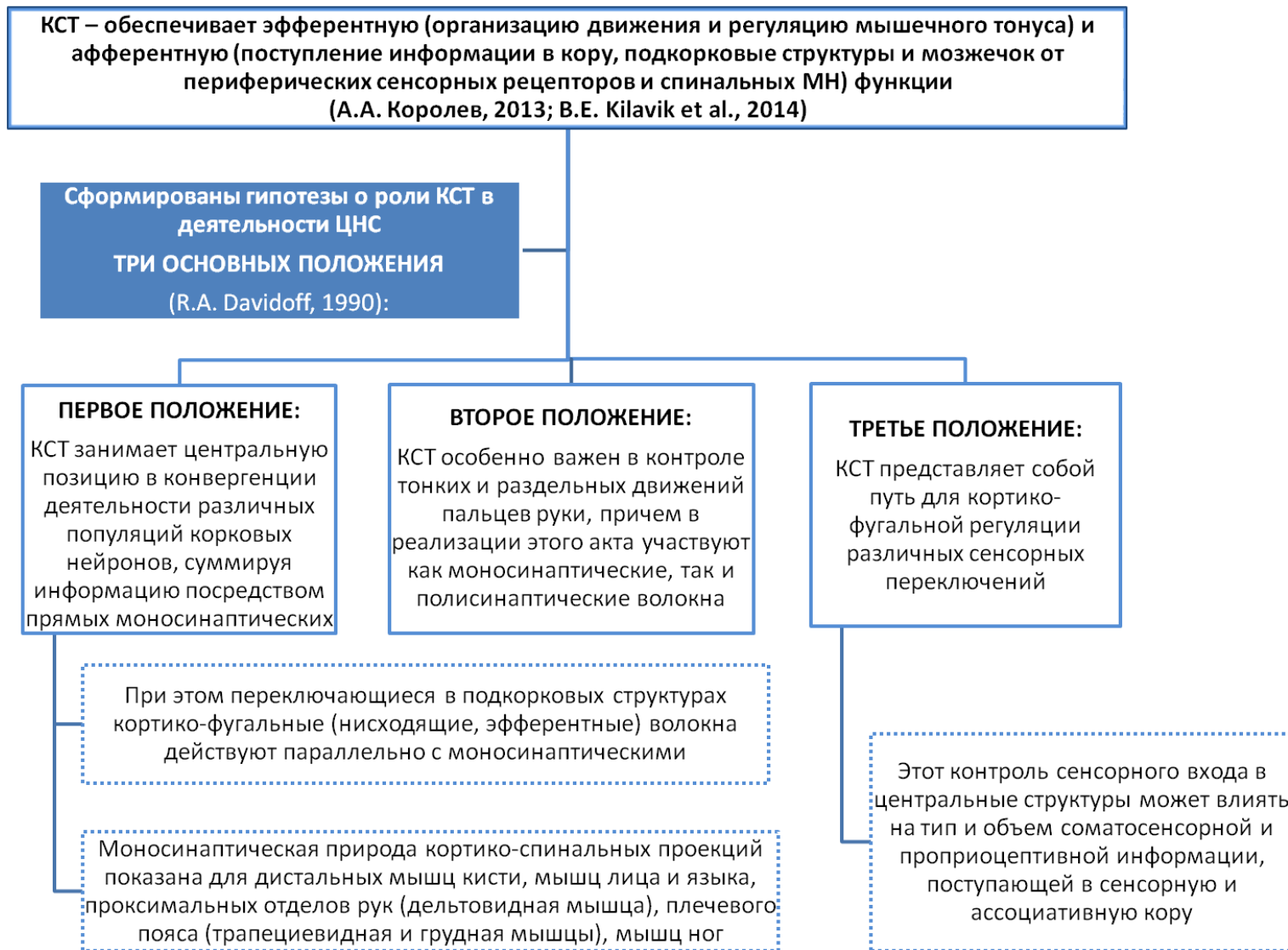


Рисунок 5 - Роль КСТ в деятельности ЦНС.

Представлено с изменениями по Davidoff, 1990; Королеву, 2013; Kilavik et al., 2014.

1.2 Нейропластические изменения на корковом и спинальном уровнях под влиянием двигательной активности

Нервная система играет важнейшую роль в процессе взаимодействия между живыми организмами и средой их обитания. В основе такого взаимодействия лежит способность нервной системы приобретать, хранить и воспроизводить информацию о прошлом опыте. Нервная система рассматривается как ведущая интегрирующая система организма, обеспечивающая высшие психические функции: сознание, память, мышление и регулирующая функциональный статус органов и систем. Эти и другие возможности обеспечиваются благодаря такому свойству нервной системы как пластичность (Ланская, 2014).

Существуют различные определения пластичности. Например, в словаре физиологических терминов под общей редакцией академика О.Г. Газенко (1987) пластичность применительно к ЦНС интерпретируется как способность нервных элементов к перестройке функциональных свойств под влиянием длительных внешних воздействий или при очаговых повреждениях нервной ткани. Е.И. Гусев, П.Р. Камчатнов (2004) интерпретируют пластичность как способность нервной ткани изменять структурно-функциональную организацию под влиянием экзогенных и эндогенных факторов. Именно это качество обеспечивает ее адаптацию и эффективную деятельность в условиях изменяющейся внешней и внутренней среды.

Нейропластичность представляет собой совокупность различных процессов ремоделирования нейронно-глиального комплекса (реорганизация корковых полей, рекрутинг, синаптогенез, нейрогенез, спрутинг), направленных на оптимизацию функционирования нейрональных сетей (Edgerton et al., 2004) и имеет 2 профиля (Рисунок 6).

Любые регулирующие церебральные воздействия на деятельность органов и тканей возможны благодаря нейропластичности. Она регулирует

лабильность, гомеостаз, нейротрофику, обмен веществ и различные приспособительные реакции организма (Odawara et al., 2016).

Для описания изменений в ЦНС, ассоциированных с двигательной активностью, используется термин «зависящая от двигательной активности пластичность» (Tahayori, Koseja, 2012; Ланская, Ланская, 2015 (б)). Такие зависящие от двигательной активности изменения случаются повсеместно в ЦНС; связи между головным мозгом и спинальными нейронами, соединения между чувствительными нейронами и МН спинного мозга, изменения аксональной скорости проведения, а также размеров самих МН, их устойчивости к входным сигналам показывают значительную реорганизацию в ответ на движение и активацию (Tahayori, Koseja, 2012).

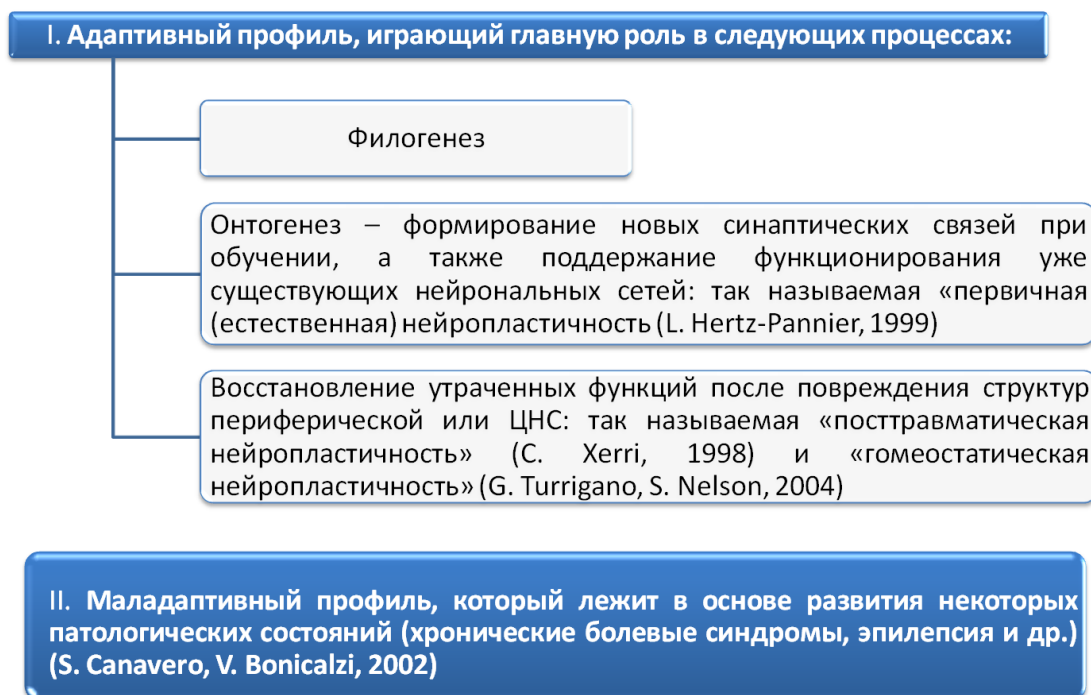


Рисунок 6 - Профили нейропластичности.

Представлено с изменениями по Xerri, 1998; Hertz-Pannier, 1999; Canavero, Bonicalzi, 2002; Turrigano, Nelson, 2004.

При этом разные отделы ЦНС обладают различным нейропластическим потенциалом. Так, кора головного мозга считается наиболее пластичной частью ЦНС, что обусловлено многообразием составляющих ее клеточных элементов и их связей. Отмечается, что

корковая нейрональная пластичность является одним из основных источников компенсаторных изменений в системе моторного контроля как у развивающихся и взрослых животных, так и человека (Вольнова, 2003).

Различают быструю и медленную нейропластичность. Первая обычно наступает при острых стрессовых ситуациях. В ее основе лежит активация в коре головного мозга ранее не задействованных горизонтальных связей и изменение синаптической передачи. При этом облегчаются процессы нейропластичности вследствие глутаматергических NMDA-рецепторов, которым отводится особая роль в регуляции нейрональной возбудимости и синаптической пластичности, а также норадренергических, дофаминергических и серотонинергических рецепторов. В случае активации тормозных ГАМК-А-рецепторов наступает снижение интенсивности нейропластичности (Butefisch, 2004; Гусев, Крыжановский, 2009). Физиологическое значение синаптической пластичности и ее формы представлены схематично на рисунке 7.

Пластичность нейронных цепей необходима для развития интегративных функций нервной системы. Зависящая от времени всплеска пластичность - это биологический процесс, который регулирует силу связей между нейронами в мозге. Процесс регулирует силу соединения на основе относительной синхронизации выходных и входных потенциалов действия конкретного нейрона (или всплесков). Признание важности временного порядка пре- и постсинаптических всплесков в возникновении стойких модификаций синаптической эффективности, возбудимости нейронов и дендритной интеграции привело к новому пониманию функциональной пластичности нейронных цепей. Включение этих клеточных изменений в реалистичные модели цепей стало важным шагом в понимании нейронной основы высших когнитивных функций, таких как обучение и память (Dan Poо, 2004).

Исключительно важную роль в реализации процессов пластичности играют нейротрофины, модулирующие структуру дендритов и плотность

синапсов, принимая, тем самым, участие в процессах созревания нормального мозга и реализации обучения (Rosamora et al., 1996), а также хемокины, внесинаптическая нейротрансмиссия (Bajetto et al., 2002). Особенности строения дендритного древа нейронов коры больших полушарий определяются сложностью выполняемых ими задач, характером и интенсивностью нагрузок. Нейронные ансамбли соматосенсорной зоны коры, обеспечивающие деятельность пальцев кисти, имеют более сложное строение, чем нейроны, связанные с мускулатурой туловища. Различия максимальны в случае, когда трудовая деятельность связана с тонкими дифференцированными движениями кисти (машинопись, работа с тонкими инструментами). В процессе обучения тонким движениям в моторной коре обнаруживаются синаптогенез, увеличение ветвления дендритов и числа шипиков, экспрессия fos-генов, выполняющих ряд важных функций, связанных с клеточной дифференцировкой, пролиферацией, а также с целым рядом стрессовых реакций, увеличение содержания белка в нейронах и усиление внутрикорковых горизонтальных связей в слоях II-III (Иоффе, 2005).

В результате ряда исследований было, например, зафиксировано увеличение возбудимости моторной коры и расширение моторного представительства работающих мышц рук и ног при многократном повторении движений при формировании навыка (Perez et al., 2004; Latash, 2008). Показано, что произвольные мышечные сокращения вызывают относительно быстрое (в течение нескольких минут после нагрузки), но непродолжительное (5-10 минут) расширение коркового представительства и увеличение корковой возбудимости активной мышцы (Perez et al., 2004). Одновременно с изменениями коркового представительства скелетных мышц, повторение стереотипных движений сопровождается кодированием их элементов в первичной моторной коре, а также в других областях головного мозга, участвующих в создании двигательной памяти (Stefan et al., 2005).

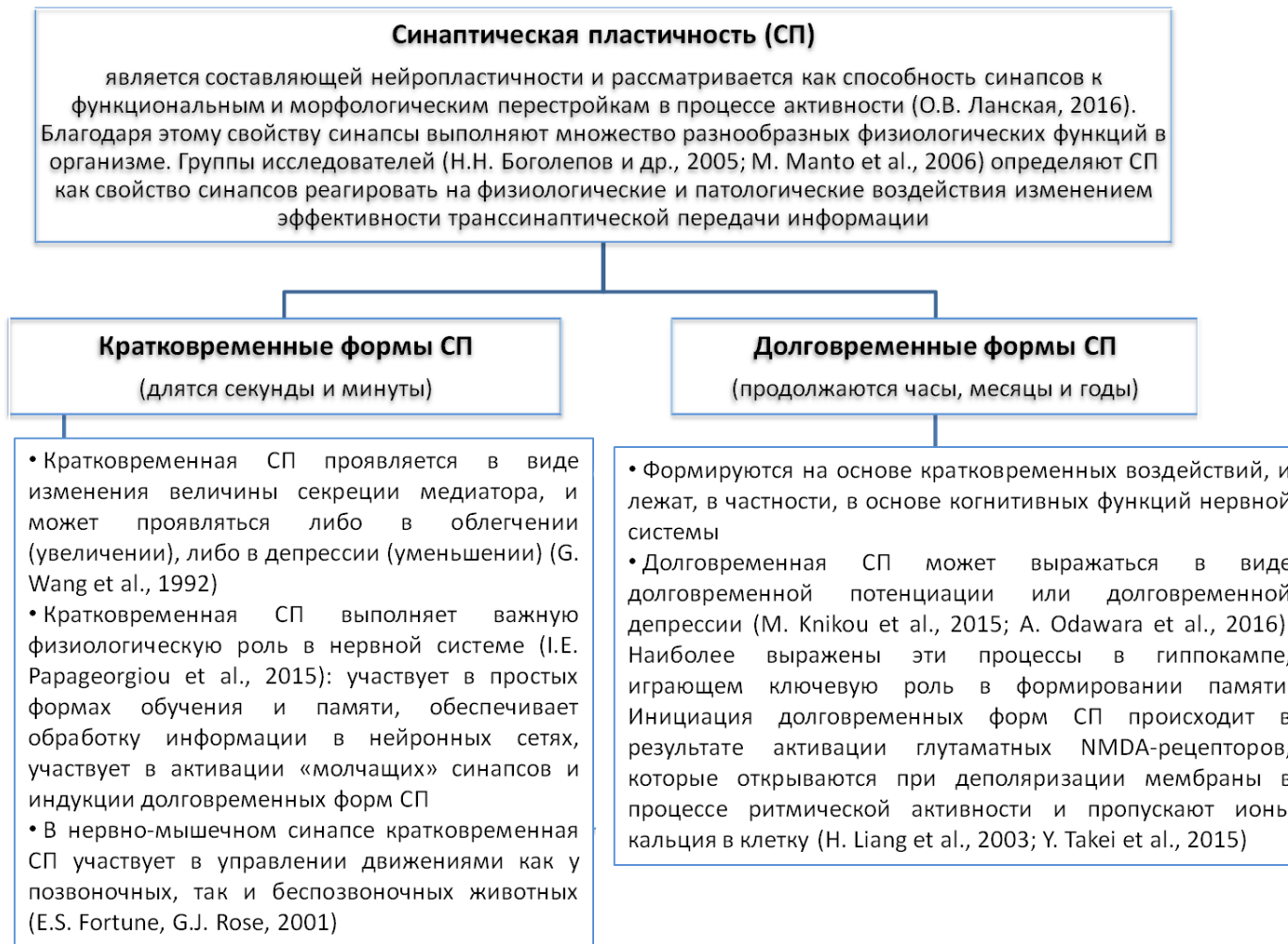


Рисунок 7 - Формы синаптической пластичности.

Представлено с изменениями по Wang et al., 1992; Fortune et al., 2001; Liang et al., 2003; Боголепову и др., 2005; Manto et al., 2006; Knikou et al., 2015; Parageorgiou et al., 2015; Takei et al., 2015; Ланской, 2016; Odawara et al., 2016.

Однако, несмотря на продолжительную тренировку, корковое представление активной скелетной мышцы уменьшалось после полного овладения двигательным умением, что связывает его больше с процессом двигательного обучения, чем с совершенствованием навыка (Pascual-Leone et al., 1999).

Литературные данные о том, является ли расширение моторного представления активных мышц в коре головного мозга после многократных тренировок временным или постоянным, достаточно противоречивы. Некоторые исследователи говорят о том, что это временное явление (Carroll et al., 2002; Jensen, 2005), другие авторы утверждают, что постоянное (Elbert, 1995; Gaser, Schlaug, 2003; Rosenkranz et al., 2007). В результате ряда исследований было установлено увеличение размера двигательного нейронального представления мышц кисти при интенсивной тренировке пальцев на пианино (Pascual-Leone et al., 1995), а также у лиц, играющих на струнных музыкальных инструментах (Elbert et al., 1995), расширение сенсомоторной зоны коры «считывающего» пальца у слепых, пользующихся методом Брайля (Pascual-Leone et al., 1993; Lissek et al., 2009), причем вовлеченная зона коры варьировала в зависимости от интенсивности нагрузок (Pascual-Leone et al., 1994). В то же время перерыв в чтении слепым методом всего на два дня приводит к тому, что корковое представление «считывающего» пальца начинает уменьшаться (Pascual-Leone et al., 1995 A; Lissek et al., 2009). Динамичность корковой пластичности проявлялась также и тем, что «карты» первичной сенсорной коры у слепых людей менялись в зависимости от частоты использования пальца и продолжительности чтения (Sadato et al., 1998). Аналогичные результаты получены при оценке влияния наложения иммобилизирующих гипсовых повязок. Оказалось, что даже кратковременная иммобилизация отдельных мышц конечностей приводит к уменьшению области их коркового представления (Liepert et al., 1995; Lissek et al., 2009). Было также показано (Pearce et al., 2000), что у высококвалифицированных теннисистов

размер площади коркового представительства ведущей руки больше, чем у нетренированных лиц, при этом успешное освоение новых движений ведущей рукой оказывало положительное влияние на другую конечность. По некоторым данным (Perez et al., 2004; Nielsen, 2004), в основе этих явлений лежат характерные изменения механизмов интракортикального ГАМК-эргического торможения, а также межполушарные транскаллозальные взаимодействия.

При реализации движения нейропластичность проявляется в различных мозговых структурах, например, таламусе (Раева, 2009; Седов и др., 2009). Отмечается также, что существуют две распределенные системы, вовлеченные в двигательное обучение. Одна из них включает мозжечок, а другая базальные ганглии (Рисунок 3). Они по-разному активируются на разных этапах обучения в зависимости от формы обучения – адаптация к меняющимся условиям среды, например, слежение при непредсказуемой траектории объекта или формирование новой жесткой последовательности движений - новой координации. Согласно этой точке зрения, при обучении определенной последовательности движений (новой координации) на первых этапах обучения активируется система, включающая мозжечок, а при закреплении навыка – система, включающая стриатум, и ряд корковых областей (Иоффе, 2005).

Под влиянием повышенного режима двигательной деятельности происходят определенные функциональные и морфологические перестройки не только в головном, но и в спинном мозге, лежащие в основе пластических изменений в ЦНС. Помимо того, что спинной мозг является довольно консервативной структурой, он обладает существенной пластичностью, причём проявление её обнаруживается даже у взрослых индивидуумов. Пластические перестройки возникают локально в структурах спинного мозга, а также проявляются через нисходящий контроль. Это видоизменяет функционирование спинномозговых цепей, позволяя улучшить движения в соответствии с требованиями спортивного тренинга (Ланская и др., 2015).

Так, ряд работ доказывает, что зависящие от двигательной активности изменения в нервной системе не ограничиваются исключительно периодом развития и продолжают существовать в течение всего жизненного периода в спинном (Wolpaw, Tennissen, 2000) и головном (Butz et al., 2009) мозге. ЦНС взрослого человека также подвержена пластическим изменениям во время обучения новым двигательным навыкам, которые сохраняются длительный период времени. Наоборот, утрата нервной системы пластичности с возрастом связана со снижением специфических двигательных способностей индивидуума. Например, снижение эластичности (гибкости) и адаптивности спинальных рефлексов, как было показано в ряде исследований, значительно коррелирует с риском падения и нарушениями постурального контроля (Romero, Stelmach, 2003; Sturnieks et al., 2008), что требует поиска путей восстановления адаптивной способности нервной системы и определенной стратегии неврологической реабилитации (Tahayori, Koseja, 2012).

В литературе часто обсуждается вопрос о центральном и периферическом вкладе в индукцию пластичности в спинном мозге. Считается, что существенные изменения в спинномозговых путях в ответ на длительное выполнение упражнений или приобретение новых двигательных навыков происходят на фоне уменьшения нисходящей входной информации (Tahayori, Koseja, 2012). Ряд исследований показал, что крысы даже с частично поперечно рассечённым спинным мозгом при интактном КСТ остаются способными произвольно повышать и снижать Н-рефлекс (Xiang et al., 2002), а, например, спинализированные коты в состоянии решать функциональные задачи, несмотря на хронический дефицит нисходящего драйва (Мусяенко и др., 2005; Barrière et al., 2010). Такие задаче-зависимые модуляции в сегментарных рефлексах наблюдались также и у людей с повреждением спинного мозга (Du et al., 2010). К настоящему времени проведено малое количество исследований с участием здоровых лиц, которые могли бы тщательно выявить изменения в спинномозговых путях, независимые от нисходящего драйва. Одна очевидная причина, почему

существует такое недостаточное количество подобной информации, состоит в том, что достаточно трудно отдифференцировать роль нисходящих и периферических входов в спинном мозге. Возможно, что определенный паттерн сенсорного входа (который генерирован специфической задачей) может запускать пластические изменения в спинном мозге без вовлечения нисходящего драйва (Meunier et al., 2007; Tahayori, D.M. Koseja, 2012).

В ряде фундаментальных исследований с использованием животных моделей продемонстрированы патологические изменения в скелетной мускулатуре, развивающиеся вследствие травмы спинного мозга (Хайруллин и др., 2024). У взрослых людей, обезьян и крыс освоение новых навыков ассоциируется с временными и постоянными изменениями в спинном мозге, и такие изменения активно исследуются посредством рефлекса растяжения или Н-рефлекса. В результате исследования электромиографических параметров Н-рефлекса и М-ответа изучено функциональное состояние центральных и периферических структур нервно-мышечного аппарата крысы в условиях моделируемой гипогравитации и постгипогравитационной реадaptации (Зайцева и др., 2021). Хорошо известно существование кратковременных задаче-зависимых модуляций спинальных рефлексов, и эти модуляции не предполагают никакого немедленного структурного или долговременного функционального изменения в спинномозговых цепях. Превалирующим представлением является то, что синаптическая сила изменяется в зависимости от специфики выполняемой задачи. Однако осуществление такой же задачи или стимулирование такого же пути в течение продолжительного периода времени (день или год) может результироваться в долговременные структурные изменения в спинномозговых цепях. Можно привести пример из спортивной деятельности рефлекторной регуляции у танцоров – амплитуда Н-рефлекса у них существенно ниже, чем в среднем в популяции (Ryder et al., 2010). По-видимому, такие долговременные изменения могут фактически менять вклад КСТ в модуляцию сегментарных входов во время хорошо отработанного

движения с уменьшением влияния периферического входа, идущего от мышечных веретён (Tahayori, Koceja, 2012). В свою очередь, ряд экспериментальных исследований на животных показал, что перерезка КСТ до или во время фазы обучения предотвращает развитие долговременных пластических изменений (Xiang et al., 2002; Chen et al., 2003).

Известно, что при рождении КСТ создает синапсы как с задними (дорзальными), так и с передними (вентральными) зонами спинного мозга. Однако, в период развития соединения между КСТ и передними (вентральными) нейронами сокращаются. Сокращение синапсов выглядит как совокупность, которая зависит от активации как контра-, так и ипсилатерального КСТ (Tahayori, Koceja, 2012). У человека (Eyre, 2003), также как у обезьян (Galea, I. Darian-Smith, 1994) и мышей (Uematsu et al., 1996) КСТ создает синаптические связи с контра- и ипсилатеральными спинальными МН, но в процессе нормального развития ЦНС большинство связей с ипсилатеральной стороны элиминирует. Удаление головного мозга у млекопитающих во время ранних стадий постнатальной жизни предотвращает элиминацию (угасание) связей КСТ с ипсилатеральными МН (Eyre, 2003). Такое поддержание ипсилатеральных проекций от КСТ, вызванное повреждением, сочетается с гипертрофией мозгового вещества с неповрежденной стороны (Uematsu et al., 1996).

Наряду с экспериментами на животных такие же находки были обнаружены у человека. Так, в период новорожденности нанесение ТМС на головной мозг вызывает билатеральные двигательные ответы мышц конечностей с почти одинаковой амплитудой, но с меньшей задержкой с ипсилатеральной стороны. Исследование больных с мозговой парализацией (непрогрессирующее поражение эмбрионального или младенческого мозга (Вах et al., 2005) продемонстрировало такие же нарушения, которые наблюдались и у животных. У таких пациентов билатеральный паттерн иннервации спинальных МН от головного мозга сохраняется и не элиминирует в период взросления (Carr et al., 1993). Таким образом,

недостаток ремоделирования и выборочного сокращения связей КСТ может частично объяснить, почему у детей с церебральной парализацией тонически не снижается амплитуда Н-рефлекса во время ходьбы (Hodapp et al., 2007). У детей с двусторонней (диплегической) церебральной парализацией КСТ с обеих сторон подвергаются патологическому воздействию. У таких детей ритмические модуляции Н-рефлекса во время ходьбы, которые, как известно, регулируются на спинальном уровне, сохраняются, но тоническая депрессия Н-рефлекса, которая, как предполагается, связана напрямую с супраспинальными центрами, компрометирована. Следовательно, центрально управляемые модуляции Н-рефлекса у таких детей поражены (Hodapp et al., 2007). Это один из примеров, который позволяет понять, каким образом, лежащие в основе механизмы оказывают влияние на специфику поведения в построении движений у лиц с двигательными дисфункциями.

Таким образом, литературные сведения доказывают, что под влиянием целенаправленной двигательной деятельности происходят преобразования в функционировании корковых и спинномозговых нейрональных структур. Кроме того, поток сенсорной информации, поступающей в ЦНС от скелетных мышц в процессе выполнения физических нагрузок (особенно длительных), несомненно, оказывает воздействие на управление двигательной активностью (Солодков, 2000; Городничев, 2005; Городничев и др., 2008). В ходе систематического воздействия центральные структуры специфически модулируют прохождение сигналов по нейронным цепям и нисходящим проводящим путям головного и спинного мозга, и, как результат, реализацию движения. Нейрональные перестройки на кортикальном и спинальном уровнях ЦНС позволяют двигательной системе лиц, адаптированных к систематической мышечной деятельности, более адекватно реагировать на возрастающую нагрузку и быть оптимально настроенной на выполнение поставленных моторных задач (Фомин, Селяев, 2011).

1.3 Методы изучения кортико-спинального тракта и нейропластичности, вызванной физической нагрузкой

В последние десятилетия появилась возможность исследования функционирования и нейропластичности КСТ человека в норме и при патологических состояниях благодаря современным электрофизиологическим и радиологическим методам. К числу наиболее перспективных методов относятся транскраниальная магнитная стимуляция (ТМС) и такие современные модальности магнитно-резонансной томографии (МРТ), как диффузионно-тензорная и функциональная МРТ (Sollmann et al., 2018; Белова и др., 2020; Dubbioso et al., 2021). Для изучения КСТ исследователи нередко комбинируют методы ТМС, диффузионно-тензорной и функциональной МРТ (Jang et al., 2019).

Диффузионно-тензорная МРТ позволяет количественно и качественно оценивать микроструктуру проводящих путей головного мозга (Левашкина и др., 2016; Rajagopalan, Pioro, 2017; Sarica et al., 2019). Функциональная МРТ - метод, позволяющий визуализировать изменения функциональной активности зон головного мозга, различающихся степенью оксигенации (насыщения кислородом) крови (Савелова, 2017; Белова и др., 2020). ТМС – метод, основанный на стимуляции моторных зон коры головного мозга переменным магнитным полем и регистрации мышечных ответов на стимуляцию с помощью электромиографии (Dubbioso et al., 2021; Betti et al., 2022). В недавних своих исследованиях Е.М. Gordon с коллегами (2023) провели точное картирование с применением функциональной МРТ для составления карты функциональной организации моторной коры человеческого мозга. В последние годы на основе ТМС также появились технологии, позволяющие неинвазивно картировать представления моторных зон. С применением методов МРТ и ТМС проведен целый ряд исследований для картирования различных функциональных отделов КСТ и изучения коркового контроля движений верхних и нижних конечностей у

здоровых людей и при неврологических расстройствах (Volz et al., 2015; Weiss Lucas et al., 2016; Morris et al., 2019; Manning et al., 2020; Dubbioso et al., 2021; Kim et al., 2020, 2021). В обзорных статьях (Бакулин и др., 2020; Пойдашева и др., 2022) представлен подробный анализ публикаций, посвященных обсуждению основных методологических аспектов проведения ТМС-картирования моторной коры, исследовательского и клинического значения данного метода.

Для изучения особенностей функционального взаимодействия между структурами моторной коры и нижележащими нейрональными образованиями спинного мозга (в норме и после различных заболеваний и травм, в том числе для восстановления двигательной активности и нейрональной пластичности) активно применяются методы магнитной (Saha et al., 2022; Xue et al., 2023) и электрической стимуляции (Gerasimenko et al., 2015; Hofstoetter, 2015, 2018, 2020; Seáñez, Capogrosso, 2021), а также их сочетание (парная ассоциативная стимуляция (ПАС)) (Dixon, 2016; Al'joboori et al., 2021; Pulverenti et al., 2021). В экспериментальных исследованиях (Dixon, 2016; Al'joboori et al., 2021) убедительно доказано, что характер функционального взаимодействия между нейронами моторной коры и спинного мозга может быть подвержен целенаправленному двунаправленному изменению с помощью метода ПАС в результате запуска процессов нейрональной пластичности, зависящей от времени спайка. Указанный метод строится на многократном низкочастотном (менее 1 Гц) сопряжении одиночных импульсов ТМС первичной моторной коры и чрескожной электрической стимуляции задних корешков спинного мозга таким образом, что вызванные потенциалы от названных структур поступают на пулы спинальных мотонейронов (МН) одновременно или с определенной контролируемой задержкой (Al'joboori et al., 2021).

Произвольные движения скелетных мышц человека и вызванные моторные ответы (ВМО) на корковую электрическую или магнитную стимуляцию реализуются при нисходящем проведении возбуждающего

импульса по нервным волокнам, которые начинаются от корковых (верхних) нейронов и спускаются к двигательным МН передних рогов спинного мозга (периферическим или нижним МН) (Lohia, McKenzie, 2024). Эти нисходящие волокна формируют КСТ. ТМС позволяет не только оценивать верхнюю и нижнюю составляющие КСТ, но также анализировать функциональные взаимоотношения корковых нейронов и сегментарных рефлекторных контуров, активируемых при участии кортико-спинальных путей (Caraday et al., 1999; Auriat et al., 2015; Taube et al., 2015; Knikou et al., 2015; Dubbioso et al., 2021; Betti et al., 2022).

Корковая стимуляция с использованием переменного магнитного поля является одной из самых физиологичных методик, так как ТМС возбуждает именно те корковые нейроны, которые первыми активируются при совершении произвольного движения (Никитин, Куренков, 2003; Guirroni, Pucha, 2009; Костенкова, Старикова, 2014; Betti et al., 2022). ТМС может быть использована для оценки нейропластичности, вызванной физической нагрузкой (Пухов и др., 2017; Smith et al., 2018; Mellow et al., 2020; Clos et al., 2021; Turco, Nelson, 2021). Исследования кортикоспинальных механизмов возбуждения и торможения с помощью ТМС доказали надежность данного метода для оценки состояния мозга и нейромышечных изменений, связанных со спорт-ассоциированными сотрясениями головного мозга или регулярными ударами по голове, у представителей контактных видов спорта (Di Virgilio et al., 2022). Метод ТМС широко применяется для исследования атлетов за рубежом, но в нашей стране для этой категории испытуемых пока используется редко.

В отличие от ТМС, позволяющей изучать исключительно механизмы функционирования верхней составляющей КСТ, магнитная и электрическая стимуляция спинного мозга дают возможность исследовать его нижнюю составляющую и наряду с методами электро- и магнитной стимуляции периферических нервов оценивать функциональное состояние его периферической части в норме и при патологии (Ланская, Андриянова, 2014;

Андрянова, Ланская, 2014; Ланская и др., 2015). Установлено, что чрескожная электрическая стимуляция шейного отдела спинного мозга может быть эффективным методом активации нейронных сетей спинного мозга, способных модулировать постуральный контроль (Bikchentaeva et al., 2024). Следует отметить, что нейрофизиологическая организация системы постурального контроля динамична, зависит от сложности задания, визуализации и тренированности (Бердичевская, 2024). При этом утомление может быть причиной снижения постуральной устойчивости у спортсменов (Тришин и др., 2024).

Стимуляционная электронейромиография (ЭНМГ) достаточно часто применяется специалистами в спортивной практике в качестве средства диагностики функционального состояния нервно-мышечного аппарата (НМА) спортсменов (Арифудин, 2005; Власова, 2016; Корягина, Роголева, 2018; Ширинова, Попова, 2021; Мельников и др., 2024 (б)). Данные ЭНМГ позволяют исследовать особенности нервно-мышечной передачи, формируемые в результате длительной спортивной подготовки путем анализа параметров моторного ответа, регистрируемого с мышцы при стимуляции двигательного нерва (Спирьянов, Марычев, 2018).

Метод электромиографии (ЭМГ) – исследование биоэлектрической активности мышц и параметров нервно-мышечной передачи, которое позволяет получить объективные данные о функциональном состоянии НМА в покое, а также изучить его функциональные изменения при физических нагрузках (Власова и др., 2016; Иконникова и др., 2024; Мельников и др., 2024). Существуют разные методики проведения ЭМГ-исследования. «Золотым стандартом» ЭМГ являются игольчатая и стимуляционная ЭМГ, поскольку они позволяют получить детальную информацию о малых объектах двигательной системы, таких как МН, мышечное волокно, синапс (Зарипова, Мейгал, 2018). Стимуляционный и поверхностный методы благодаря своей неинвазивности используются наиболее часто в изучении движения и диагностики двигательных нарушений (Мейгал, 2016; Зарипова,

Мейгал, 2018; Корягина, Роголева, 2018; Абуталимова и др., 2020). При этом стимуляционную ЭМГ целесообразно применять в покое для оценки функционального состояния НМА, а поверхностную (накожную) – при выполнении двигательных действий (Ципин, 2015; Джелдубаева, Туманянц, 2018). Разработка методики диагностики, включающая применение обоих способов проведения ЭМГ, дает исследователю возможность изучить особенности механизмов срочной и долговременной адаптации НМА спортсменов к физическим нагрузкам (Ципин и др., 2012; Vigotsky et al., 2018; Абуталимова, Нопин, 2021; Grzejszczak et al., 2024).

Резюмируя вышеизложенное, можно заключить, что применение методов магнитной и электрической стимуляции в практике спорта позволяет изучать особенности нейропластичности головного и спинного мозга под влиянием специфической мышечной деятельности и функционирования нервно-мышечного аппарата для выявления особенностей и механизмов развития адаптационных процессов в нейромоторной системе спортсменов.

ГЛАВА 2. ОРГАНИЗАЦИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Организация исследования

Исследования проводились в лаборатории нейрофизиологии научно-исследовательского института проблем спорта и оздоровительной физической культуры на базе ФГБОУ ВО «Великолукская государственная академия физической культуры и спорта». В исследованиях приняли участие действующие спортсмены мужского пола (члены сборной команды Псковской области в своем виде спорта), специализирующиеся в баскетболе (12 человек), пауэрлифтинге (10 человек), легкоатлетическом беге на короткие (10 человек, бег на 100 м), средние (10 человек, бег на 800 м) и длинные (10 человек, бег на 5 000 м) дистанции, имеющие спортивную квалификацию – I взрослый разряд, КМС. Стаж спортивной деятельности - 10-12 лет. Контрольную группу составили практически здоровые лица, не занимающиеся спортом (12 человек). Конкретные сведения о контингенте испытуемых представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Сведения о контингенте испытуемых (M±SD)

Группы испытуемых	Возраст (лет)	Длина тела (см)	Масса тела (кг)	Индекс массы тела
Бегуны-стайеры	23,07 ± 1,38	177,23±3,27	72,26±2,13	23,01±3,12
Бегуны на средние дистанции	21,43±2,58	176,33±2,84	72,3±2,20	23,21±1,33*
Бегуны-спринтеры	22,00 ± 1,80	171,2±2,89**	72,9±3,57	24,82±1,45*
Баскетболисты	20,50 ± 3,32	187,58±8,00	78,09±9,91	22,16±2,47
Пауэрлифтеры	22,35±1,69	170,4±2,80**	76,16±4,20	26,22±2,29**
Лица, не занимающиеся спортом	19,87±3,50	173,24±2,23*	69,11±3,90*	23,02±3,14

Примечание: достоверные отличия от баскетболистов при * - $p < 0,05$ и ** - $p < 0,01$. Различия между группами испытуемых оценивались с помощью однофакторного дисперсионного анализа ANOVA или Kruskal-Wallis test.

Обследовались только здоровые лица, которые на период исследований не имели острых и хронических заболеваний. Все спортсмены были обследованы на специально-подготовительном этапе подготовительного периода годового цикла спортивной тренировки. К исследованию привлекались только испытуемые-правши и ограничивались регистрацией ответов с ведущей руки и ноги. Литературные данные подтверждают, что абсолютному большинству спортсменов, независимо от специализации, присуще «правшество» сенсомоторных функций (Тришин и др., 2020). Каждый спортсмен, в день его участия в исследовании, был освобожден от тренировок. Все испытуемые получили подробную информацию по проводимым исследованиям и дали письменное согласие на участие в них в соответствии с Хельсинкской декларацией.

2.2 Методы исследования

На первом этапе исследований осуществлялись ТМС моторной коры головного мозга, магнитная стимуляция (МС) спинного мозга и МС периферических нервов. Для отведения и регистрации ВМО при магнитной стимуляции в состоянии покоя использовался 8-канальный электронейромиограф «Нейро-МВП-8» (ООО «Нейрософт», Россия, 2006). ТМС осуществлялась при помощи магнитного стимулятора «Magstim Rapid» (Magstim Company Ltd, Великобритания, 2007) (Barker et al., 1985; Гимранов, 2002; Никитин, Куренков, 2003). Для ТМС нами был использован сдвоенный угловой койл (Double Cone Coil) с мощностью магнитного поля 1,4 Т. При ТМС моторной коры мышц правой ноги центр сдвоенного койла располагали над vertex, а при ТМС проекции моторной коры мышц правой руки сдвоенный койл располагали более латерально на контрлатеральном от регистрируемой конечности полушарии, а именно - над левым полушарием со смещением примерно на 5-7 см латеральнее vertex вдоль линии, соединяющей наружный слуховой проход и vertex, - для регистрации ВМО с

мышц кисти и примерно на 2,5-5 см латеральнее vertex вдоль той же линии – для регистрации ВМО с мышц плеча и предплечья. Для минимизации скольжения койла по поверхности головы испытуемому надевали резиновую шапочку, плотно облегающую голову.

Для МС шейного утолщения спинного мозга и периферических нервов плечевого сплетения, иннервирующих мышцы плеча, предплечья и кисти, использовался плоский одинарный койл (Circular Coil) диаметром 70 мм с мощностью магнитного поля 2,6 Т, который сначала размещался по средней линии позвоночника на уровне позвонков С6-С7, а затем в точке Эрба. При стимуляции поясничного утолщения спинного мозга и периферических нервов, иннервирующих мышцы бедра, голени и стопы, также использовался плоский одинарный койл (Circular Coil) диаметром 70 мм с мощностью магнитного поля 2,6 Т, который размещался по средней линии позвоночника на уровне позвонков Т12-L1, а затем в области бедренного нерва (паховая складка; нерв иннервирует прямую мышцу бедра), большеберцового нерва (середина подколенной ямки; нерв иннервирует двуглавую мышцу бедра и камбаловидную мышцу), малоберцового нерва (латеральная часть подколенной ямки у головки малоберцовой кости; нерв иннервирует переднюю большеберцовую мышцу и короткий разгибатель пальцев), медиального подошвенного нерва (медиальная поверхность подошвы; нерв иннервирует короткий сгибатель пальцев стопы) (Рисунок 9). Следует отметить, что при МС большеберцового нерва ВМО регистрировался только с камбаловидной мышцы, тогда как у двуглавой мышцы бедра таковой отсутствовал, что, вероятно, связано с антидромным механизмом проведения возбуждения по нервному волокну при таком стимуляционном воздействии. Это, на наш взгляд, объясняет и отсутствие М-ответа двуглавой мышцы бедра при электрической стимуляции большеберцового нерва (описание методики регистрации М-ответа представлено ниже), так как прямой мышечный ответ (М-ответ) возникает в ответ на раздражение

периферического нерва вследствие ортодромного распространения возбуждения (Лившиц, 1990; Яфарова и др., 2008).

В случае стимуляции моторной коры верхних конечностей, уровня С6-С7 и периферических нервов плечевого сплетения ответы записывались с шести мышц правой руки: двуглавой и трехглавой мышц плеча; лучевого сгибателя и локтевого разгибателя кисти; длинной мышцы, отводящей большой палец кисти; короткого сгибателя большого пальца кисти. ВМО с мышц правой ноги (двуглавой и прямой мышц бедра, камбаловидной, передней большеберцовой, коротких сгибателя и разгибателя пальцев стопы) регистрировались при стимуляции моторной зоны коры нижних конечностей, уровня Т12-L1 и соответствующих периферических нервов.

Для получения ВМО с мышц верхней и нижней конечностей накожные отводящие электроды с межэлектродным расстоянием 2 см располагались биполярно в области двигательных точек указанных мышц. Активный электрод располагался в проекции двигательной точки мышцы, референтный – смещался от нее по ходу волокон к сухожилию. Протокол исследования состоял из 6 последовательных проб с интервалом отдыха между ними в 5 мин: 1) ТМС моторной зоны коры верхних конечностей, 2) ТМС моторной зоны коры нижних конечностей; 3) МС шейного утолщения спинного мозга; 4) МС периферических нервов верхней конечности; 5) МС поясничного утолщения спинного мозга; 6) МС периферических нервов нижней конечности. В начале каждой пробы измеряли порог ВМО исследуемых мышц. За пороговую величину принималась сила магнитной индукции (Т), вызывающая ВМО с амплитудой не менее 100 мкВ. Затем в каждой пробе, не меняя положения койла, проводили стимуляцию указанных зон с шагом увеличения интенсивности стимуляции 5% через 15 с до получения устойчиво воспроизводимого ВМО максимальной амплитуды. При анализе стимулирующего воздействия МС в состоянии мышечного покоя оценивались следующие параметры: величина порога возбуждения (порог измеряли в % от максимальной мощности магнитного стимулятора и в

абсолютных значениях – теслах (Т)), амплитуда (от пика до пика), латентность, длительность, форма ВМО и время центрального моторного проведения (ВЦМП). Зарегистрированные параметры ВМО исследуемых скелетных мышц обрабатывали в специальной компьютерной программе "Нейро-МВП".

На втором этапе исследований с тех же мышц правых верхней и нижней конечностей в состоянии мышечного покоя осуществлялась регистрация ВМО при чрескожной электрической стимуляции спинного мозга (ЧЭССМ), приложенной со стороны остистых отростков на уровнях С6-С7 (Abbruzzese et al., 1993; Sabbahi, Sengul, 2012; Андриянова, Ланская, 2014) и Т12-Л1 позвонков (Minassian et al., 2007; Courtine et al., 2007; Roy Francois et al., 2012), а также М-ответа при электростимуляции периферических нервов плечевого сплетения, бедра, голени и стопы (Бадалян, Скворцов, 1986; Зенков, Ронкин, 2004). Для отведения и регистрации ВМО при ЧЭССМ и М-ответов в состоянии покоя использовался 8-канальный электронейромиограф «Нейро-МВП-8» (ООО «Нейрософт», Россия, 2006). При ЧЭССМ активный стимулирующий гибкий дисковый электрод (катод) диаметром 30 мм из самоклеющейся токопроводящей резины (FIAB, Италия) располагался поочередно в двух точках по средней линии позвоночника на коже на уровне шейного (позвонки С6-С7) и поясничного (позвонки Т12-Л1) утолщений спинного мозга между остистыми отростками. Индифферентные кожные электроды (аноды) - гибкие пластины прямоугольной формы (45×80 мм), изготовленные из самоклеющейся токопроводящей резины (FIAB, Италия), - располагались симметрично на ключицах (при стимуляции на уровне С6-С7), либо на подвздошных гребнях тазовых костей (при стимуляции на уровне Т12-Л1 позвонков) (Городничев и др., 2012).

Регистрация М-ответов с мышц правой верхней конечности осуществлялась при электростимуляции периферических нервов плечевого сплетения в надключичной области (в точке Эрба) (расположение активного

стимулирующего электрода – в надключичной области, пассивного электрода – вверху лопаточной области, поверх кожи) (Бадалян, Скворцов, 1986; Зенков, Ронкин, 2004).

Регистрация М-ответов с мышц правой нижней конечности (за исключением двуглавой мышцы бедра, так как М-ответ с этой мышцы не регистрируется) осуществлялась при электростимуляции соответствующих периферических нервов: бедренного нерва (расположение активного стимулирующего электрода – паховая складка, локализация пассивного электрода – на противоположной стороне поверхности); большеберцового нерва (расположение активного стимулирующего электрода – середина подколенной ямки, локализация пассивного электрода – на противоположной стороне поверхности); малоберцового нерва (расположение активного стимулирующего электрода – латеральная часть подколенной ямки у головки малоберцовой кости, локализация пассивного электрода – на противоположной стороне поверхности); медиального подошвенного нерва (расположение активного стимулирующего электрода – медиальная поверхность подошвы стопы, локализация пассивного электрода – на противоположной стороне поверхности) (Бадалян, Скворцов, 1986; Зенков, Ронкин, 2004).

Протокол исследования состоял из 4 последовательных проб с интервалом отдыха между ними в 5 минут: 1) ЧЭССМ на уровне шейного утолщения; 2) регистрация М-ответа мышц верхней конечности; 3) ЧЭССМ на уровне поясничного утолщения; 4) регистрация М-ответа мышц нижней конечности. В начале каждой пробы измеряли порог ВМО и М-ответа исследуемых мышц. За пороговую величину принималась сила стимула, вызывающая мышечный ответ с амплитудой не менее 0,1 мВ. Затем в каждой пробе, не меняя положения катода, проводили стимуляцию указанных зон с шагом увеличения интенсивности стимуляции 5 мА до получения устойчиво воспроизводимого ответа мышцы максимальной амплитуды. Для регистрации ВМО и М-ответа наносили прямоугольные электрические

стимулы длительностью 1 мс и интенсивностью от 0 до 100 мА. С целью предотвращения следовых эффектов пауза между импульсами составляла не менее 15 с. Анализировались порог, амплитуда (от пика до пика), латентность и длительность ВМО при ЧЭССМ и М-ответов мышц правой верхней и нижней конечностей. Расстояние между отводящими электродами составляло 20 мм. Зарегистрированные параметры ВМО при ЧЭССМ и М-ответов исследуемых скелетных мышц обрабатывали в специальной компьютерной программе «Нейро-МВП».

Для точного наложения стимулирующих и отводящих электродов при повторных измерениях места их расположения маркировались. Испытуемые располагались в положении сидя (при ТМС), лежа на спине (при магнитной и электрической стимуляции периферических нервов плечевого сплетения, а также бедренного нерва), лежа на животе (при магнитной и электрической стимуляции шейного и поясничного утолщений спинного мозга, большеберцового, малоберцового и медиального подошвенного нервов) с вытянутыми ногами и свободно свисающими с края кушетки стопами.

Статистическая обработка результатов выполнена с использованием программного пакета «STATISTICA 10.0» (Statsoft Inc, USA, 2010). При описании количественных данных использовались расчётные показатели: М (Mean) – среднее арифметическое, SD (Standard Deviation) – стандартное отклонение. Для анализа межгрупповых различий использован параметрический критерий при нормальном распределении данных (однофакторный дисперсионный анализ ANOVA с post-hoc анализом Newman-Keuls) и непараметрический критерий Kruskal-Wallis test при ненормальном распределении данных. Анализ распределения признаков на нормальность проводили с помощью критериев Shapiro-Wilk's W test, а условие равенства дисперсий выборок проверяли по критерию Levene's test. Критическое значение уровня статистической значимости при проверке нулевых гипотез принималось равным 5% ($p = 0,05$).

ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В настоящее время методика магнитной стимуляции (МС) коры головного мозга, спинного мозга и периферических нервов является широко распространённой как в клинической практике, так и при исследовании здорового человека (Никитин, Куренков, 2003; Городничев и др., 2007; Goldsworthy et al., 2015; Sato et al., 2015; Knikou et al., 2015). Регистрация различных характеристик ВМО скелетных мышц позволяет объективно исследовать кортико-спинальные процессы возбуждения и торможения, проводниковую функцию и другие свойства моторных путей в покое и при мышечных нагрузках (Фомин, Селяев, 2011; Ланская, Ланская, 2017). Возможности МС позволяют изучать свойства нейрональной пластичности на различных уровнях организации ЦНС и особенности функциональных перестроек периферического звена нервно-мышечной системы в ответ на долговременную адаптацию к мышечной работе (Pearce et al., 2000; Judge et al., 2003; Adkins et al., 2006; Ross et al., 2007; Nielsen, Cohen, 2008).

В данной главе описываются результаты собственных исследований по изучению особенностей параметров ВМО, зарегистрированных при ТМС, МС спинного мозга и периферических нервов в группах атлетов, адаптированных к различным по направленности, структуре движений, интенсивности (мощности) и длительности мышечным нагрузкам, что позволит комплексно подойти к проблеме изучения механизмов пластичности двигательной системы, вариантов их формирования.

Применение МС коры головного мозга обеспечит изучение у различных групп атлетов особенностей функционального состояния кортико-спинального тракта - цепь «корковый нейрон - спинальный α -МН - периферические нервы - мышцы-мишени». МС сегментов спинного мозга с регистрацией ВМО позволит, в свою очередь, уточнить вклад нижней составляющей кортико-спинального тракта (спинальный α -МН - периферические нервы - мышцы), отделив его, таким образом,

функционально от верхней (корковый нейрон - спинальный α -МН). Это даст возможность проанализировать функциональные взаимоотношения корковых нейронов и сегментарных контуров кортико-спинального тракта. МС периферических нервов позволит определить особенности взаимодействия кортико-спинального и периферического уровней нервной системы, сформировавшиеся под влиянием многолетней разнонаправленной мышечной деятельности (Ланская и др., 2015).

Таким образом, результаты собственных исследований направлены на изучение механизмов пластичности центральных и периферических звеньев нейромоторной системы человека при адаптации к следующей мышечной деятельности:

- различающейся по режиму функционирования скелетных мышц при выполнении физической работы, направленной на приоритетное развитие различных двигательных качеств – быстроты, выносливости, ловкости, силы (различные дистанции легкоатлетического бега, игровая деятельность, силовые упражнения);

- различающейся по структуре движений - стандартной мышечной деятельности (стереотипные движения, с повторяющимся порядком действий) против нестандартной (ситуационные движения) (легкоатлетический бег и силовые упражнения против игровой деятельности);

- различающейся по общей кинематической характеристике - циклической против ациклической (последнюю можно также отнести к смешанной мышечной деятельности) (легкоатлетический бег против силовых упражнений и игровой деятельности); (пояснения - для циклической мышечной деятельности характерно многократное повторение стереотипных циклов движений с относительно постоянной мощностью и скоростью перемещения, к ациклической относится такая, на протяжении выполнения которой меняется характер двигательной активности и интенсивность выполняемой работы);

- различающейся по длительности - требующей в соревновательных условиях относительно длительного выполнения (часы), или средней длительности (до одного часа), или кратковременных усилий (различные дистанции легкоатлетического бега, игровая деятельность, силовые упражнения).

3.1 Анализ характеристик вызванных ответов мышц плеча, предплечья и кисти при магнитной стимуляции коры головного мозга, шейного утолщения спинного мозга и периферических нервов у спортсменов и нетренированных лиц

Для оценки процессов возбуждения и изучения особенностей проведения нисходящих импульсов к мышцам верхних конечностей проводили последовательную МС моторной зоны коры верхних конечностей, шейного утолщения спинного мозга и периферических нервов плечевого сплетения, иннервирующих мышцы плеча, предплечья и кисти, у представителей различных видов спорта (баскетболистов, пауэрлифтеров, легкоатлетов-бегунов на короткие, средние и длинные дистанции) и нетренированных лиц.

Первоначально нами оценивался порог возбуждения тестируемых мышц верхней конечности, который измеряли в % от выходной мощности магнитного стимулятора и в абсолютных значениях (Т) (приложение А). Результаты проведенного исследования показали, что пороги возбуждения проксимальных и дистальных мышц верхней конечности при стимуляции корковых зон (как в Т, так и в %) у лиц, не занимающихся спортом, были значительно выше, чем в группах спортсменов. При этом у бегунов на длинные дистанции пороги ВМО оказались более низкими, чем у спортсменов других обследованных групп. Более значимо они отличались от таковых, зарегистрированных у пауэрлифтеров, и менее значимо – от показателей баскетболистов и бегунов на короткие и средние дистанции. При МС шейных спинномозговых сегментов и периферических нервов

наблюдалась похожая картина у испытуемых шести обследованных групп (приложение А). Следует отметить, в некоторых случаях показатели данного параметра, зарегистрированные при МС различных структур нервной системы, у бегунов на короткие дистанции были приближены к таковым у пауэрлифтеров.

Рассматривая межмышечное взаимодействие, следует отметить, что внутри каждой обследованной группы различий в количественных показателях пороговых величин ВМО антагонистических мышц верхней конечности (например, агонист плеча – двуглавая мышца, антагонист – трехглавая мышца), полученных при ТМС, МС спинного мозга и периферии, не обнаружено. В связи с этим, на рисунке 8 (А, Б, В) представлены пороги ВМО только мышц-сгибателей плеча, предплечья и кисти (в % от выходной мощности стимулятора) у спортсменов и нетренированных лиц, зарегистрированные при МС различных структур нервной системы.

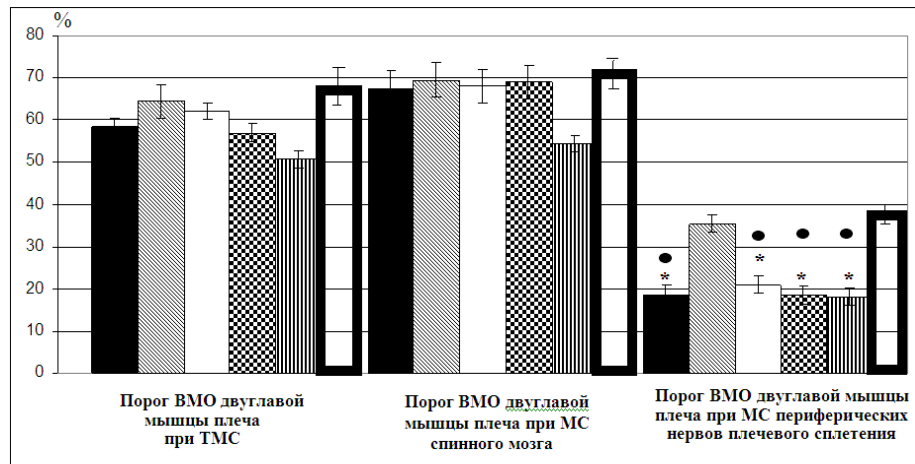
Так, пороговая величина коркового ВМО двуглавой мышцы плеча у стайеров составила $50,63 \pm 4,58\%$, которая оказалась меньше на 27,4%, чем у пауэрлифтеров ($64,50 \pm 5,34$; $p > 0,05$), на 22,5% в сравнении с бегунами на короткие дистанции ($62,00 \pm 3,11$; $p > 0,05$), а также ниже на 15,2% и 12,6%, чем у баскетболистов и бегунов на средние дистанции ($58,33 \pm 5,17$; $57,00 \pm 5,04$; $p > 0,05$). По сравнению со спортсменами величина этого параметра у нетренированных лиц была выше ($p > 0,05$) и составила в среднем по группе $67,87 \pm 6,13$ (Рисунок 8, А). При МС спинномозговых сегментов порог ВМО двуглавой мышцы плеча у бегунов на длинные дистанции в среднем по группе составил $54,38 \pm 3,04\%$, который оказался ниже соответствующих величин, зарегистрированных у спортсменов других групп. При этом порог сегментарного ВМО данной мышцы в группе нетренированных лиц был выше, чем у спортсменов, но достоверно значимых различий между обследованными группами не выявлено ($p > 0,05$) (Рисунок 8, А). При МС периферических нервов плечевого сплетения порог возбуждения данной мышцы плеча у пауэрлифтеров составил $35,50 \pm 2,23\%$ и был значительно

выше, чем у бегунов на длинные (разность составила 95,8%, $p=0,001$) и средние (разность составила 91,9%; $p=0,0007$) дистанции, а также у баскетболистов (разность составила 89,3%; $p=0,0002$) и спринтеров (разность составила 69,1%; $p=0,01$). Наибольшая величина данного параметра зарегистрирована у нетренированных лиц ($38,76\pm 1,40\%$), которая была значительно выше, чем у баскетболистов и легкоатлетов (Рисунок 8, А).

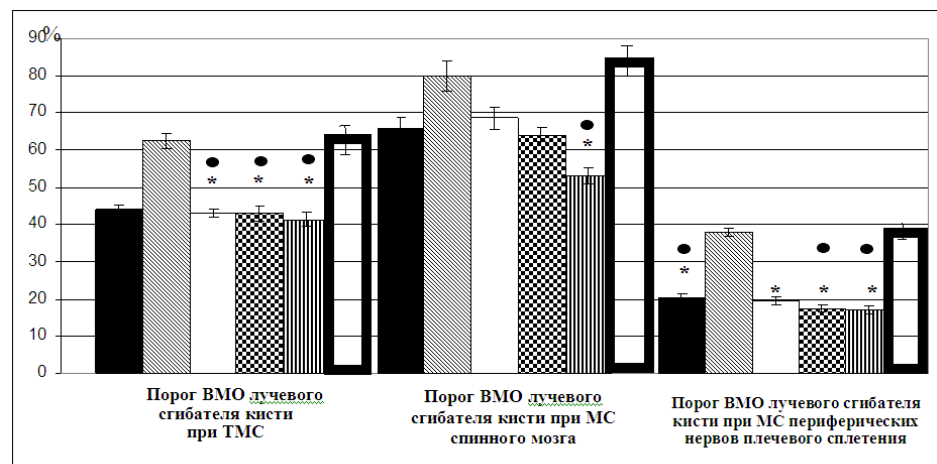
Анализируя рисунок 8 (Б и В) также можно заключить, что в группах спортсменов регистрировались более низкие показатели порогов возбуждения мышц предплечья и кисти, вызванные МС различных структур нервной системы, чем у нетренированных лиц. У пауэрлифтеров пороги ВМО в большинстве случаев были самыми высокими по сравнению с остальными спортсменами, а в некоторых случаях – у пауэрлифтеров и спринтеров они были практически одинаковыми и значительно превышали таковые у баскетболистов и бегунов на средние и длинные дистанции.

Так, например, на рисунке 8 (В) показано, что пороги ВМО короткого сгибателя большого пальца у пауэрлифтеров и спринтеров при МС спинного мозга составили соответственно $62,00\pm 7,46\%$ и $62,00\pm 7,37\%$, тогда как показатели данного параметра у баскетболистов, бегунов на средние и длинные дистанции составили в среднем по группам $59,17\pm 4,11\%$, $47,50\pm 3,64\%$ $40,00\pm 5,16\%$ ($p>0,05$).

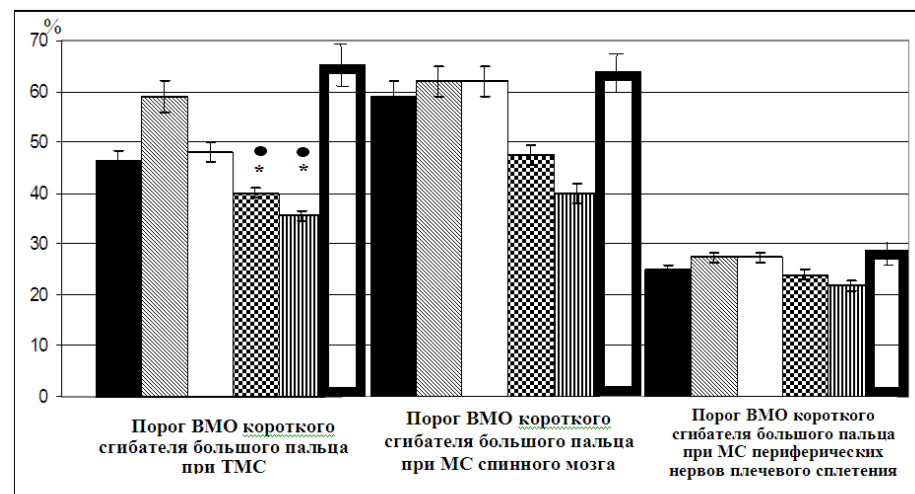
При МС периферии также было обнаружено, что пороговые величины ВМО короткого сгибателя большого пальца у пауэрлифтеров и спринтеров в среднем составили $27,50\pm 4,80\%$ и $27,50\pm 4,39\%$, а у баскетболистов и бегунов на средние и длинные дистанции величины данного параметра были ниже ($25,00\pm 4,36\%$; $24,00\pm 3,75\%$, $21,88\pm 0,98\%$ соответственно) ($p>0,05$) (Рисунок 8, В).



А



Б



В

Примечания.

1. Достоверные отличия от группы:

* - пауэрлифтеров

● - нетренированных лиц

2. Легенда к рисунку:

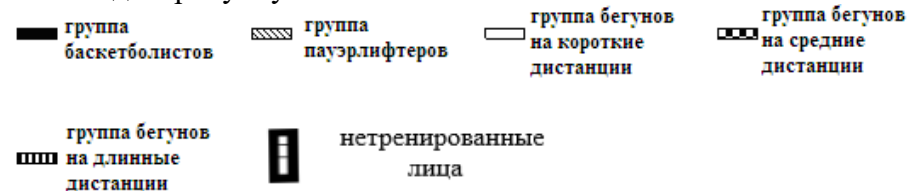
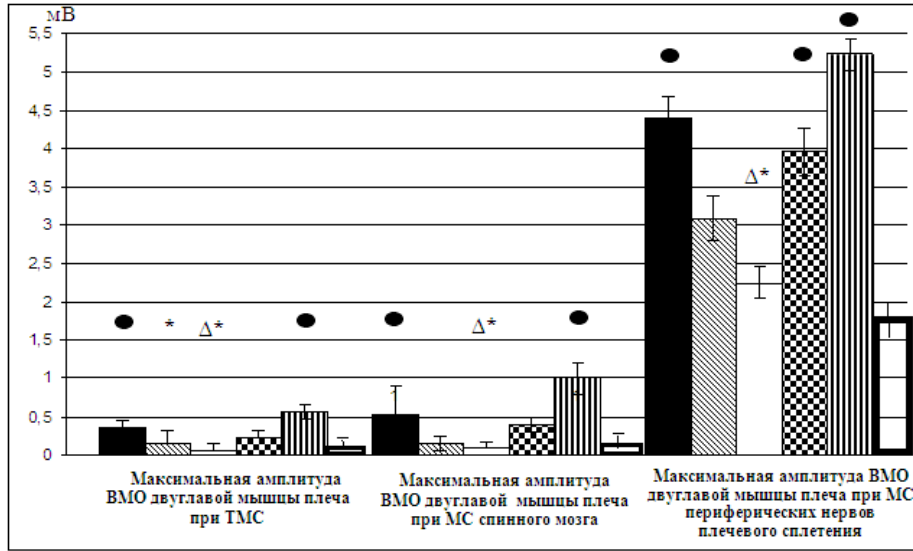


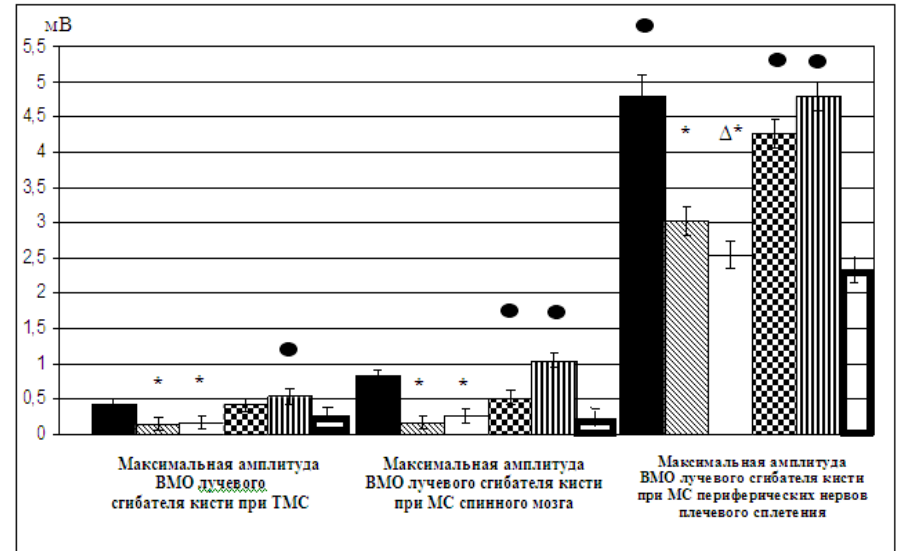
Рисунок 8 - Значения порогов ВМО мышц плеча, предплечья и кисти у спортсменов и нетренированных лиц при стимуляции различных структур нервной системы (в % от выходной мощности стимулятора)

Сопоставляя результаты исследований порогов ВМО мышц плеча, предплечья и кисти, находящихся на разном удалении от ЦНС, можно констатировать, что порог возбуждения мышцы, расположенной более дистально, значительно ниже, чем у проксимальной мышцы. Это наблюдается внутри каждой обследованной группы при МС корковых зон и спинномозговых сегментов. Выявлено также, что пороги возбуждения тестируемых мышц верхней конечности у испытуемых при стимуляции периферических нервов были значительно ниже, чем при ТМС и МС спинного мозга.

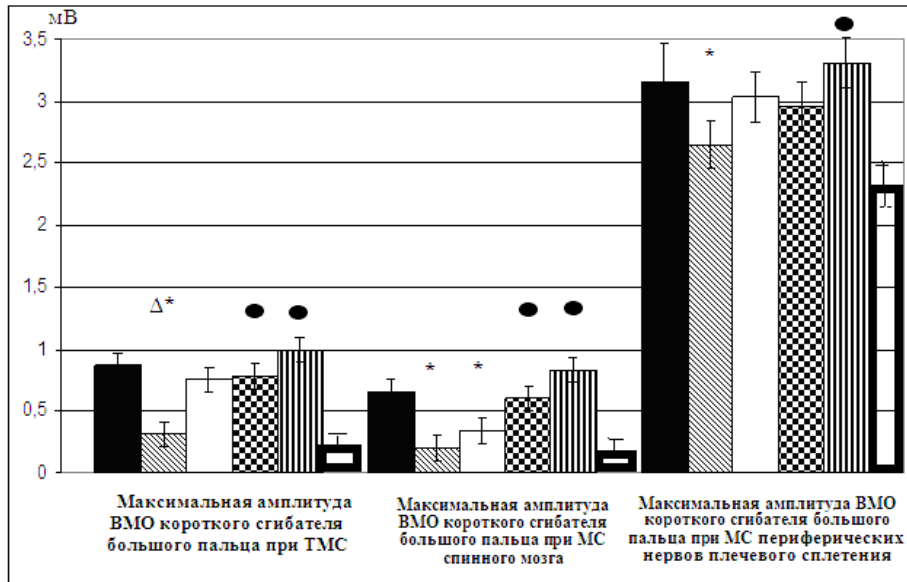
Установлено, что величины максимальной амплитуды ВМО мышц-сгибателей и разгибателей плеча, предплечья и кисти, зарегистрированные при стимуляции различных структур нервной системы, у представителей различных видов спорта были выше, чем у нетренированных лиц. В свою очередь, у легкоатлетов-бегунов на длинные дистанции они были самыми высокими по сравнению с остальными группами спортсменов (Рисунок 9; приложение А). При этом значения данного параметра у баскетболистов были несколько ниже, чем у стайеров, но выше, чем у других спортсменов. Наблюдается, что показатели максимальной амплитуды ВМО тестируемых мышц при ТМС, МС спинного мозга и периферических нервов у пауэрлифтеров и спринтеров были самыми низкими, при этом выявлены достоверные отличия между их величинами и соответствующими показателями, зарегистрированными у баскетболистов и бегунов на длинные дистанции (Рисунок 9; приложение А). Так как между значениями максимальной амплитуды ВМО антагонистических мышц верхней конечности существенных различий не обнаружено, то на рисунке 9 представлены результаты анализа амплитуды ВМО мышц-сгибателей верхней конечности в группах спортсменов и нетренированных лиц.



А



Б



В

Примечания.

- Достоверные отличия от группы:
 Δ - баскетболистов
 * - бегунов на длинные дистанции
 ● - нетренированных лиц

2. Легенда к рисунку:

- группа баскетболистов
- ▨ группа пауэрлифтеров
- группа бегунов на короткие дистанции
- ▣ группа бегунов на средние дистанции
- ▤ группа бегунов на длинные дистанции
- ▮ нетренированные лица

Рисунок 9 - Значения максимальной амплитуды ВМО мышц плеча, предплечья и кисти у спортсменов и нетренированных лиц при стимуляции различных структур нервной системы (мВ)

При рассмотрении величин максимальной амплитуды корковых и сегментарных ВМО были выявлены значительно меньшие их величины у проксимальных мышц по сравнению с дистальными. В качестве примера рассмотрим показатели максимальной амплитуды ВМО двуглавой мышцы плеча и короткого сгибателя большого пальца кисти внутри каждой обследованной группы, представленные на рисунке 9 (А и В). Так, различия в величинах максимальной амплитуды коркового ВМО для двуглавой мышцы плеча и короткого сгибателя большого пальца кисти в группах баскетболистов, пауэрлифтеров, бегунов на короткие, средние и длинные дистанции, нетренированных лиц составили соответственно 58,6% ($p=0,009$), 51,6% ($p=0,007$), 92,1% ($p=0,005$), 71,8% ($p=0,005$), 43% ($p=0,04$), 80,9% ($p=0,004$).

При МС спинного мозга различия между показателями этого параметра для обеих мышц плеча и кисти имелись, но они были статистически незначимыми ($p>0,05$). Выявлено, что наибольшие значения амплитуды были зафиксированы при МС периферических нервов плечевого сплетения, а при ТМС и МС шейного утолщения спинного мозга максимальная амплитуда ВМО тестируемых мышц плеча, предплечья и кисти была значительно ниже.

Установлено, что показатели длительности ВМО тестируемых мышц, зарегистрированные при МС различных структур нервной системы, у представителей различных видов спорта были ниже, чем у нетренированных лиц (приложение А). Анализируя показатели данного параметра в группах спортсменов, было установлено, что наименьшие величины данного параметра обнаружены у пауэрлифтеров и спринтеров, а наибольшие – у легкоатлетов-бегунов на длинные дистанции. Между данными группами спортсменов в ряде случаев обнаружены достоверные различия в величинах анализируемого параметра (приложение А). Длительность ВМО мышц верхней конечности при ТМС и МС спинного мозга и периферических нервов у баскетболистов и бегунов на средние дистанции была несколько выше, чем у пауэрлифтеров и спринтеров ($p>0,05$), но ниже, чем у стайеров

($p > 0,05$). Сравнительный анализ показателей длительности ВМО мышц-сгибателей и разгибателей плеча, предплечья и кисти не выявил существенных различий. Кроме того, значения длительности ВМО, зарегистрированные при стимуляции корковых, спинномозговых и периферических нервных структур, существенно между собой не отличались. Наряду с этим при стимуляции различных структур нервной системы длительность ВМО проксимально расположенных мышц верхней конечности достоверно не отличалась от таковой дистальных мышц (приложение А).

При МС корковых зон, спинного мозга и периферических нервов было установлено, что значения латентных периодов ВМО мышц плеча, предплечья и кисти между всеми группами испытуемых в большинстве случаев достоверно значимых отличий не имели ($p > 0,05$). Однако показатели данного параметра у представителей различных видов спорта были ниже, чем у нетренированных лиц. В свою очередь, у спортсменов, специализирующихся в пауэрлифтинге, легкоатлетическом беге на короткие дистанции и баскетболе, они были ниже соответствующих величин у бегунов на средние и длинные дистанции. При этом у стайеров значения латентных периодов ВМО тестируемых мышц, зарегистрированные при стимуляции различных участков нервной системы, превышали таковые у спортсменов других обследованных групп (приложение А).

Рисунок 10 демонстрирует значения данного параметра ВМО только проксимальных и дистальных мышц-сгибателей, зарегистрированные при стимуляции различных структур нервной системы, так как сравнительный анализ не выявил существенных различий между показателями латентности ВМО антагонистических тестируемых мышц верхней конечности.

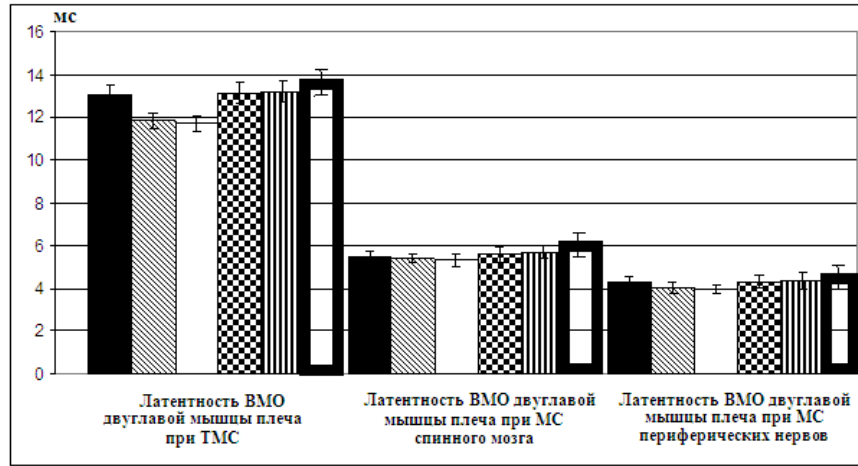
Установлено, что в сравнении с корковой стимуляцией латентные периоды сегментарных ВМО уменьшились на 50-60%, что вполне закономерно, поскольку расстояние, который должен пройти эфферентный нервный импульс от точки стимуляции до мышцы также значительно уменьшилось. При МС периферических нервов плечевого сплетения

регистрировались меньшие значения латентности ВМО по сравнению с корковыми и сегментарными структурами (Рисунок 10, А-В; приложение А).

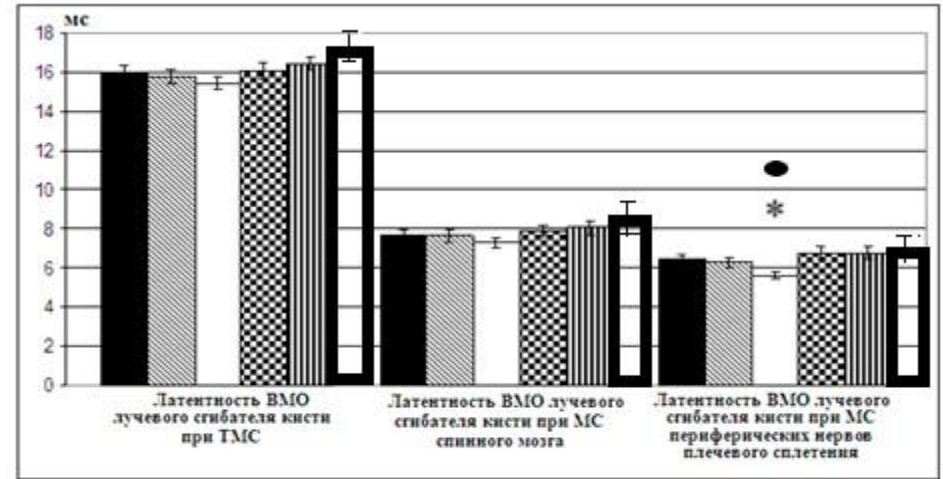
Наблюдается, что латентность корковых ВМО увеличивалась с возрастанием расстояния между мышцей и двигательной корой головного мозга. Такое изменение латентности ВМО продемонстрировано на рисунке 10. Так, например, латентный период ВМО короткого сгибателя большого пальца кисти у участников исследования был больше соответствующей величины у лучевого сгибателя кисти, а латентность коркового ВМО двуглавой мышцы плеча была меньше, чем у лучевого сгибателя кисти и, соответственно, короткого сгибателя пальца кисти. Такие же различия между латентными периодами ВМО мышц обнаружены и при МС спинного мозга и периферических нервов (Рисунок 10; приложение А).

Определяя латентное время ВМО исследуемых мышц верхней конечности при ТМС, которое обозначается как время общего проведения и при МС спинномозгового сегмента – как время периферического проведения, мы рассчитали время центрального моторного проведения (ВЦМП). Это суммарное время, состоящее из времени распространения импульса по кортико-моторным волокнам и времени проведения по проксимальной части двигательных спинномозговых корешков до места их выхода в области межпозвоночных отверстий на шейном уровне (Никитин, Куренков, 2003).

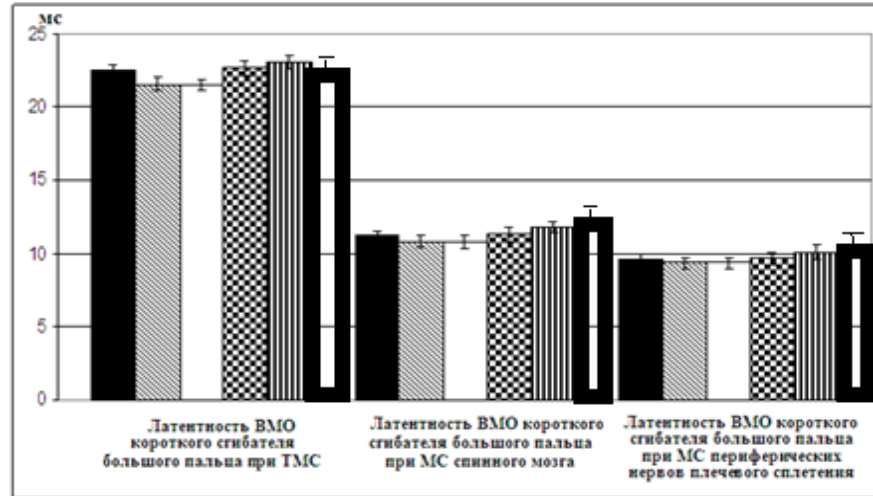
Величина ВЦМП служит показателем состояния центральных и периферических проводников нервной системы. Нами установлено, что меньшее ВЦМП мышц-сгибателей и разгибателей плеча, предплечья и кисти выявлено у пауэрлифтеров и спринтеров, несколько бóльшие его значения регистрировались у баскетболистов и бегунов на средние дистанции, но которые были ниже таковых у стайеров, при этом среди всех групп испытуемых самое высокое ВЦМП выявлено у лиц, не занимающихся спортом. Однако статистический анализ не выявил достоверных различий в величинах ВЦМП между обследованными группами ($p > 0,05$) (приложение А).



А



Б



В

Примечания.

1. Достоверные отличия от группы:

* - бегунов на длинные дистанции

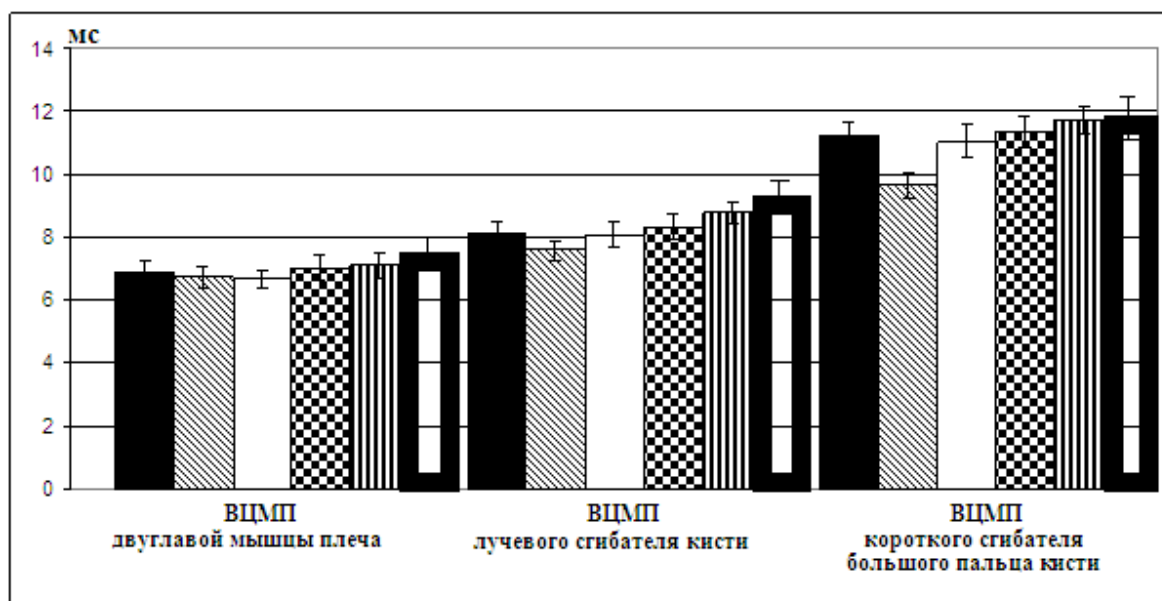
● - нетренированных лиц

2. Легенда к рисунку:

- группа баскетболистов
- ▨ группа пауэрлифтеров
- группа бегунов на короткие дистанции
- ▤ группа бегунов на средние дистанции
- ▥ группа бегунов на длинные дистанции
- нетренированные лица

Рисунок 10 - Показатели латентности ВМО мышц плеча, предплечья и кисти у спортсменов и нетренированных лиц при стимуляции различных структур нервной системы (мс)

У мышц-антагонистов не выявлено существенных различий в количественных величинах ВЦМП, поэтому в качестве примера на рисунке 11 представлены среднегрупповые показатели ВЦМП проксимальных и дистальных мышц-сгибателей верхней конечности. В наших исследованиях установлено, что ВЦМП мышц плеча было меньше, чем у мышц предплечья, а у последних оно было больше, чем у мышц кисти. Так, например, ВЦМП двуглавой мышцы плеча в группах испытуемых находилось в диапазоне от 6,68 до 7,42 мс, у лучевого сгибателя кисти данные значения варьировали от 7,60 до 8,90 мс, а у короткого сгибателя большого пальца кисти – от 9,65 до 11,89 мс (Рисунок 11).



Примечание - легенда к рисунку:

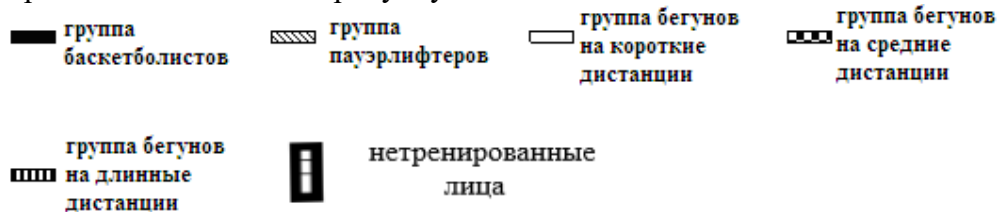


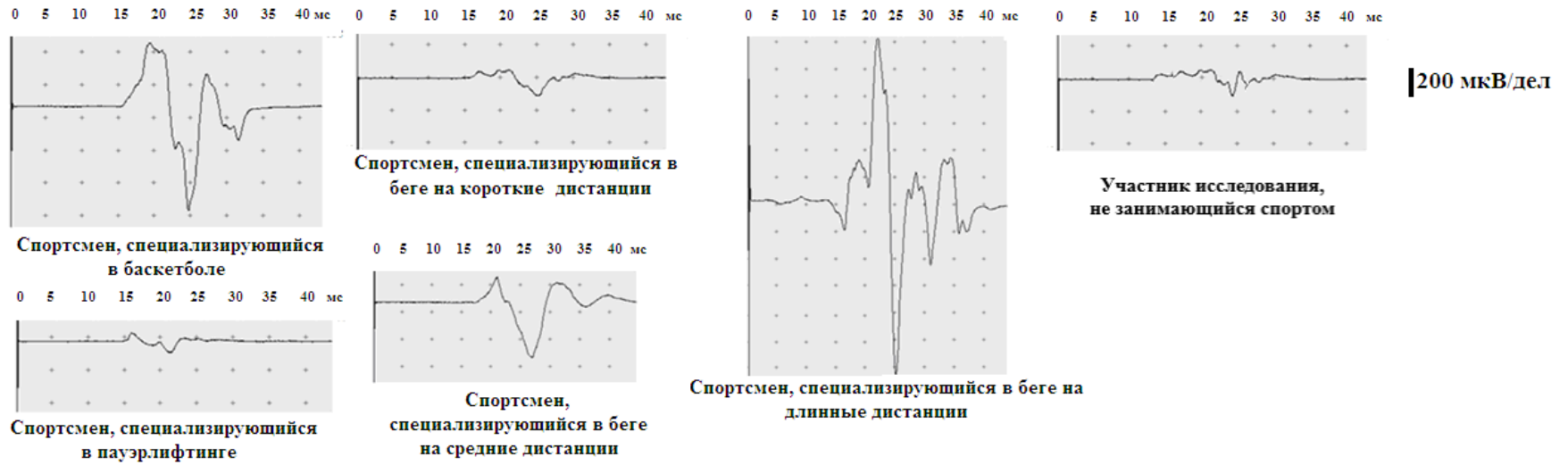
Рисунок 11 - Показатели ВЦМП мышц плеча, предплечья и кисти у спортсменов и нетренированных лиц (мс)

Показателем, отражающим вклад разных типов ДЕ исследуемой мышцы в ее сокращение, а также степень синхронизации возникновения их потенциалов действия является форма ВМО. При анализе этого показателя, зарегистрированного в покое в условиях воздействия на различные структуры моторной системы (пример записи представлен на рисунке 12), выяснено, что форма ВМО тестируемых мышц верхней конечности в разных группах испытуемых имеет отличительные особенности.

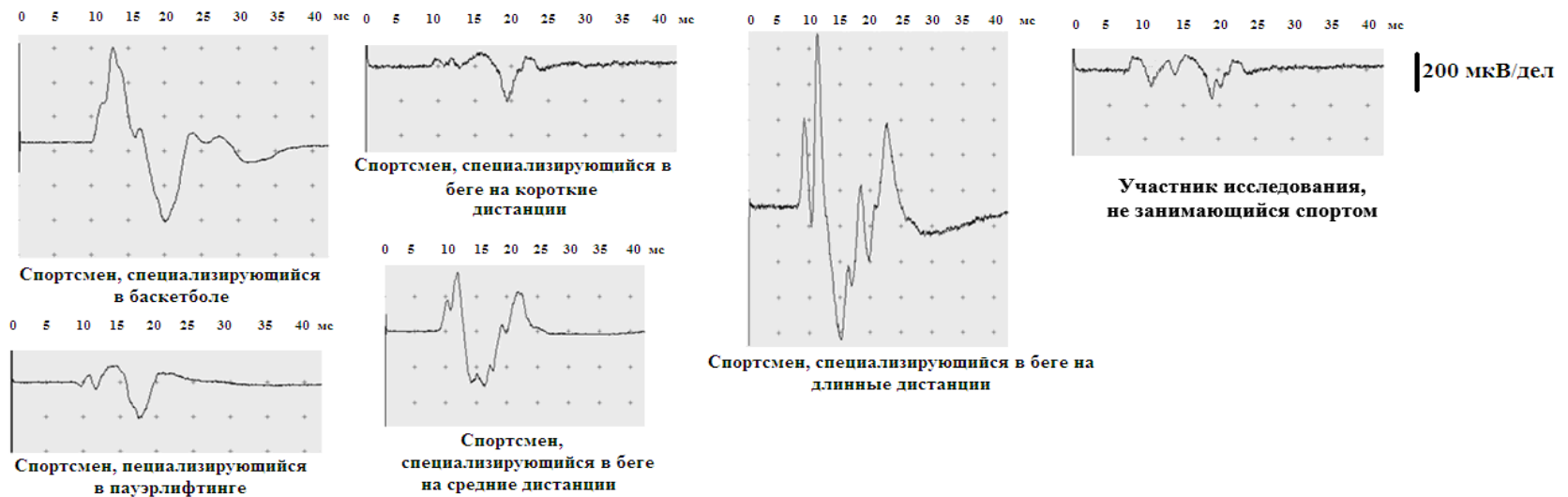
Так, у лиц, специализирующихся в пауэрлифтинге и беге на короткие дистанции, по сравнению с другими группами спортсменов наблюдались меньшие амплитуда и общая длительность ВМО тестируемых мышц как при МС центральных нервных, так и периферических структур (Рисунок 12).

Следует отметить, что у представителей изучаемых видов спорта при МС коры больших полушарий, спинного мозга и периферических нервов форма ВМО мышц верхней конечности обладает выраженной полифазией. При этом у легкоатлетов-бегунов, особенно у стайеров, форма ВМО отличается большей полифазностью потенциалов по сравнению с другими спортсменами, что более выражено при ТМС и МС спинного мозга и менее – при МС периферических нервов. Наряду с этим в большинстве записей легкоатлетов-бегунов на средние и длинные дистанции негативная фаза корковых и сегментарных ВМО состоит из двух компонентов (Рисунок 12).

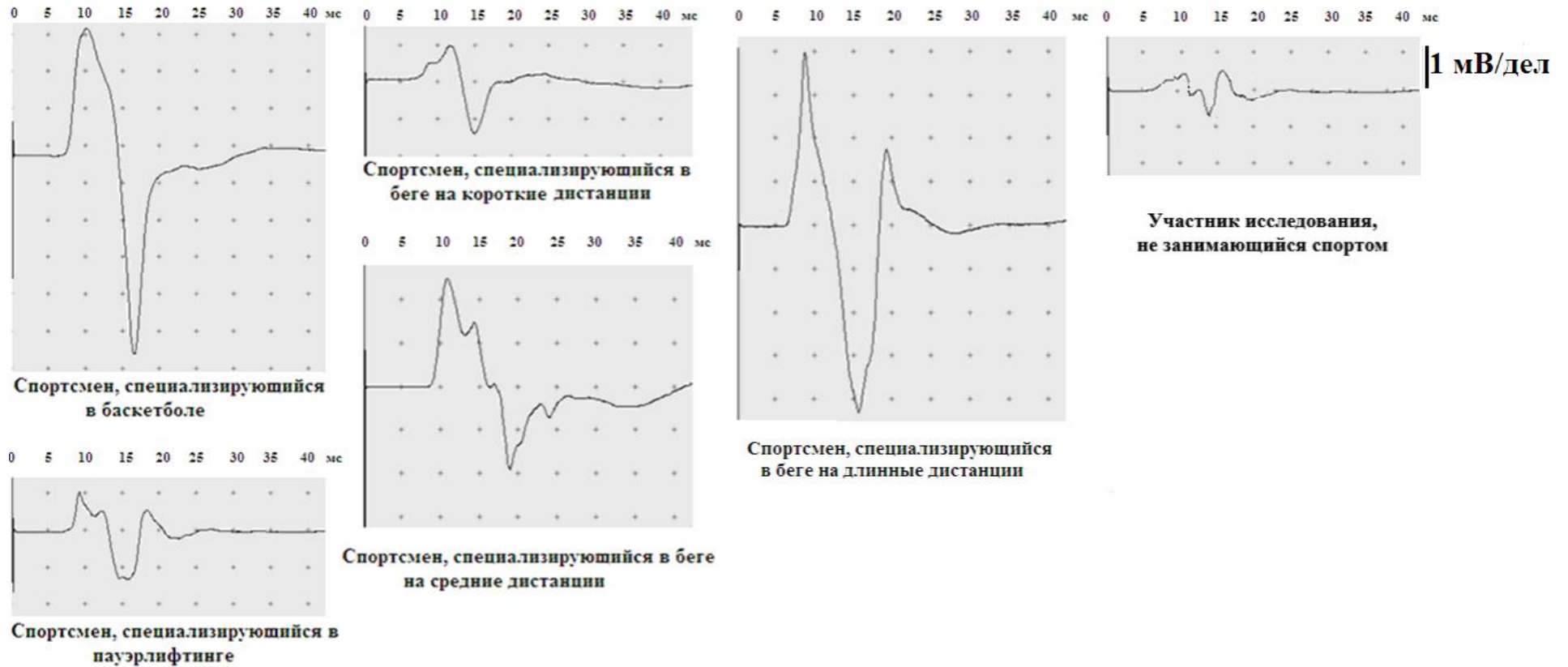
В свою очередь, в сравнении с представителями различных видов спорта у нетренированных лиц форма ВМО отличается меньшей амплитудой и большей полифазностью потенциалов, особенно при МС центральных нервных структур.



A – ТМС



Б – МС спинного мозга



В – МС периферических нервов плечевого сплетения (точка Эрба)

Рисунок 12 - Образцы записи ВМО лучевого сгибателя кисти у спортсменов и нетренированного участника исследования при магнитной стимуляции (100%-я мощность индукции) различных структур нервной систем

3.2 Анализ характеристик вызванных ответов мышц бедра, голени и стопы при магнитной стимуляции коры головного мозга, поясничного утолщения спинного мозга и периферических нервов у спортсменов и нетренированных лиц

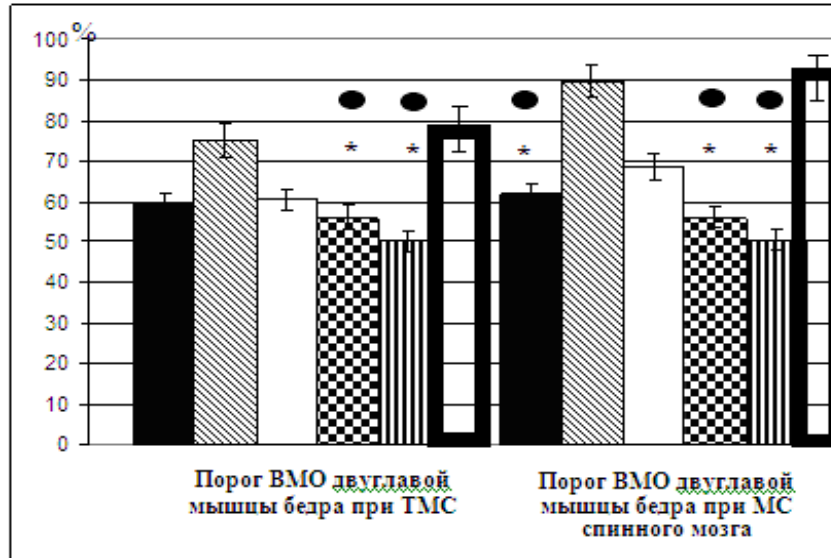
В данной серии исследований также приняли участие спортсмены, специализирующиеся в баскетболе, пауэрлифтинге, легкоатлетическом беге на короткие, средние и длинные дистанции, а также лица, не занимающиеся спортом. У представителей этих групп осуществляли регистрацию ВМО мышц бедра, голени и стопы при ТМС моторной зоны коры нижних конечностей, МС поясничного утолщения спинного мозга и периферических нервов, иннервирующих тестируемые мышцы.

Первоначально оценивали порог возбуждения мышц бедра, голени и стопы, который измеряли в % от выходной мощности магнитного стимулятора и в абсолютных значениях (Т). Установлено, что пороги ВМО проксимальных и дистальных мышц нижней конечности (как в Т, так и в %), зарегистрированные при ТМС, у нетренированных лиц немного превышали таковые у пауэрлифтеров ($p > 0,05$), но были значительно выше, чем в других группах спортсменов. В свою очередь, у бегунов на длинные дистанции пороги ВМО оказались наиболее низкими, чем у спортсменов других обследованных групп. При этом более значимо они отличались от соответствующих величин, зарегистрированных у пауэрлифтеров, и менее значимо – от показателей баскетболистов и бегунов на короткие и средние дистанции. При МС поясничного утолщения спинного мозга и периферических нервов наблюдалась похожая картина в шести обследованных группах (приложение Б).

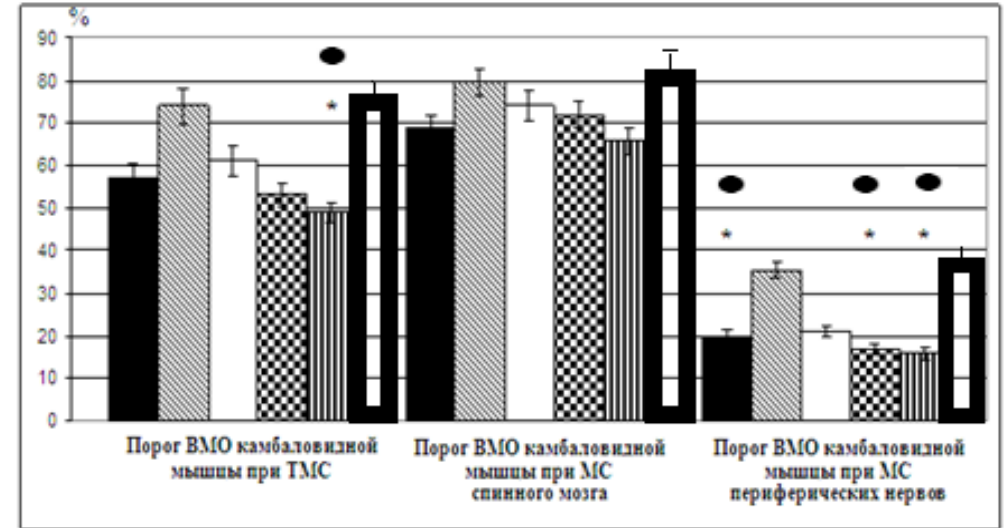
При рассмотрении межмышечного взаимодействия существенных различий в количественных показателях пороговых величин ВМО антагонистических мышц бедра, голени и стопы (в частности: агонист бедра – двуглавая мышца, антагонист – прямая мышца; агонист голени –

камбаловидная мышца, антагонист – передняя большеберцовая мышца; агонист стопы – короткий сгибатель пальцев, антагонист – короткий разгибатель пальцев), полученных при ТМС, МС спинного мозга и периферии у всех обследованных лиц, не обнаружено. Такой же факт был установлен и при анализе порогов ВМО верхних конечностей, обсуждаемый в пп. 3.1. В связи с этим, на рисунке 13 представлены пороги ВМО только мышц-сгибателей бедра, голени и стопы (в %) у спортсменов и нетренированных лиц, зарегистрированные при МС различных структур нервной системы. В качестве примера рассмотрим пороги возбуждения двуглавой мышцы бедра при ТМС и МС спинного мозга. Так, пороговая величина коркового ВМО двуглавой мышцы бедра у пауэрлифтеров в среднем по группе составила $75,00 \pm 4,23\%$, которая достоверно не отличалась от таковой у нетренированных лиц ($79,15 \pm 4,96$; $p > 0,05$), но оказалась больше на 50%, чем у бегунов на длинные дистанции ($50,00 \pm 3,35$; $p = 0,001$), на 33,9% в сравнении с бегунами на средние дистанции ($56,00 \pm 3,55$; $p = 0,03$), а также на 23,9% и 25,9%, чем у спринтеров ($60,50 \pm 2,58$; $p > 0,05$) и баскетболистов ($59,58 \pm 2,69$; $p > 0,05$) (Рисунок 13, А; приложение Б).

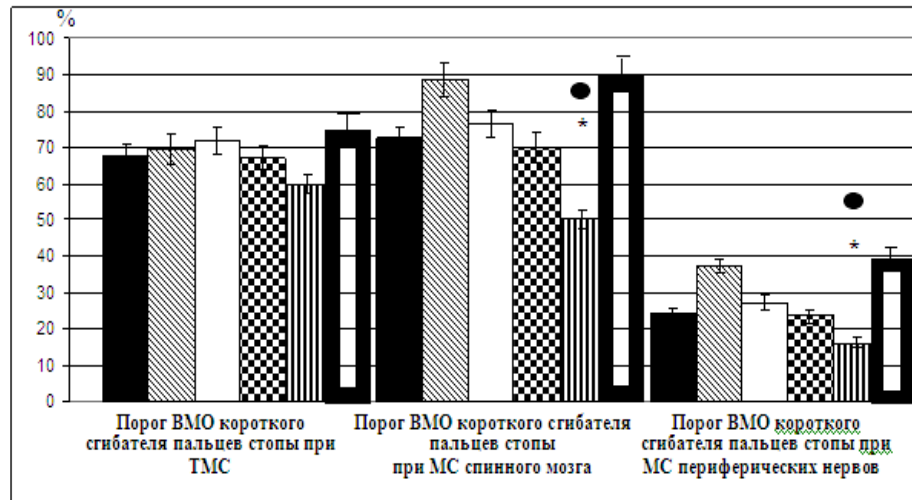
При МС спинномозговых сегментов среднегрупповая величина порога ВМО двуглавой мышцы бедра у пауэрлифтеров составила $89,50 \pm 4,23\%$, которая оказалась несколько ниже, чем в группе нетренированных лиц, но значительно превышала соответствующие величины, зарегистрированные у спортсменов других групп. При этом показатели данного параметра у пауэрлифтеров достоверно отличались от таковых, зарегистрированных у бегунов на длинные ($p = 0,002$) и средние ($p = 0,001$) дистанции и баскетболистов ($p = 0,01$), но не имели достоверно значимых отличий от группы нетренированных лиц ($p > 0,05$) (Рисунок 13, А; приложение Б).



А



Б



В

Примечания.

1. Достоверные отличия от группы:

* - пауэрлифтеров

● - нетренированных лиц

2. Легенда к рисунку:

■ группа баскетболистов

▨ группа пауэрлифтеров

□ группа бегунов на короткие дистанции

▤ группа бегунов на средние дистанции

▧ группа бегунов на длинные дистанции

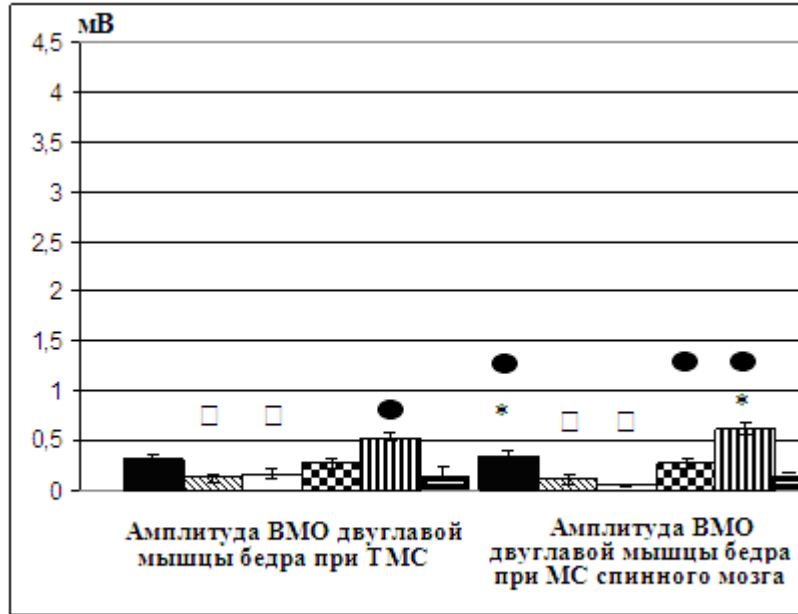
□ нетренированные лица

Рисунок 13 - Значения порогов ВМО мышц бедра, голени и стопы у спортсменов и нетренированных лиц при стимуляции различных структур нервной системы (в % от выходной мощности стимулятора)

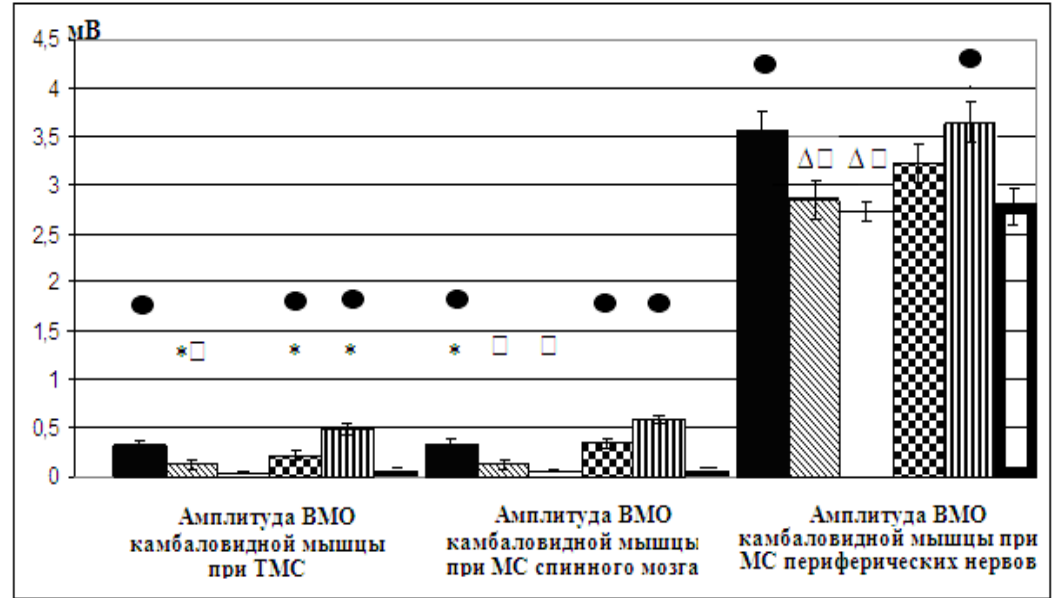
Сопоставляя результаты исследований порогов ВМО мышц, находящихся на разном удалении от ЦНС, мы не обнаружили существенных различий в порогах возбуждения проксимальных и дистальных мышц нижней конечности при МС корковых зон и спинномозговых сегментов. В свою очередь, при МС периферических нервов обнаружено, что порог возбуждения мышц, расположенных более дистально (мышцы стопы), был несколько ниже, чем у проксимальных мышц (мышцы бедра). Наблюдается также, что пороги возбуждения тестируемых мышц нижней конечности у всех участников исследования при стимуляции периферических нервов были значительно ниже, чем при ТМС и МС спинного мозга. Следует отметить, что пороги возбуждения для мышц бедра, голени и стопы больше, чем для плеча, предплечья и кисти, что закономерно при ТМС, МС соответствующих сегментов спинного мозга и периферических нервов.

Далее исследования показали, что среднегрупповые величины максимальной амплитуды ВМО мышц-сгибателей и разгибателей бедра, голени и стопы, зарегистрированные при стимуляции различных структур нервной системы, у нетренированных лиц были ниже, чем у спортсменов, при этом более существенные различия наблюдались при сравнении с группой стайеров. Среди пяти обследованных групп спортсменов значения данного параметра были самыми низкими у пауэрлифтеров и бегунов на короткие дистанции, а самыми высокими - у бегунов на длинные дистанции. При этом у баскетболистов и бегунов на средние дистанции эти значения занимали промежуточное положение между пауэрлифтерами и спринтерами – с одной стороны, и стайерами – с другой (приложение Б).

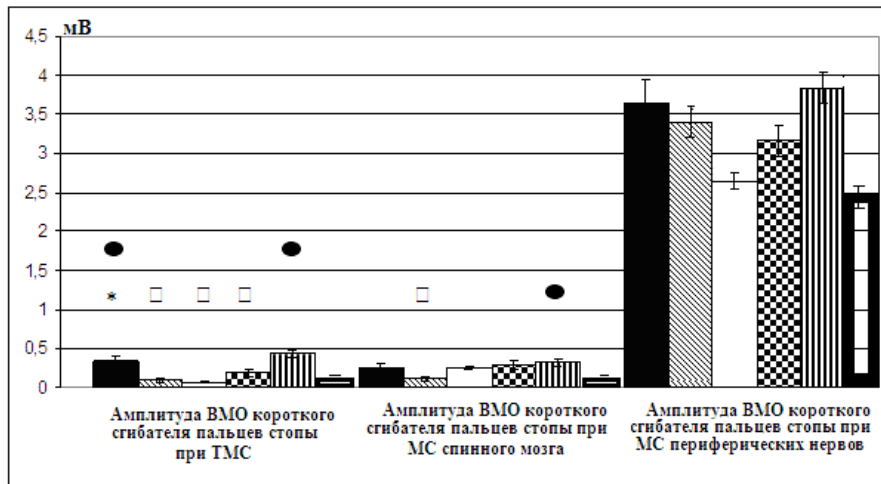
Поскольку между значениями максимальной амплитуды ВМО антагонистических мышц нижней конечности существенных различий не обнаружено, то на рисунке 14 представлены результаты анализа амплитуды ВМО мышц-сгибателей нижней конечности у спортсменов и нетренированных лиц, который наглядно демонстрирует вышеизложенный факт.



А



Б



В

Примечания. 1. Достоверные отличия от группы:
 Δ - баскетболистов; * - бегунов на короткие дистанции;
 □ - бегунов на длинные дистанции; • - нетренированных лиц.

2. Легенда к рисунку:

- группа баскетболистов
- ▨ группа пауэрлифтеров
- группа бегунов на короткие дистанции
- ▣ группа бегунов на средние дистанции
- ▤ группа бегунов на длинные дистанции
- ▥ нетренированные лица

Рисунок 14 - Значения максимальной амплитуды ВМО мышц бедра, голени и стопы у спортсменов и нетренированных лиц при стимуляции различных структур нервной системы (мВ)

Сравнивая показатели максимальной амплитуды ВМО мышц, находящихся на разном удалении от центральных структур нервной системы, мы не обнаружили существенных различий в величинах данного параметра между проксимальными и дистальными группами мышц нижней конечности.

В результате исследования было установлено, что величина максимальной амплитуды ВМО скелетных мышц имеет выраженные отличия в зависимости от участка стимуляции. Наибольшие значения амплитуды зафиксированы при МС периферических нервов нижней конечности, а при МС спинномозговых сегментов и корковых зон максимальная амплитуда ВМО исследуемых мышц бедра, голени и стопы была значительно ниже (Рисунок 14; приложение Б).

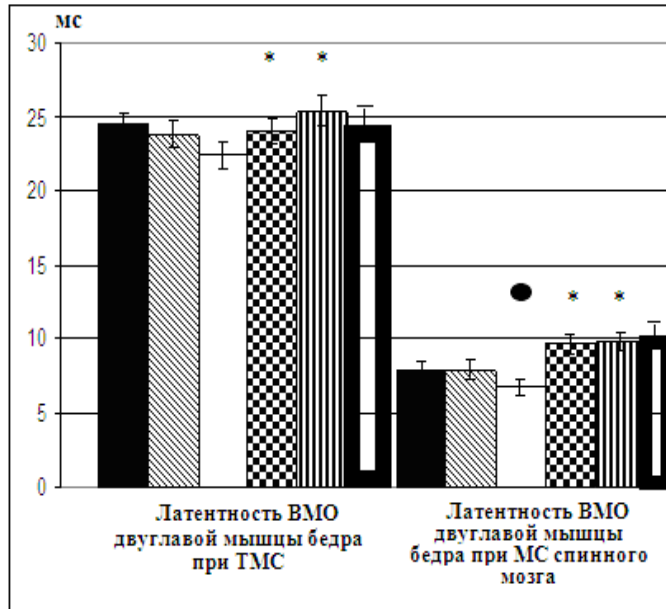
При сопоставлении показателей длительности ВМО тестируемых мышц, зарегистрированных при стимуляции различных структур нервной системы, было установлено, что среди спортсменов наименьшие величины данного параметра в большинстве случаев обнаружены у пауэрлифтеров и спринтеров, а наибольшие – у легкоатлетов-бегунов на длинные дистанции. Значения длительности ВМО мышц нижней конечности у баскетболистов и бегунов на средние дистанции находились примерно в одинаковом диапазоне и были выше, чем у пауэрлифтеров и спринтеров, но ниже, чем у стайеров. Показатели, зафиксированные у пауэрлифтеров и бегунов на короткие дистанции, в ряде случаев были достоверно ниже соответствующих величин у бегунов на длинные и средние дистанции и баскетболистов. В свою очередь, значения длительности ВМО мышц нижней конечности у нетренированных людей были выше, чем у спортсменов, при этом более выраженные отличия наблюдались от групп пауэрлифтеров и спринтеров и менее выраженные – от группы стайеров (приложение Б).

Следует отметить, что сравнительный анализ показателей длительности ВМО мышц-сгибателей и разгибателей бедра, голени и стопы не обнаружил существенных различий. Сопоставление значений длительности ВМО между стимуляцией корковых, спинномозговых и

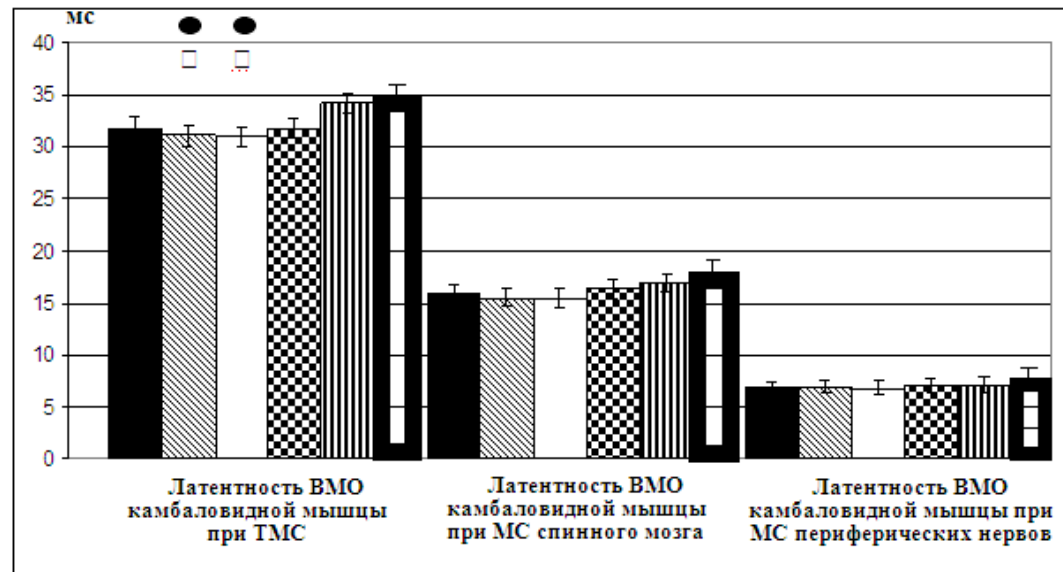
периферических нервных структур не выявило достоверных различий этого параметра. Вместе с тем при стимуляции различных структур нервной системы длительность ВМО проксимально расположенных мышц нижней конечности существенно не отличалась от таковой дистальных мышц (приложение Б).

Далее, при магнитной стимуляции корковых зон, спинного мозга и периферических нервов было установлено, что значения латентных периодов ВМО мышц бедра, голени и стопы у нетренированных лиц были выше, чем у спортсменов, а у легкоатлетов-бегунов на длинные дистанции они превышали таковые у представителей других видов спорта. Более существенные различия в показателях данного параметра у стайеров обнаружены с группами пауэрлифтеров и бегунов на короткие дистанции (приложение Б). Это также можно наблюдать и на рисунке 16, который демонстрирует значения данного параметра ВМО только проксимальных и дистальных мышц-сгибателей, зарегистрированные при стимуляции различных структур нервной системы, так как сравнительный анализ не выявил существенных различий между показателями латентности ВМО антагонистических мышц нижней конечности.

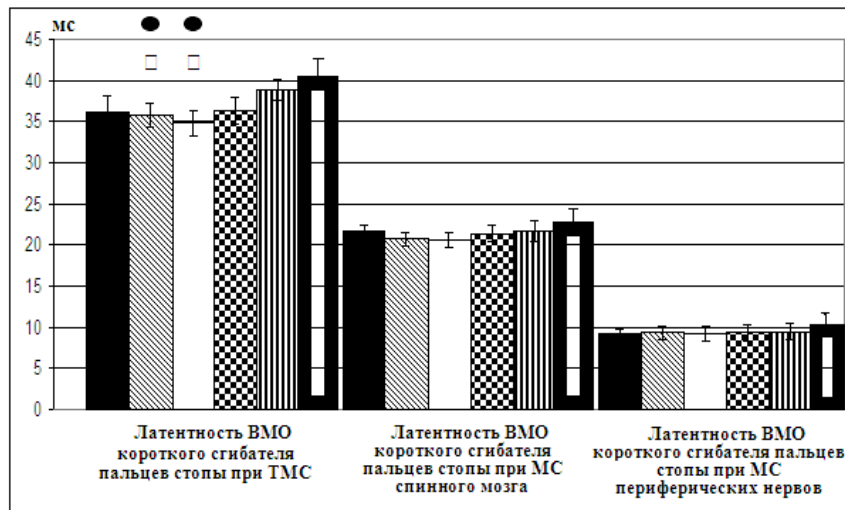
Установлено, что в сравнении с корковой стимуляцией латентные периоды сегментарных ВМО уменьшились на 50-60%, что вполне закономерно, поскольку расстояние, которое должен пройти эфферентный нервный импульс от точки стимуляции до мышцы также значительно уменьшилось. При МС периферических нервов нижней конечности регистрировались меньшие значения ВМО по сравнению с корковыми и сегментарными структурами (Рисунок 15, А, Б, В; приложение Б). Такое же наблюдение было сделано и при МС различных структур нервной системы, участвующих в двигательном контроле мышц плеча, предплечья и кисти. На рисунке 15 видно, что латентность корковых ВМО мышц бедра, голени и стопы увеличивалась с возрастанием расстояния между мышцей и моторной зоной коры головного мозга.



А



Б



В

Примечания.

1. Достоверные отличия от группы:

* - бегунов на короткие дистанции

□ - бегунов на длинные дистанции

● - нетренированных лиц

2. Легенда к рисунку:

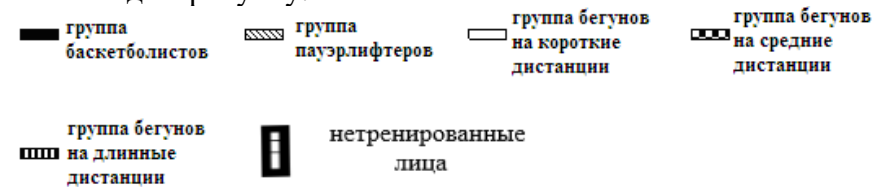


Рисунок 15 - Значения латентности ВМО мышц бедра, голени и стопы у спортсменов и нетренированных лиц при стимуляции различных структур нервной системы (мс)

Так, латентный период коркового ВМО короткого сгибателя пальцев стопы у участников исследования был больше соответствующей величины у камбаловидной мышцы, а латентность коркового ВМО двуглавой мышцы бедра была меньше, чем у камбаловидной мышцы и соответственно короткого сгибателя пальцев стопы. Такие же различия между латентными периодами ВМО мышц бедра, голени и стопы были обнаружены и при МС спинного мозга и периферических нервов (Рисунок 15; приложение Б).

В данной серии наших исследований был осуществлен расчет ВЦМП для мышц бедра, голени и стопы, то есть суммарного времени, состоящего из времени распространения импульса по кортико-моторным волокнам и времени проведения по проксимальной части двигательных спинномозговых корешков до места их выхода в области межпозвоночных отверстий на уровне T12-L1.

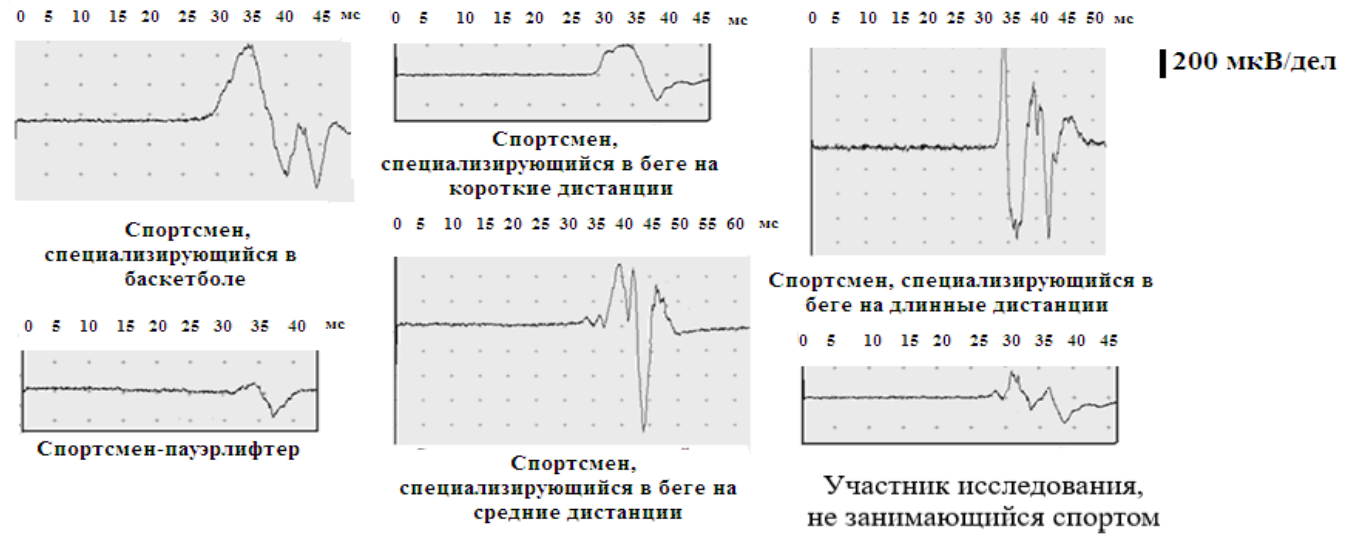
В результате исследования установлено, что ВЦМП для мышц бедра, голени и стопы у лиц, не занимающихся спортом, было выше, чем у представителей различных видов спорта, в ряде случаев такое превышение было значительным. При этом среди пяти групп обследованных спортсменов самое высокое ВЦМП было зарегистрировано у легкоатлетов-бегунов на длинные дистанции, тогда как значения данного параметра у спортсменов остальных четырех групп в основном существенно между собой не отличались. Однако в некоторых случаях, ВЦМП, например, короткого сгибателя пальцев стопы у пауэрлифтеров и спринтеров было определено ниже, чем у спортсменов других специализаций (Приложение Б).

В результате статистического анализа выявлены наиболее выраженные достоверно значимые различия в показателях ВЦМП: для камбаловидной и передней большеберцовой мышц между группами бегунов на короткие и длинные дистанции (разность в показателях составила соответственно 15,2% ($p=0,03$) и 27,9% ($p=0,002$)); для передней большеберцовой мышцы - между группами баскетболистов и стайеров, а также между пауэрлифтерами и

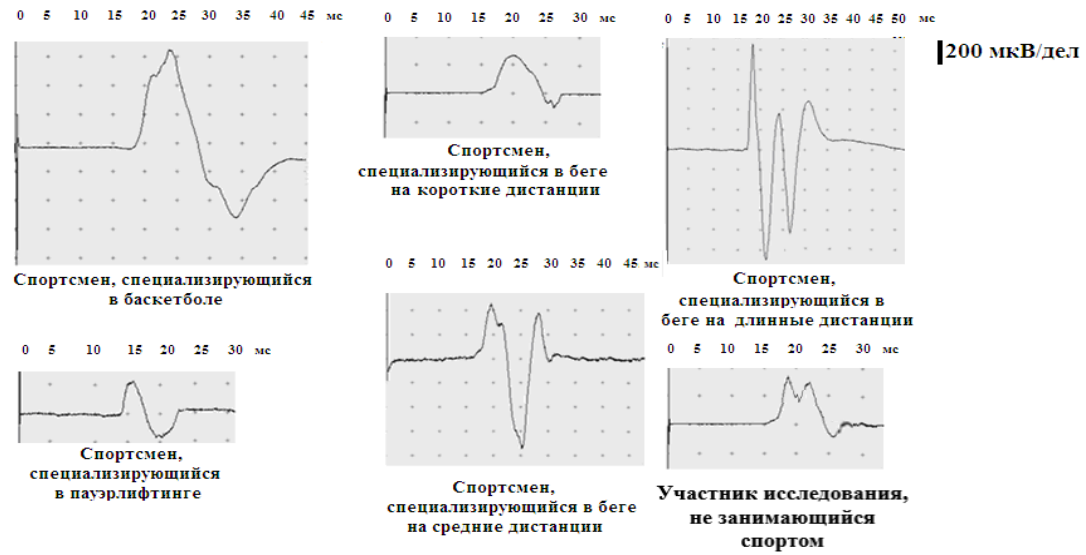
стайерами (разность в показателях составила соответственно 16,7% ($p=0,03$) и 20,6% ($p=0,02$)) (приложение Б).

Далее, анализ формы ВМО тестируемых мышц нижней конечности в условиях воздействия на различные структуры моторной системы (пример записи представлен на рисунке 16), показал, что у разных групп испытуемых она имеет ряд отличительных особенностей. В частности, у пауэрлифтеров и легкоатлетов-бегунов на короткие дистанции амплитуда и общая длительность ВМО мышц нижней конечности при МС моторной коры, спинного мозга и периферических нервов были значительно меньше по сравнению со спортсменами других групп, особенно в сравнении с бегунами на длинные дистанции, у которых эти параметры были самыми высокими среди представителей рассматриваемых видов спорта. Следует отметить, у бегунов на различные дистанции, особенно у стайеров, форма ВМО характеризуется выраженной полифазностью потенциалов, которая наблюдается при МС различных участков нервной системы.

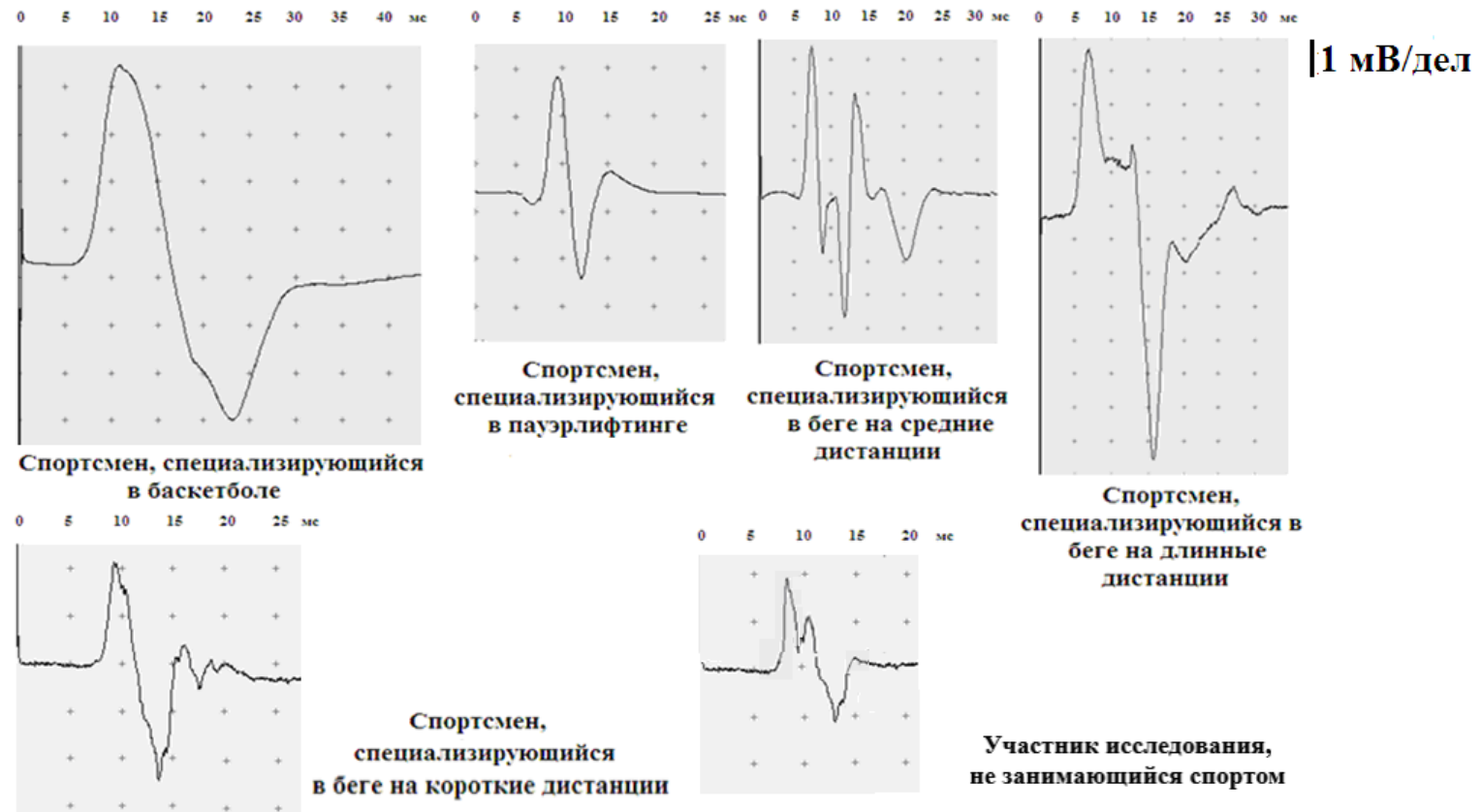
У представителей других видов спорта полифазия ВМО наблюдалась в единичных случаях. Наряду с этим в большинстве записей у бегунов на средние и длинные дистанции негативную фазу ВМО при стимуляции коры больших полушарий отличает появление псевдофаз (чаще 3-4). Обнаружено также, что в этих группах спортсменов (чаще у стайеров) при МС различных структур нервной системы негативная фаза ВМО состоит из двух компонентов (раннего и позднего). У нетренированных лиц амплитуда ВМО мышц нижней конечности на разных уровнях МС нервных структур была меньше, чем у спортсменов, особенно в сравнении с бегунами на длинные и средние дистанции и баскетболистами. Также наблюдалось, что позитивная фаза ВМО состояла из двух компонентов (раннего и позднего), что показано на рисунке 16.



A – TMS



Б - МС спинного мозга



В - МС большеберцового нерва

Рисунок 16 - Образцы записи ВМО камбаловидной мышцы у спортсменов и нетренированного участника исследования при магнитной стимуляции (100%-я мощность индукции) различных структур нервной системы

Заключение по подглавам 3.1 и 3.2

Результаты проведенного исследования, представленные в подглавах 3.1 и 3.2, свидетельствуют о различиях в параметрах ВМО скелетных мышц, зарегистрированных при воздействии магнитного стимула на разные структуры нервной системы в состоянии покоя, между группами тренированных и нетренированных лиц.

По сравнению с нетренированными у спортсменов выявлены наибольшие показатели амплитуды ВМО и наименьшие величины порогов, латентности, длительности ВМО и ВЦМП для тестируемых мышц верхней и нижней конечностей, зарегистрированных при ТМС, МС спинного мозга и соответствующих периферических нервов. У нетренированных лиц форма ВМО отличалась в основном меньшей амплитудой в сравнении с представителями различных видов спорта. Псевдофазность и полифазность потенциалов, выраженных в той или иной степени, наблюдались как у тренированных, так и нетренированных лиц.

Установлено, что стайеры, выполняющие длительную циклическую работу на выносливость в режиме большой мощности, отличаются от представителей других рассматриваемых видов спорта (пауэрлифтеров, адаптированных к выполнению кратковременных ациклических, собственно силовых упражнений, характеризующихся высокой мощностью усилий; спринтеров, выполняющих кратковременную циклическую работу максимальной мощности, требующую преимущественно развития быстроты; баскетболистов, деятельность которых сопряжена с выполнением упражнений с преимущественно ациклической структурой движений, требующих от игрока проявления скоростно-силовых качеств в условиях переменных режимов двигательной деятельности и форм действий; бегунов на средние дистанции, адаптированных к циклической работе, выполняемой в режиме субмаксимальной мощности и развивающей преимущественно скоростно-силовые качества):

- более низкими моторными порогоми возбуждения при ТМС двигательной коры для мышц верхней и нижней конечностей, МС шейного и поясничного утолщений спинного мозга и периферических нервов, иннервирующих тестируемые мышцы;

- более высокими значениями амплитуды ВМО, зарегистрированных при МС различных структур нервной системы;

- большей латентностью и длительностью ВМО тестируемых мышц при МС центральных и периферических участков нервной системы;

- более выраженными изменениями формы ВМО скелетных мышц (большей амплитудой ВМО, общей длительностью ВМО, а также псевдофазностью, полифазностью потенциалов).

Диаметрально противоположные характеристики данных параметров обнаружены у пауэрлифтеров и спринтеров. Между баскетболистами и бегунами на средние дистанции существенных отличий в изучаемых параметрах ВМО не обнаружено и их количественный диапазон у этих спортсменов занимал промежуточное положение между группами пауэрлифтеров и спринтеров – с одной стороны, и группой стайеров – с другой.

3.3 Анализ характеристик вызванных ответов мышц плеча, предплечья и кисти при электростимуляции шейного утолщения спинного мозга и периферических нервов у спортсменов и нетренированных лиц

Среди информативных и неинвазивных подходов к исследованию функционального состояния нейромышечного аппарата, помимо метода МС, широко используются различные электростимуляционные методы, позволяющие изучать тонкие физиологические процессы в нервных клетках, в периферических нервах и составляющих их нервных волокнах, а также в мышцах. В их числе - техника ЧЭССМ, методы регистрации М-ответа и поверхностной ЭМГ. ЧЭССМ является относительно новой, но многообещающей технологией для понимания особенностей реализации спинальных двигательных рефлексов у здорового человека и на фоне двигательных расстройств. В последние годы интерес к электростимуляции спинного мозга возрастает как в клинической, так и в экспериментальной нейрофизиологии (Francois et al., 2012; Knikou et al., 2015; Ланская и др., 2015 (б)). ЧЭССМ одиночными стимулами позволяет производить нейрофизиологические исследования зависящих от состояния и задачи модуляций двигательных рефлексов на многих сегментарных уровнях (Minassian et al., 2007). В свою очередь, М-ответ – это суммарный электрический потенциал мышцы в ответ на одиночное электрическое раздражение двигательного или смешанного нерва (Команцев, Заболотных, 2001; Зенков, Ронкин, 2004; Городничев, 2005). Данные электрофизиологические методы также широко применяются в практике спортивной физиологии и клинических исследованиях лиц с заболеваниями нервно-мышечной системы.

В подглавах 3.3 и 3.4 представлен анализ результатов собственных исследований по изучению параметров ВМО скелетных мышц, зарегистрированных при ЧЭССМ, а также М-ответов и поверхностной ЭМГ в тех же группах тренированных и нетренированных лиц, которые участвовали в предыдущей серии исследований. Изучение особенностей

функционирования сегментарных и соответствующих нервно-мышечных структур под влиянием долговременной двигательной деятельности различной направленности с использованием перечисленных методических подходов, а также анализ моделей специфической пластической перестройки нейромоторной системы, свойственный различающимся по физиологическим классификациям и режимам функционирования мышц, позволят создать относительно целостное представление о совокупности физиологических механизмов пластичности центральных и периферических звеньев нейромоторной системы, возникающих как результат адаптации к повышенной активности скелетных мышц.

На данном этапе исследования, участниками которой были баскетболисты, пауэрлифтеры, легкоатлеты-бегуны на различные дистанции и лица, не занимающиеся спортом, было проведено изучение параметров ВМО мышц-сгибателей и разгибателей плеча, предплечья и кисти, зарегистрированных при ЧЭССМ на уровне С6-С7 позвонков, и М-ответов этих мышц при электрической стимуляции периферических нервов плечевого сплетения.

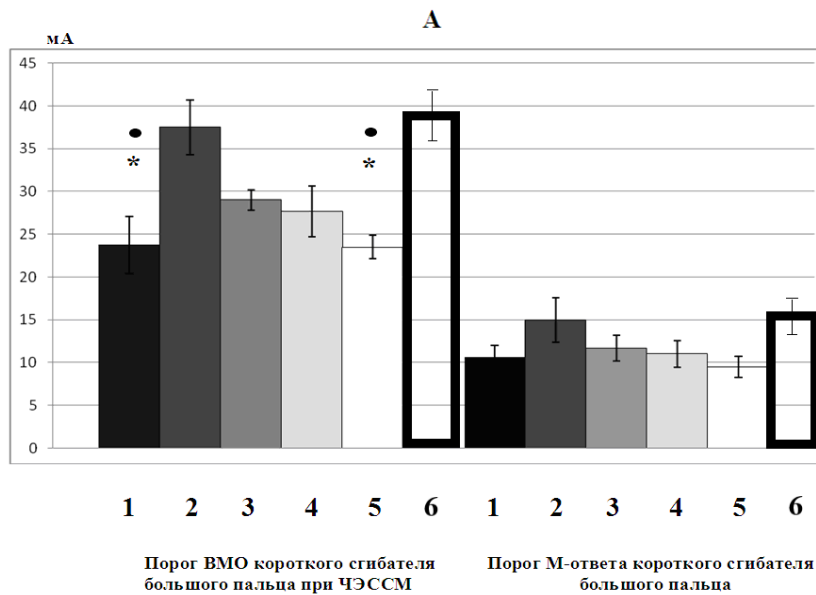
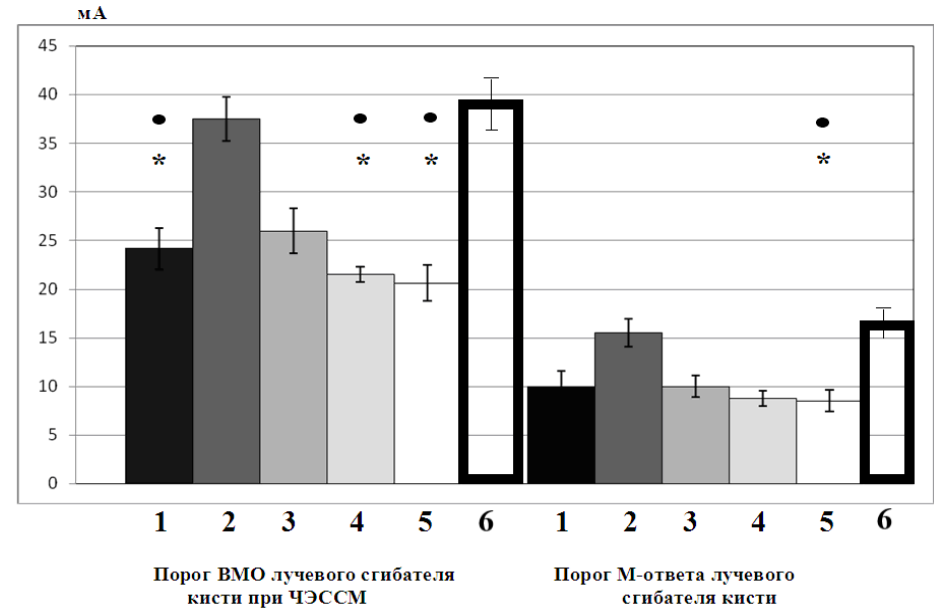
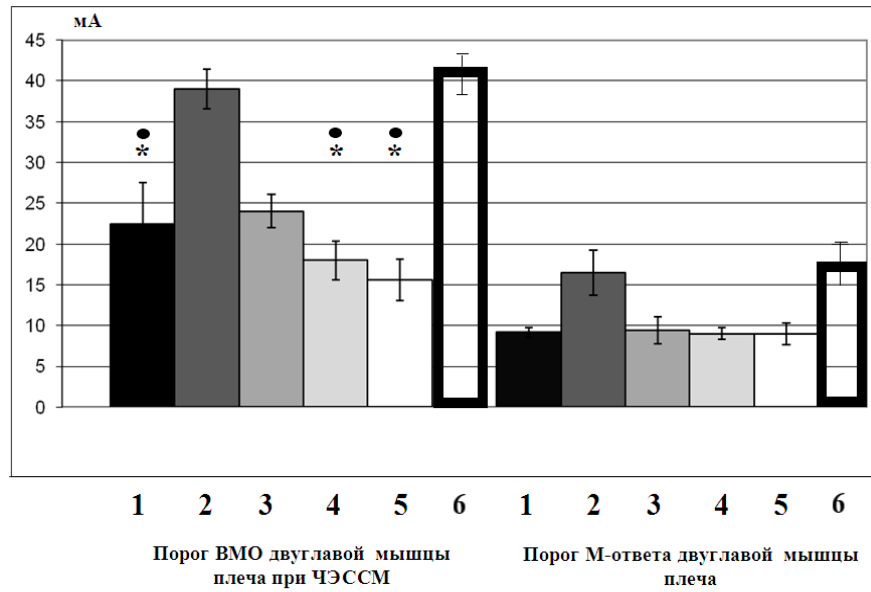
В приложении В приведены среднегрупповые показатели порогов ВМО и М-ответов тестируемых мышц верхней конечности у представителей всех исследуемых групп. Результаты проведенного исследования показали, что пороги возбуждения тестируемых мышц верхней конечности при ЧЭССМ и периферических нервов плечевого сплетения в точке Эрба у нетренированных лиц были значительно выше, чем у спортсменов. Среди пяти групп спортсменов величины данного параметра у бегунов на длинные дистанции оказались самыми низкими. При этом более значимо они отличались от таковых, зарегистрированных у пауэрлифтеров, и менее значимо – от показателей баскетболистов и бегунов на короткие и средние дистанции.

При рассмотрении вопроса о межмышечном взаимодействии (агонист-антагонист) различий в количественных показателях пороговых величин

ВМО и М-ответов антагонистических мышц верхней конечности внутри каждой обследованной группы не обнаружено. В связи с этим рисунок 20 в качестве примера демонстрирует пороговые величины ВМО и М-ответа только мышц-сгибателей плеча, предплечья и кисти у испытуемых обследованных групп. Так, при ЧЭССМ пороговая величина ВМО двуглавой мышцы плеча у пауэрлифтеров составила в среднем по группе $39,00 \pm 2,38$ мА, которая достоверно не отличалась ($p > 0,05$) от таковой в группе нетренированных лиц ($42,56 \pm 2,40$ мА), но оказалась выше на 149,5 %, чем у стайеров ($p = 0,0001$), на 116,7 % в сравнении с бегунами на средние дистанции ($p = 0,0006$), а также на 73,3 % и 62,5 %, чем у баскетболистов ($p = 0,01$) и спринтеров ($p > 0,05$) соответственно (Рисунок 17, А; приложение В). Выявлено статистически значимое превышение порогов ВМО двуглавой мышцы плеча при ЧЭССМ у нетренированных лиц в сравнении с баскетболистами ($p = 0,007$), бегунами на средние ($p = 0,001$) и длинные ($p = 0,0001$) дистанции (Рисунок 17, А).

Пороги М-ответа двуглавой мышцы плеча у пауэрлифтеров и нетренированных лиц были примерно сопоставимы, составили в среднем $16,50 \pm 2,73$ мА и $16,67 \pm 2,56$ мА соответственно и были выше, чем у других спортсменов, но достоверно значимых отличий между шестью группами не выявлено ($p > 0,05$).

Рисунок 17 (Б, В) демонстрирует, что пороги ВМО и М-ответов мышц предплечья и кисти между группами пауэрлифтеров и нетренированных лиц достоверно не отличались ($p > 0,05$) и были выше, чем у других спортсменов (в ряде случаев обнаружены достоверные различия в показателях). При этом существенных различий в величинах ВМО и М-ответов мышц предплечья и кисти между группами спортсменов, специализирующихся в баскетболе и беге на различные дистанции, не выявлено. Вместе с тем следует отметить, что наименьшие пороговые значения ВМО и М-ответов мышц плеча, предплечья и кисти в большинстве случаев регистрировались у стайеров (Рисунок 17, Б, В; приложение В).



В

Примечания.

1. Достоверные отличия от группы: * - пауэрлифтеров

● - нетренированных лиц

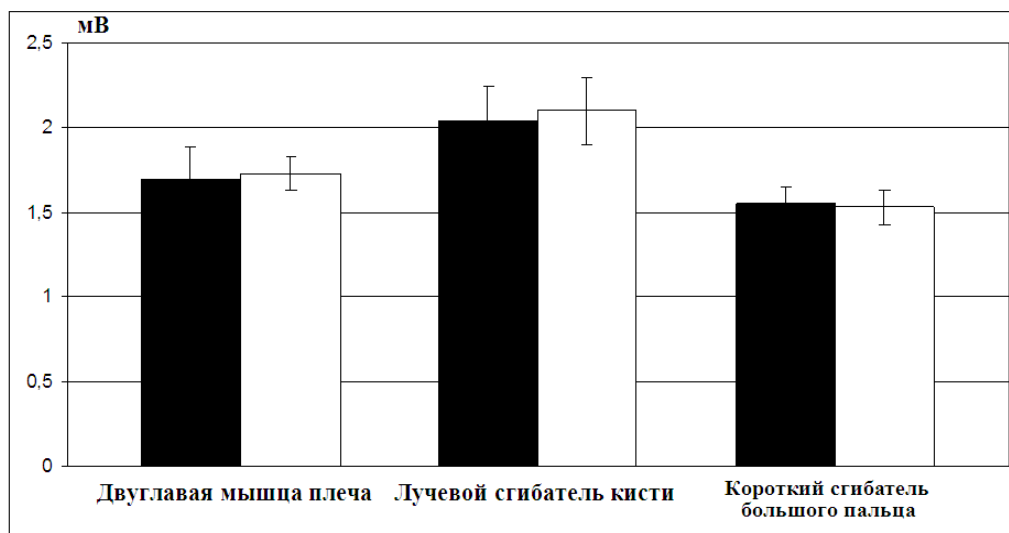
2. Легенда к рисунку:

1 – группа баскетболистов; 2 – группа пауэрлифтеров; 3 – группа легкоатлетов-бегунов на короткие дистанции; 4 – группа легкоатлетов-бегунов на средние дистанции; 5 – группа легкоатлетов-бегунов на длинные дистанции; 6 – группа нетренированных лиц

Рисунок 17 - Значения порогов ВМО и М-ответов мышц плеча, предплечья и кисти у спортсменов и нетренированных лиц при электрической стимуляции разных отделов нервной системы (мА)

Сопоставляя пороговые значения ВМО и М-ответов мышц плеча, предплечья и кисти, находящихся на разном удалении от ЦНС, мы не обнаружили существенной разницы между показателями проксимальных и дистальных мышц верхней конечности. Вместе с тем было установлено, что пороги возбуждения тестируемых мышц верхней конечности у всех обследованных лиц при стимуляции периферических нервов были значительно ниже, чем при ЧЭССМ (Рисунок 17, А-В; приложение В).

Далее, с целью изучения природы мышечных ответов, получаемых посредством ЧЭССМ, нами было проведено изучение у семи испытуемых изменения амплитуды ВМО проксимальных и дистальных мышц верхней конечности в ответ на парные стимулы, длительностью 0,5 мс, наносившиеся с интенсивностью, достаточной для одновременной регистрации ответов во всех исследуемых мышцах, и во время вибрации сухожилий сгибателей запястья. В результате не выявлено подавления ВМО в ответ на предъявление кондиционирующего стимула, подающегося за 30 мс до тестирующего, а также на вибрационное воздействие на сухожилия сгибателей запястья. Так как парная стимуляция и вибрационное воздействие не приводили к подавлению ВМО всех тестируемых мышц плеча, предплечья и кисти, а в ряде случаев их амплитуда была даже выше величин, зарегистрированных до таких воздействий, то на рисунках 18 и 19 в качестве примера представлены показатели максимальной амплитуды ВМО некоторых мышц верхней конечности и их оригинальные записи, полученные при отсутствии и во время вибрационного воздействия на сухожилия сгибателей запястья.



Примечание - легенда к рисунку:



- Амплитуда ВМО мышцы без вибрации сухожилий запястья



- Амплитуда ВМО мышцы во время вибрации сухожилий запястья

Рисунок 18 - Отсутствие подавления ВМО мышц верхней конечности в ответ на вибрацию сухожилий сгибателей запястья

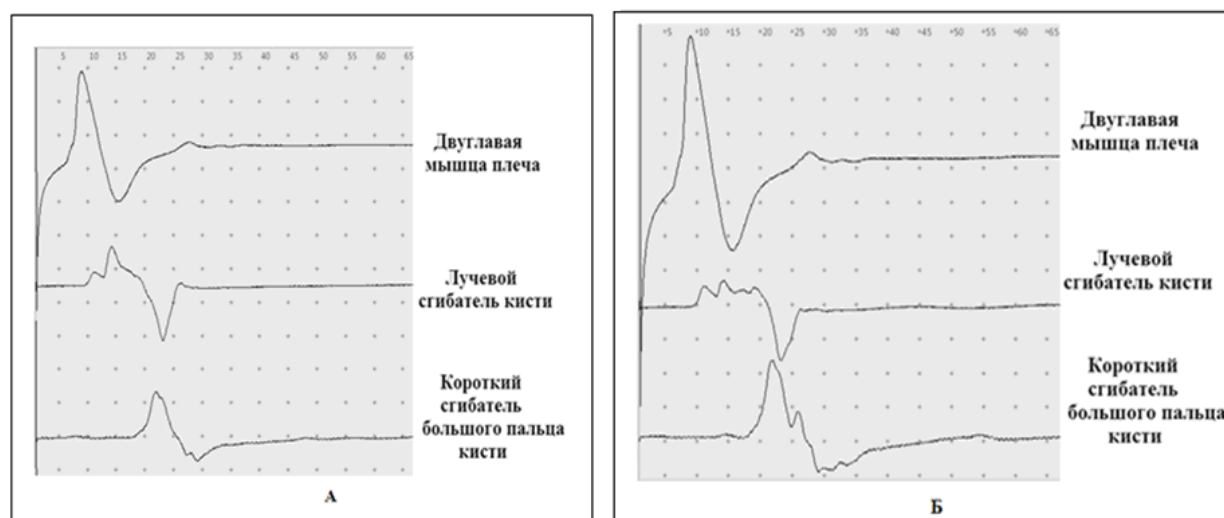


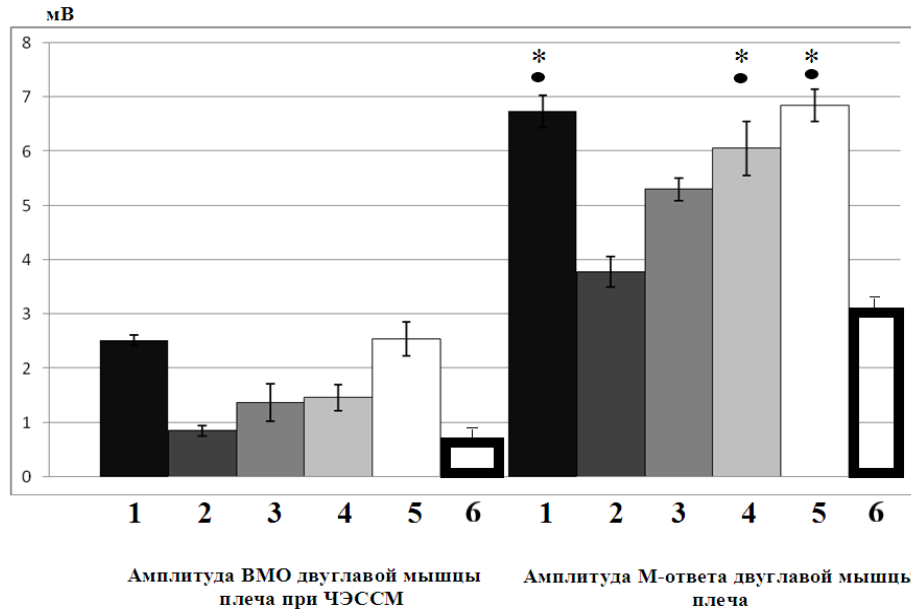
Рисунок 19 - Оригинальные записи ВМО мышц плеча, предплечья и кисти, полученные у испытуемого без (А) и во время (Б) вибрационного воздействия на сухожилия запястья

Более существенные и достоверно значимые различия обнаружены между пауэрлифтерами и стайерами, так как у последних получены самые высокие величины максимальной амплитуды ВМО и М-ответов среди всех обследованных групп. Значения данных параметров у спринтеров были

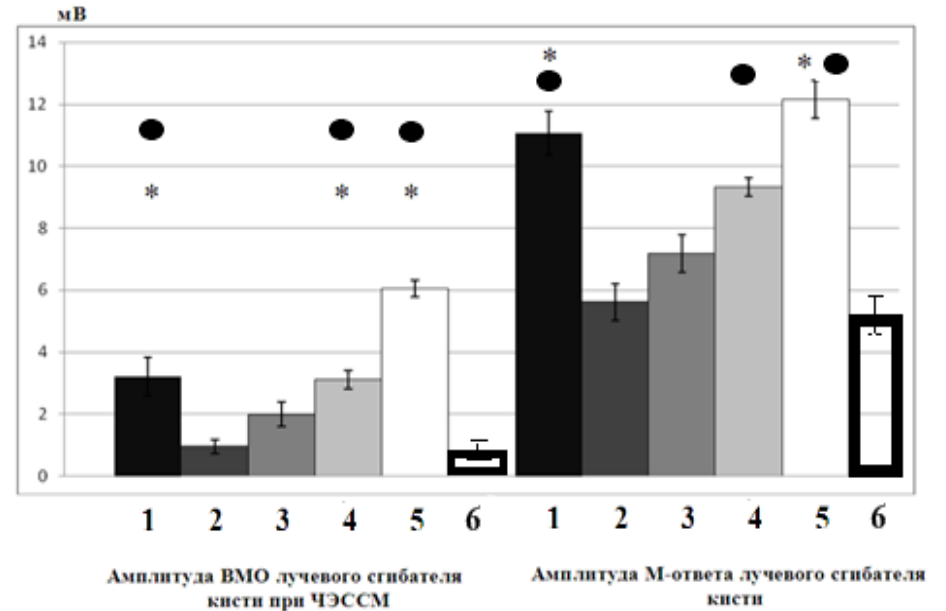
несколько выше, чем у пауэрлифтеров ($p>0,05$), но ниже, чем у баскетболистов и бегунов на средние и длинные дистанции ($p>0,05$). Показатели максимальной амплитуды ВМО и М-ответов мышц плеча, предплечья и кисти у баскетболистов были в большинстве случаев выше, чем у бегунов на средние дистанции и приближались к таковым у стайеров (приложение В). Между значениями максимальной амплитуды ВМО и М-ответов антагонистических мышц верхней конечности существенных различий не обнаружено, поэтому на рисунке 20 в качестве примера представлены результаты анализа показателей данных параметров мышц-сгибателей верхней конечности у обследованных лиц.

Обнаружено, что максимальная амплитуда мышц, расположенных более дистально, значительно выше, чем у проксимальных мышц. Выявлено также, что наибольшие значения амплитуды были зафиксированы при электростимуляции периферических нервов плечевого сплетения, а при ЧЭССМ максимальная амплитуда ВМО мышц плеча, предплечья и кисти была значительно ниже (Рисунок 20; приложение В).

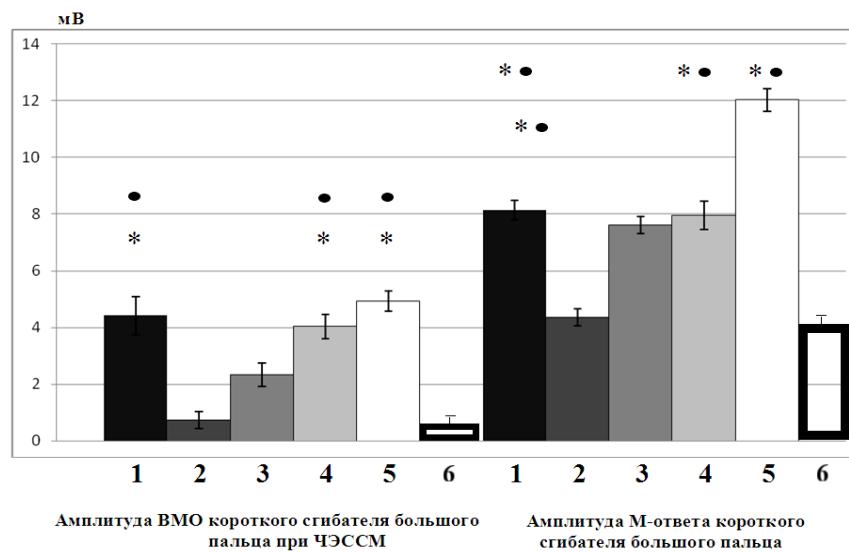
В результате анализа показателей длительности ВМО и М-ответов тестируемых мышц у нетренированных лиц было установлено, что они превышали таковые у представителей различных видов спорта. Более существенные и достоверно значимые различия между группами нетренированных и тренированных лиц в основном выявлены при электростимуляции периферических нервов плечевого сплетения. У спортсменов наименьшие величины данных параметров в большинстве случаев регистрировались у пауэрлифтеров и спринтеров, а самые высокие - у стайеров, к которым приближались таковые, полученные в группе баскетболистов.



А



Б



В

Примечания.

1. Достоверные отличия от группы: * - пауэрлифтеров

● - нетренированных лиц

2. Легенда к рисунку:

1 – группа баскетболистов; 2 – группа пауэрлифтеров; 3 – группа легкоатлетов-бегунов на короткие дистанции; 4 – группа легкоатлетов-бегунов на средние дистанции; 5 – группа легкоатлетов-бегунов на длинные дистанции; 6 – группа нетренированных лиц

Рисунок 20 - Значения амплитуды ВМО и М-ответов мышц плеча, предплечья и кисти у спортсменов и нетренированных лиц при электрической стимуляции разных отделов нервной системы (мВ)

У бегунов на средние дистанции длительность ВМО и М-ответов изучаемых мышц в основном была выше, чем у пауэрлифтеров и спринтеров, но ниже, чем у игроков и, соответственно, стайеров. При ЧЭССМ в большинстве случаев достоверных различий в показателях длительности вызванных ответов мышц между группами спортсменов не обнаружено, за исключением ВМО локтевого разгибателя кисти, длительность которого у пауэрлифтеров в среднем составила $11,20 \pm 0,81$ мс и была ниже на 22,4%, чем у баскетболистов ($p=0,03$), на 18,7%, чем у спринтеров ($p=0,04$), а также на 21,9% и 26% по сравнению с бегунами на средние ($p=0,02$) и длинные ($p=0,002$) дистанции. У пауэрлифтеров и спринтеров показатели длительности М-ответов мышц плеча, предплечья и кисти в основном были достоверно ниже, чем у стайеров (приложение В).

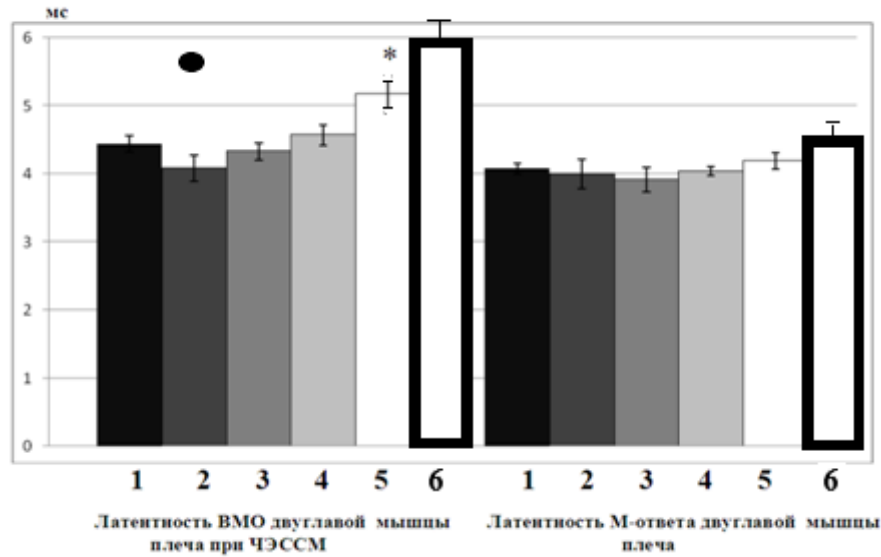
Сравнительный анализ показателей длительности ВМО при ЧЭССМ и М-ответов антагонистических мышц во всех обследованных группах, как и при МС различных структур нервной системы, не выявил существенных различий. В результате исследования также было установлено, что значения длительности ВМО при ЧЭССМ несколько превышали показатели М-ответов, но различия между ними были несущественными. Кроме того, достоверных различий в показателях длительности ВМО и М-ответов проксимальных и дистальных мышц верхней конечности не обнаружено (приложение В).

При ЧЭССМ и электростимуляции периферических нервов было установлено, что показатели латентности ВМО и М-ответов у спортсменов, специализирующихся в пауэрлифтинге и легкоатлетическом беге на короткие дистанции, были несколько ниже соответствующих величин у баскетболистов и бегунов на средние дистанции и значительно ниже, чем у стайеров. Между группами в ряде случаев обнаружены статистически значимые различия в показателях. Величины данного параметра у нетренированных лиц были выше, чем у спортсменов, в ряде случаев это превышение было достоверно значимым

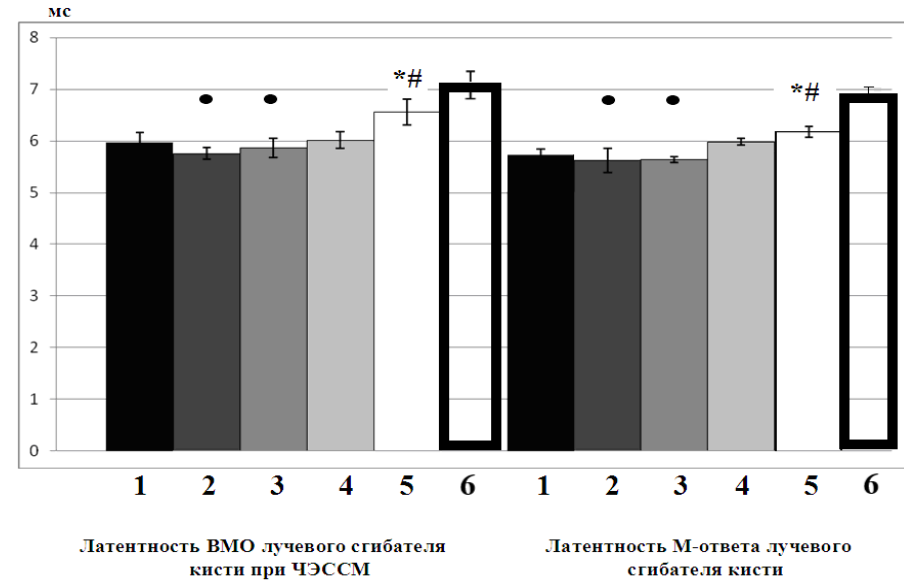
(приложение В). Рисунок 21 в качестве примера демонстрирует значения латентности данных параметров проксимальных и дистальных мышц-сгибателей, так как сравнительный анализ не выявил существенных различий между показателями латентности ВМО и М-ответов антагонистических тестируемых мышц верхней конечности во всех группах испытуемых.

Установлено также, что латентные периоды ВМО мышц плеча, предплечья и кисти у обследованных лиц были больше, чем латентность М-ответов, однако достоверно значимых различий между показателями данных параметров не выявлено (Рисунок 21, А-В; приложение В). Наблюдается, что латентность ВМО увеличивалась с возрастанием расстояния между мышцей и спинным мозгом. Такое изменение латентности ВМО продемонстрировано на рисунке 21. Так, латентный период ВМО короткого сгибателя большого пальца кисти у участников исследования был больше соответствующей величины у лучевого сгибателя кисти, а латентность ВМО двуглавой мышцы плеча была меньше, чем у лучевого сгибателя кисти и соответственно короткого сгибателя пальца кисти. Такие же различия были обнаружены и между латентными периодами М-ответов мышц плеча, предплечья и кисти (Рисунок 21; приложение В).

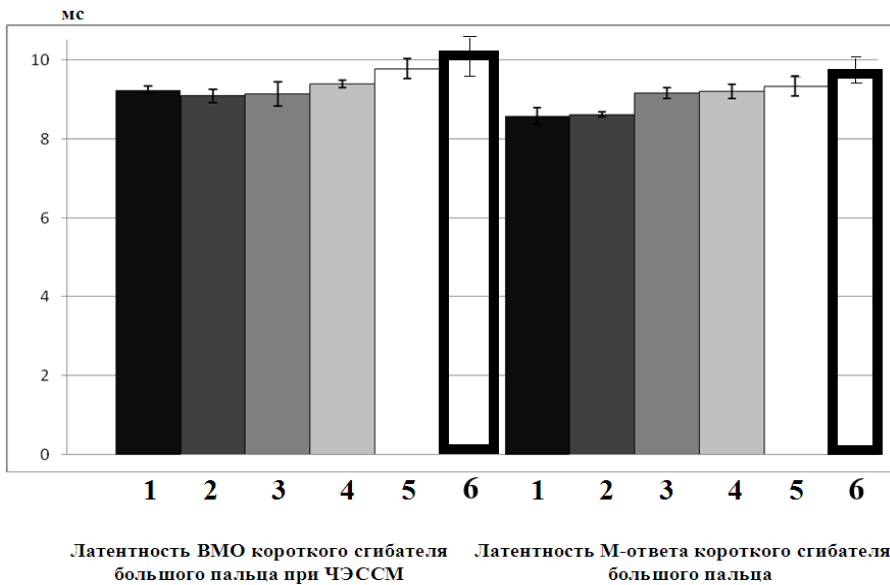
Далее у разных групп спортсменов и нетренированных лиц были обнаружены отличия в форме ВМО и М-ответов тестируемых мышц верхней конечности (пример записи представлен на рисунке 22). В частности, у пауэрлифтеров и спринтеров амплитуда и общая длительность вызванных потенциалов мышц при ЧЭССМ и электростимуляции периферических нервов были значительно меньше по сравнению с другими группами спортсменов, особенно в сравнении со стайерами, у которых эти параметры были самыми высокими среди представителей рассматриваемых видов спорта.



А



Б



В

Примечания.

1. Достоверные отличия от группы: * - пауэрлифтеров

#- легкоатлетов-бегунов на короткие дистанции

● - нетренированных лиц

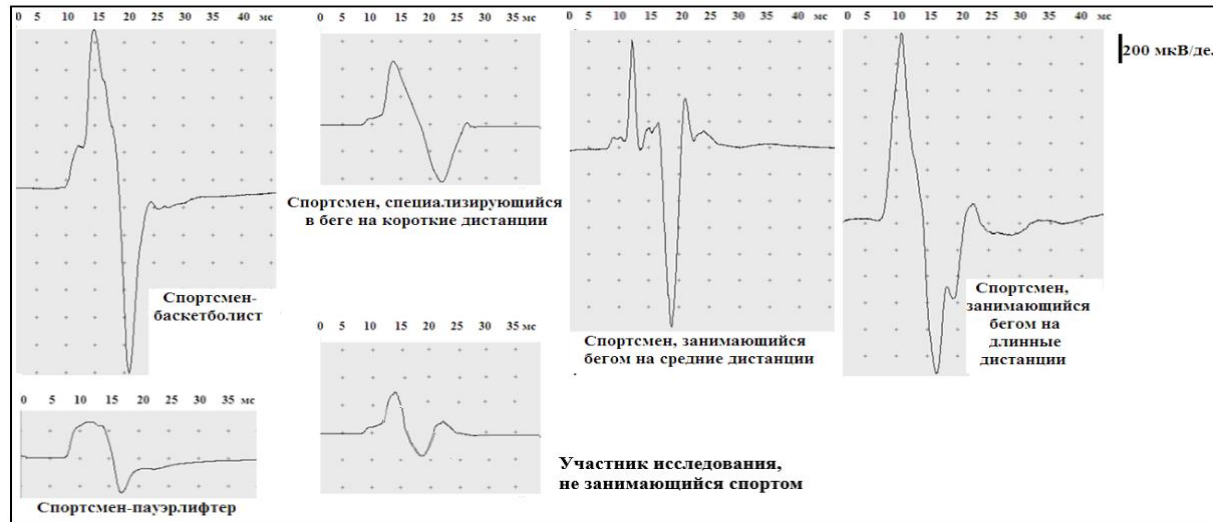
2. Легенда к рисунку:

1 – группа баскетболистов; 2 – группа пауэрлифтеров; 3 – группа легкоатлетов-бегунов на короткие дистанции; 4 – группа легкоатлетов-бегунов на средние дистанции; 5 – группа легкоатлетов-бегунов на длинные дистанции; 6 – группа нетренированных лиц

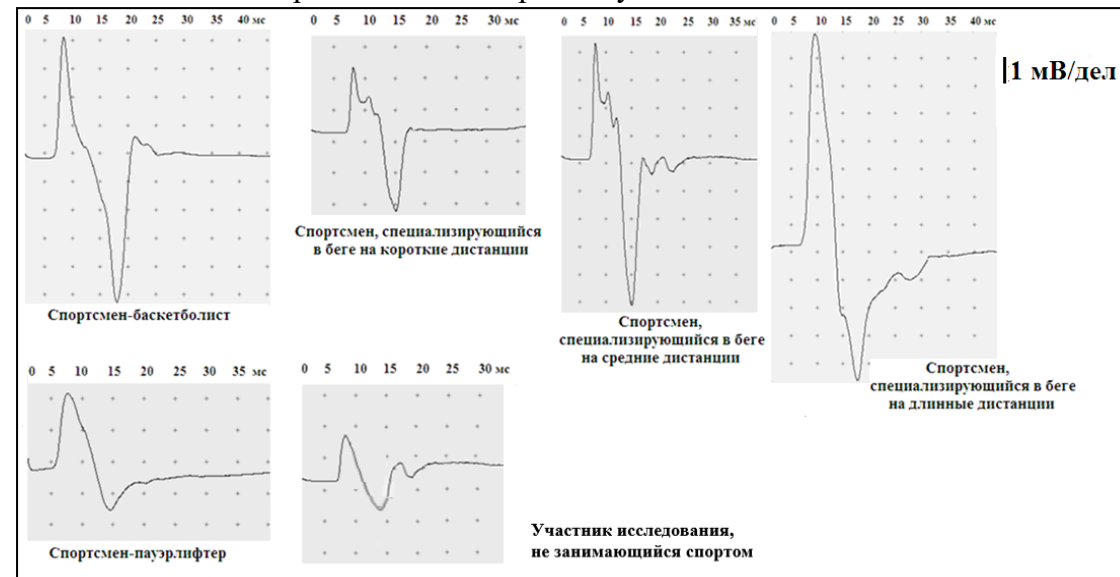
Рисунок 21 - Значения латентности ВМО и М-ответов мышц плеча, предплечья и кисти у спортсменов и нетренированных лиц при электрической стимуляции разных отделов нервной системы (мс)

Следует отметить, у представителей легкоатлетического бега форма ВМО и М-ответов характеризуется полифазностью и (или) псевдофазностью потенциалов, в отличие от других групп спортсменов. От групп спортсменов у нетренированных участников исследования ВМО и М-ответы в основном отличались меньшей амплитудой вызванных потенциалов (Рисунок 22).

В заключении необходимо, на наш взгляд, обсудить следующий аспект. В подпункте 3.1. настоящей работы был представлен материал, который включал в себя анализ параметров ВМО мышц плеча, предплечья и кисти у спортсменов различных специализаций, зарегистрированных при магнитном стимуляционном воздействии на двигательную кору головного мозга, спинномозговые структуры и периферические нервы. Определенный интерес представляет сопоставление особенностей ВМО этих мышц при МС разных отделов нервной системы с их ответами, которые были получены при электрической стимуляции центральных и периферических нервных структур у лиц, адаптированных к физическим нагрузкам разного характера, и не занимающихся спортом. Сравнительный анализ таких данных показал, что одинаково, как при ТМС, так и при разных видах стимуляции спинного мозга и периферии самый низкий порог возбуждения исследуемых мышц был выявлен у легкоатлетов-бегунов на длинные дистанции, а самый высокий – у пауэрлифтеров и спринтеров.



А – Чрескожная электростимуляция спинного мозга



Б – Электрическая стимуляция периферических нервов плечевого сплетения (точка Эрба)

Рисунок 22 - Образцы записи ВМО (А) и М-ответа (Б) лучевого сгибателя кисти у спортсменов и нетренированного участника исследования при электростимуляции разных отделов нервной системы

У баскетболистов и бегунов на средние дистанции порог возбуждения мышц верхней конечности был ниже, чем у пауэрлифтеров и спринтеров, но выше, чем у стайеров. Пороговые величины у нетренированных лиц превышали таковые у спортсменов, при этом более существенно они отличались от группы стайеров и менее – от спринтеров и пауэрлифтеров. Однако напрямую провести сопоставление количественных показателей порогов мышечных ответов, вызываемых магнитной и электрической стимуляцией ЦНС и периферических отделов, не представляется возможным, так как при ТМС и МС они измерялись в % от выходной мощности стимулятора и в теслах, а при электростимуляции – в мА.

Далее анализ данных показал, что возбудимость моторной коры мышц плеча, предплечья и кисти, сегментарных и соответствующих периферических структур, иннервирующих данные мышцы, которая оценивалась по величинам максимальной амплитуды ВМО была самой высокой у стайеров, у которых ее уровень был значительно выше, чем у пауэрлифтеров и спринтеров и несущественно превышал таковой у баскетболистов и бегунов на средние дистанции. В сравнении с группами спортсменов у нетренированных лиц зарегистрирована самая низкая возбудимость центральных и периферических нервных структур. Обращает на себя внимание тот факт, что у представителей всех обследованных групп значения максимальной амплитуды сегментарных ВМО мышц плеча, предплечья и кисти, полученные при ЧЭССМ на уровне позвонков С6-С7, находились в диапазоне 0,40-6,05 мВ, которые значительно превышали величины максимальной амплитуды мышечных ответов при МС на этом же уровне – 0,09-1,04 мВ и корковых ВМО этих мышц, диапазон которых составил 0,04-1,12 мВ. При электростимуляции периферических нервов значения максимальной амплитуды М-ответов мышц руки варьировали в диапазоне 3,15-12,15 мВ, а при МС периферии данный параметр для ВМО – 1,80-6,1 мВ.

Установлено также, что длительность и латентность мышечных потенциалов, вызываемых посредством электро- и магнитной стимуляции центральных и периферических нервных структур, у нетренированных лиц были выше, чем у тренированных. Среди всех групп спортсменов величины данных параметров у стайеров были самыми высокими, у пауэрлифтеров и спринтеров - наименьшими, а у баскетболистов и бегунов на средние дистанции данные показатели были меньше, чем у стайеров, но больше, чем у тяжелоатлетов и спринтеров. Сопоставление значений длительности ВМО между стимуляцией корковых и спинномозговых структур не выявило достоверных отличий этого параметра в шести обследованных группах. Диапазон значений длительности корковых ВМО составил в среднем 9,40-19,00 мс, сегментарных ВМО при ЧЭССМ – 10,76-16,73 мс, а при МС – 7,92-17,15 мс. При электро- и магнитной стимуляции периферических нервов количественные величины длительности вызванных ответов мышц также значительно между собой не отличались: в первом случае величины были от 8,74 до 15,56 мс, а во втором – 10,53-16,12 мс.

В отношении латентных периодов складывалась несколько иная картина. Так, значения латентного периода корковых ВМО у испытуемых находились в диапазоне 11,72-23,07 мс, который был существенно выше величин данного параметра, зарегистрированных при электрической (4,08-10,16 мс) и магнитной (5,34-12,01 мс) стимуляции спинного мозга на уровне С6-С7 позвонков. Диапазон показателей латентного периода М-ответов мышц верхней конечности был от 3,92 до 9,78 мс и не отличался от такового у латентности ВМО при МС периферических нервов (3,87-10,23 мс).

Таким образом, наблюдалась примерно одинаковая направленность количественных величин моторных ответов, зарегистрированных при обоих видах стимуляционного воздействия как у спортсменов в зависимости от их специализации, так и у лиц, не занимающихся спортом. При этом на корковом уровне количественные величины параметров ответов мышц плеча, предплечья и кисти существенно отличались от таковых,

зарегистрированных при стимуляции сегментарного и, тем более, периферического уровней. Следует отметить, что при электрической стимуляции спинномозговых структур и соответствующего периферического нервного отдела достигается повышенная амплитуда ответов с мышц руки по сравнению с магнитной стимуляцией этих зон. В подглаве 3.4 мы проведем сравнительный анализ характеристик мышечных ответов с нижней конечности, полученных при использовании электрической и магнитной стимуляции различных отделов нервной системы.

3.4 Анализ характеристик вызванных ответов мышц бедра, голени и стопы при электростимуляции поясничного утолщения спинного мозга и периферических нервов у спортсменов и нетренированных лиц

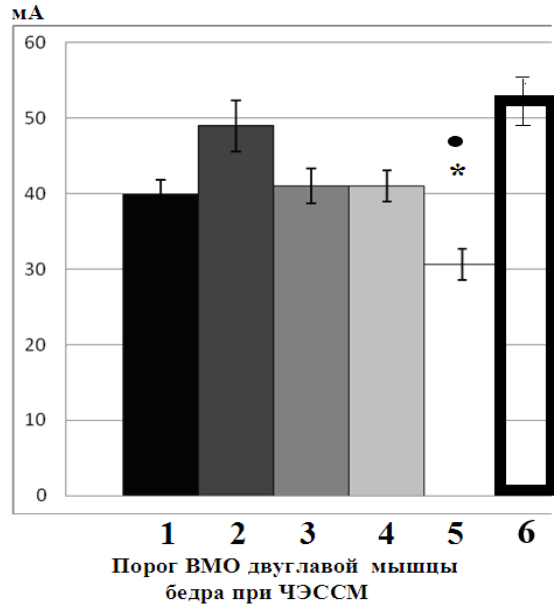
В данной серии исследований также приняли участие спортсмены, специализирующиеся в баскетболе, пауэрлифтинге, легкоатлетическом беге на короткие, средние и длинные дистанции, а также лица, не занимающиеся спортом. У представителей этих групп осуществляли регистрацию ВМО двуглавой и прямой мышц бедра, камбаловидной и передней большеберцовой мышц, коротких сгибателя и разгибателя пальцев стопы при чрескожной электростимуляции поясничного утолщения спинного мозга и М-ответов мышц бедра (только с прямой мышцы бедра, так как с двуглавой мышцей бедра М-ответ не регистрируется), голени и стопы при электрической стимуляции периферических нервов, которые иннервируют данные мышцы.

В приложении Г приведены среднегрупповые показатели порогов ВМО и М-ответов тестируемых мышц нижней конечности у представителей всех обследованных групп. Результаты проведенного исследования показали, что пороги ВМО и М-ответов тестируемых мышц бедра, голени и стопы у нетренированных лиц были выше, чем у тренированных, тогда как у бегунов

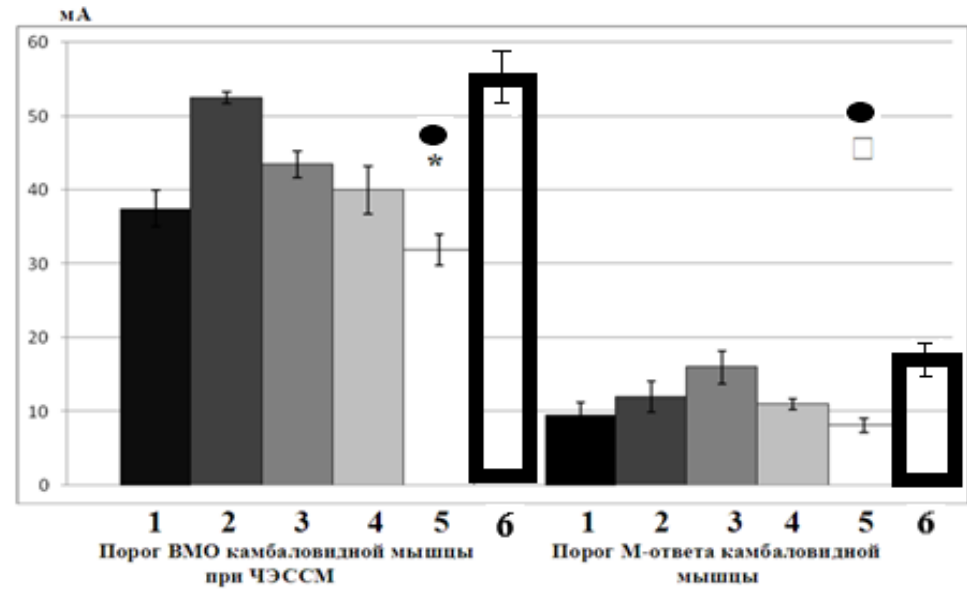
на длинные дистанции пороговые величины оказались самыми низкими по сравнению со спортсменами других групп. При этом более значимо они отличались от таковых, зарегистрированных у пауэрлифтеров и спринтеров, и менее значимо – от показателей баскетболистов и бегунов на средние дистанции. Следует отметить, что среди всех обследованных групп спортсменов самые высокие пороги ВМО мышц нижней конечности зарегистрированы у пауэрлифтеров, а наибольшие пороговые величины М-ответов тестируемых мышц – у спринтеров (приложение Г).

В результате статистического анализа полученных данных существенных различий в количественных показателях пороговых величин ВМО и М-ответов антагонистических мышц нижней конечности внутри каждой обследованной группы не обнаружено. В связи с этим на рисунке 30 в качестве примера продемонстрированы пороговые величины ВМО и М-ответа некоторых мышц бедра, голени и стопы у испытуемых обследованных групп. Так, при ЧЭССМ порог ВМО двуглавой мышцы бедра у нетренированных лиц составил в среднем по группе $52,58 \pm 3,96$ мА, достоверно превышающий данный показатель у пауэрлифтеров ($p=0,03$) и недостоверно по сравнению со спортсменами других групп ($p>0,05$). У пауэрлифтеров он составил $49,00 \pm 4,43$ мА, который был выше на 59,9 %, чем у стайеров ($p=0,04$), на 19,5 % в сравнении с бегунами на средние дистанции ($p>0,05$), а также на 22,5 % и 19,5 %, чем у баскетболистов ($p>0,05$) и спринтеров ($p>0,05$) соответственно (Рисунок 23, А; приложение Г).

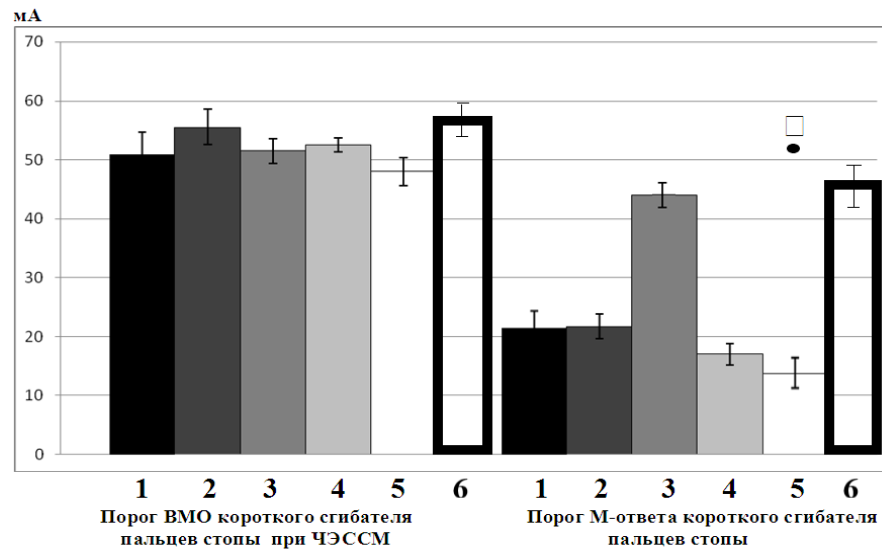
Рисунок 23 (Б, В) также демонстрирует, что пороги ВМО и М-ответов мышц голени и стопы у нетренированных лиц превышали таковые у тренированных, а среди пяти групп спортсменов самые высокие пороги ВМО камбаловидной мышцы и короткого сгибателя пальцев стопы регистрировались у пауэрлифтеров, а наибольшие пороги М-ответов - у бегунов на короткие дистанции.



А



Б



В

Примечания.

1. Достоверные отличия от группы: * - пауэрлифтеров

□ - группы спринтеров

● - нетренированных лиц

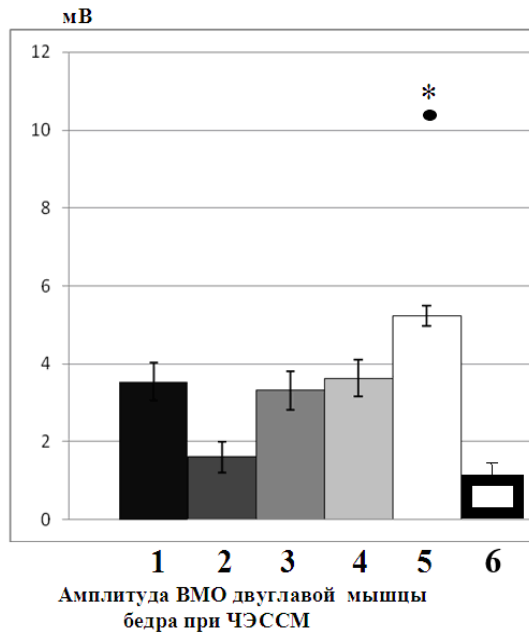
2. Легенда к рисунку:

1 – группа баскетболистов; 2 – группа пауэрлифтеров; 3 – группа легкоатлетов-бегунов на короткие дистанции; 4 – группа легкоатлетов-бегунов на средние дистанции; 5 – группа легкоатлетов-бегунов на длинные дистанции; 6 – группа нетренированных лиц

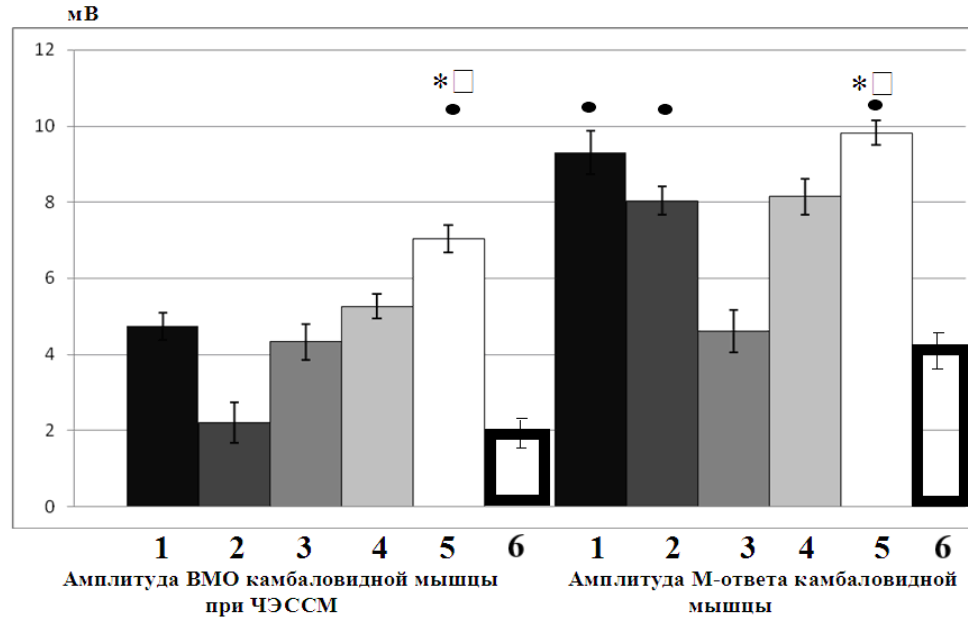
Рисунок 23 - Значения порогов ВМО и М-ответов мышц нижней конечности у спортсменов и нетренированных лиц при электрической стимуляции разных отделов нервной системы (mA)

При сопоставлении пороговых значений ВМО и М-ответов мышц бедра, голени и стопы, находящихся на разном удалении от ЦНС, было установлено, что пороги возбуждения мышц, расположенных дистально, несколько превышали таковые у проксимальных мышц, но достоверных отличий не обнаружено. Кроме того пороги возбуждения тестируемых мышц нижней конечности при стимуляции периферических нервов были значительно ниже, чем при ЧЭССМ (Рисунок 23, А-В; приложение Г). Исследования также показали, что пороговые значения ВМО для мышц нижней конечности были существенно выше, чем для верхней, при этом различия для проксимально расположенных мышц (плеча и бедра) составили от 20% до 60%, а для дистальных (предплечья-голени и кисти-стопы) – от 29% до 53%. Пороги М-ответов мышц нижней конечностей также были выше, чем для верхней, различия для проксимальных мышц составили от 13% до 36%, а для дистальных – от 31% до 74%.

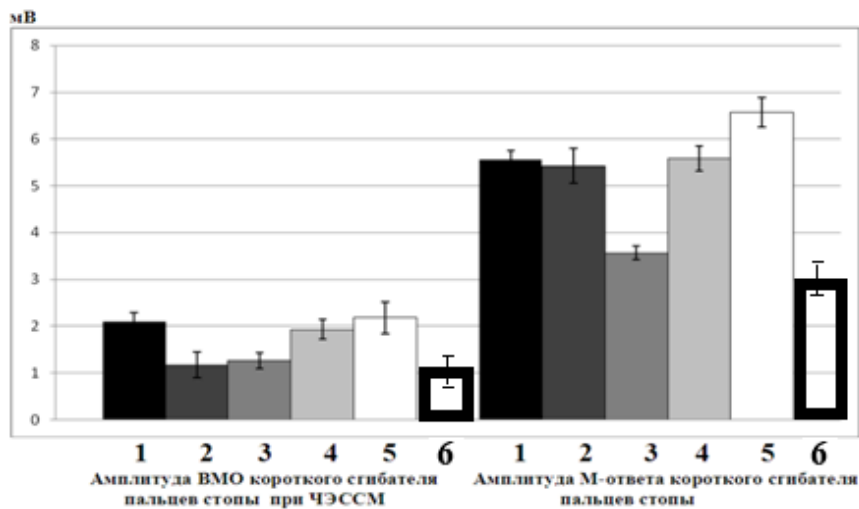
Самые низкие показатели максимальной амплитуды ВМО тестируемых мышц среди шести групп испытуемых регистрировались у нетренированных лиц, а среди спортсменов - у пауэрлифтеров. Наименьшая амплитуда М-ответов мышц обнаружена у нетренированных лиц по сравнению со спортсменами, а среди групп спортсменов – у спринтеров. Более существенные различия обнаружены между пауэрлифтерами и спринтерами – с одной стороны и стайерами – с другой, так как у последних получены самые высокие величины максимальной амплитуды ВМО и М-ответов среди всех обследованных групп. Показатели максимальной амплитуды ВМО и М-ответов мышц бедра, голени и стопы у баскетболистов и бегунов на средние дистанции в основном существенно между собой не отличались и были ниже, чем у стайеров (приложение Г). Между значениями максимальной амплитуды ВМО и М-ответов антагонистических мышц нижней конечности существенных различий не обнаружено, поэтому на рисунке 24 в качестве примера представлены результаты анализа показателей данных параметров мышц-сгибателей нижней конечности у обследованных лиц.



А



Б



В

Примечания.

1. Достоверные отличия от группы: * - пауэрлифтеров

□ - спринтеров

● - нетренированных лиц

2. Легенда к рисунку:

1 – группа баскетболистов; 2 – группа пауэрлифтеров; 3 – группа легкоатлетов-бегунов на короткие дистанции; 4 – группа легкоатлетов-бегунов на средние дистанции; 5 – группа легкоатлетов-бегунов на длинные дистанции; 6 – группа нетренированных лиц

Рисунок 24 - Значения амплитуды ВМО и М-ответов мышц нижней конечности у спортсменов и нетренированных лиц при электрической стимуляции разных отделов нервной системы (мВ)

Выявлено также, что наибольшие значения амплитуды были зафиксированы при электростимуляции периферических нервов нижней конечности, а при ЧЭССМ максимальная амплитуда ВМО мышц бедра, голени и стопы была значительно ниже (Рисунок 24; приложение Г).

Далее обсудим показатели длительности ВМО и М-ответов мышц бедра, голени и стопы в обследованных группах. Исследования показали, что, в большинстве случаев, наименьшие величины длительности ВМО и М-ответов регистрировались у спринтеров, к которым максимально были приближены значения у пауэрлифтеров. У баскетболистов и бегунов на средние дистанции длительность мышечных ответов в основном была несколько выше по сравнению с предыдущими спортсменами, но ниже, чем у стайеров. По сравнению с группами спортсменов величины данного параметра у нетренированных лиц были выше, при этом более существенно они превышали таковые у пауэрлифтеров и спринтеров. Статистический анализ в ряде случаев выявил достоверные различия в показателях между группами. Сравнительный анализ показателей длительности ВМО и М-ответов антагонистических мышц, а также между проксимальными и дистальными мышцами не выявил существенных различий. Кроме того не обнаружено достоверных различий между показателями длительности ВМО и М-ответов мышц нижней конечности (приложение Г).

Результаты исследования показали, что в большинстве случаев наименьшие величины латентности ВМО и М-ответов регистрировались у спринтеров, а наибольшие – у стайеров среди всех обследованных групп спортсменов. Показатели латентных периодов ВМО и М-ответов мышц бедра, голени и стопы у пауэрлифтеров были максимально приближены к соответствующим величинам у спринтеров. У баскетболистов и бегунов на средние дистанции латентность ВМО и М-ответов была больше, чем у пауэрлифтеров и спринтеров, но меньше, чем у стайеров. Между группами в ряде случаев обнаружены статистически значимые различия в показателях (приложение Г). Так как сравнительный анализ не выявил существенных

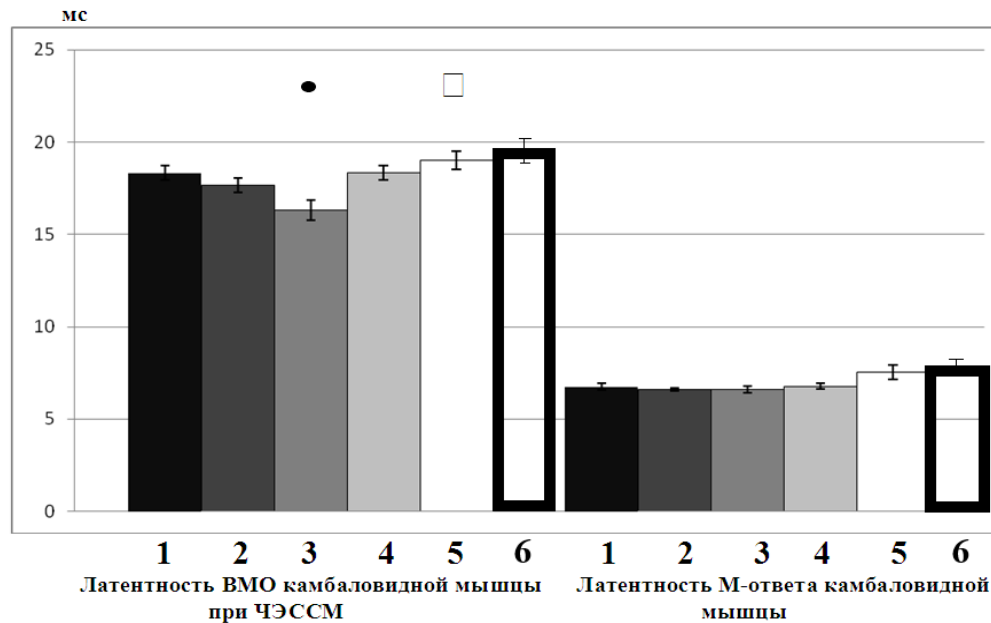
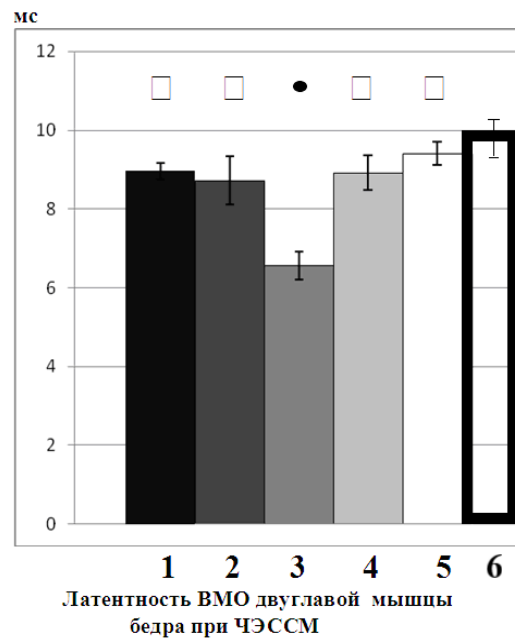
различий между латентными периодами ВМО и М-ответов антагонистических мышц нижней конечности, то рисунок 25 в качестве примера демонстрирует величины данного параметра для мышц-сгибателей нижней конечности у обследованных лиц.

Установлено, что во всех группах испытуемых латентные периоды ВМО мышц бедра, голени и стопы были значительно больше, чем латентность М-ответов (Рисунок 25, А-В; приложение Г). Вместе с тем наблюдается, что латентность ВМО увеличивалась с возрастанием расстояния между мышцей и стимулируемыми структурами спинного мозга. Такое изменение латентности ВМО продемонстрировано на рисунке 25. Так, например, латентный период ВМО короткого сгибателя пальцев стопы у участников исследования был больше соответствующей величины камбаловидной мышцы, а латентность ВМО двуглавой мышцы бедра была меньше, чем у камбаловидной мышцы и соответственно короткого сгибателя пальцев стопы. Вместе с тем, латентность М-ответов мышц стопы превышала таковую у мышц голени и стопы (Рисунок 25; приложение Г).

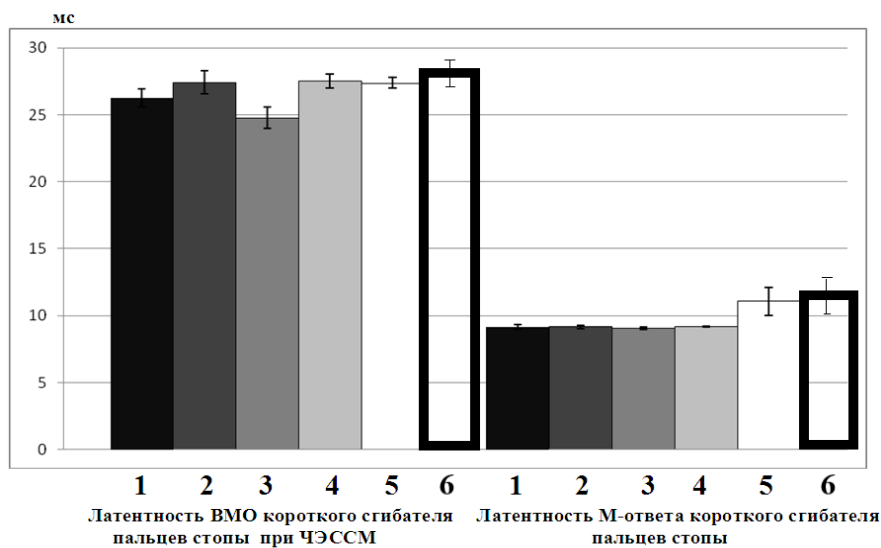
В результате анализа формы ВМО и М-ответов тестируемых мышц нижней конечности в группах спортсменов и нетренированных лиц были выявлены некоторые отличительные особенности (пример оригинальной записи вызванных ответов камбаловидной мышцы представлен на рисунке 26, А, Б). Так, у пауэрлифтеров и спринтеров амплитуда и общая длительность мышечных ответов при ЧЭССМ и электростимуляции периферических нервов были значительно меньше, чем в других группах спортсменов, особенно в сравнении со стайерами, у которых эти параметры были самыми высокими среди представителей рассматриваемых видов спорта. Наряду с этим, у большинства бегунов на средние и длинные дистанции наблюдалась полифазная форма ВМО и М-ответов, тогда как у спортсменов других групп полифазность вызванных мышечных потенциалов была обнаружена лишь в некоторых случаях. От групп спортсменов у

нетренированных участников исследования ВМО и М-ответы в основном отличались меньшей амплитудой вызванных потенциалов (Рисунок 26).

В заключение данного раздела работы проведем сопоставление характеристик ВМО мышц бедра, голени и стопы при МС разных отделов нервной системы с таковыми, которые были получены при электрической стимуляции центральных и периферических нервных структур у представителей различных видов спорта и нетренированных лиц. Обнаружено, что одинаково, как при ТМС корковой зоны, так и при разных видах стимуляции спинного мозга и периферических нервов пороги возбуждения исследуемых мышц нижней конечности у нетренированных лиц были выше, чем у тренированных. Среди спортсменов самые низкие пороги мышечных ответов выявлены у легкоатлетов-бегунов на длинные дистанции, а самые высокие – у пауэрлифтеров и, в ряде случаев, у спринтеров. У баскетболистов и бегунов на средние дистанции при стимуляции различных отделов нервной системы независимо от вида стимуляционного воздействия порог возбуждения мышц бедра, голени и стопы был ниже, чем у пауэрлифтеров и спринтеров, но выше, чем у стайеров. Однако провести прямое сопоставление количественных показателей порогов мышечных ответов, вызываемых магнитной и электрической стимуляцией ЦНС и периферических отделов, мы не можем, потому что при ТМС и МС они измерялись в % от выходной мощности стимулятора и в теслах, а при электростимуляции – в мА.



А



В

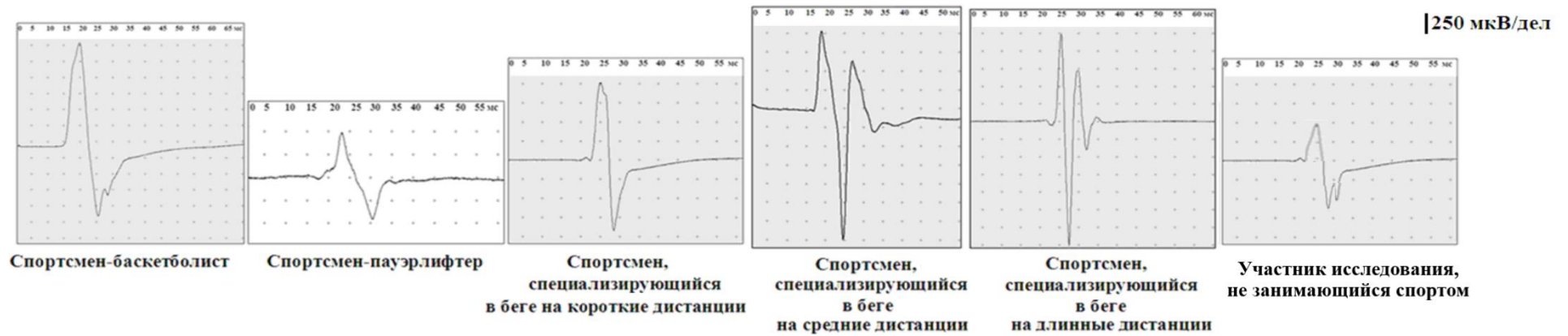
Примечания.

1. Достоверные отличия от группы: □ - спринтеров
● - нетренированных лиц

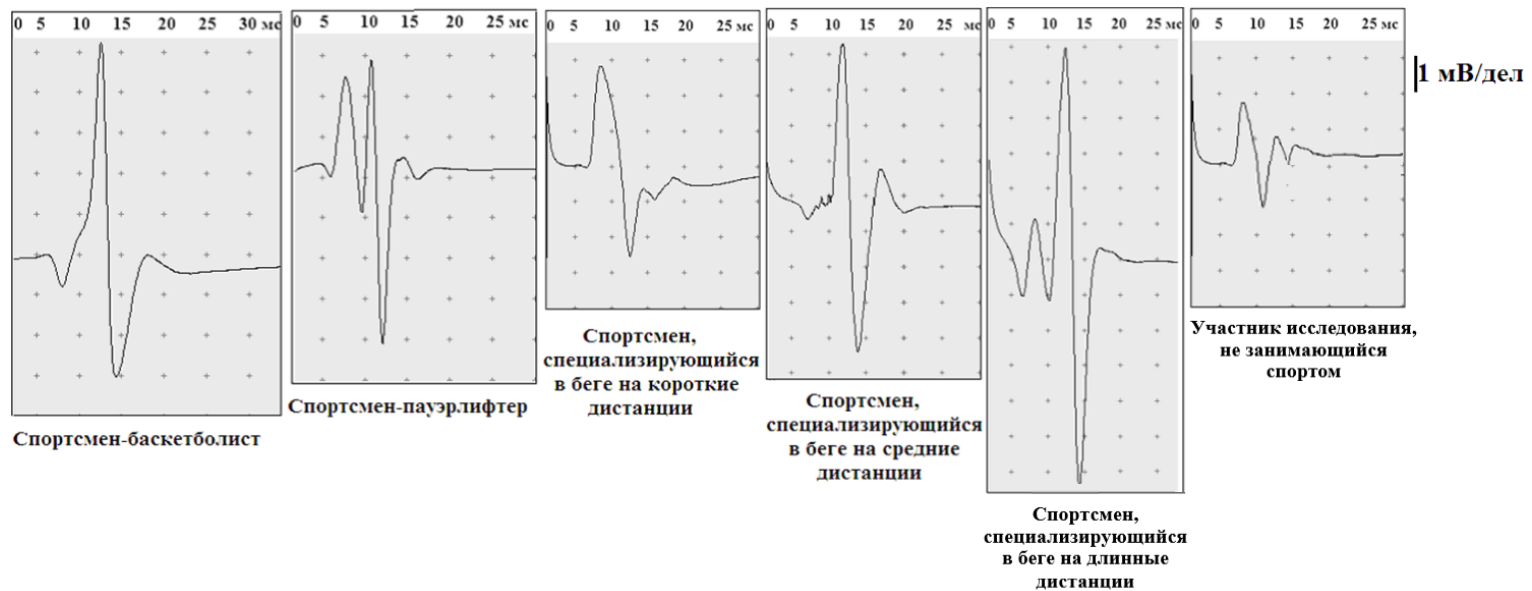
2. Легенда к рисунку:

1 – группа баскетболистов; 2 – группа пауэрлифтеров; 3 – группа легкоатлетов-бегунов на короткие дистанции; 4 – группа легкоатлетов-бегунов на средние дистанции; 5 – группа легкоатлетов-бегунов на длинные дистанции; 6 – группа нетренированных лиц

Рисунок 25 - Значения латентности ВМО и М-ответов мышц нижней конечности у спортсменов и нетренированных лиц при электрической стимуляции разных отделов нервной системы (мс)



А – Чрескожная электростимуляция спинного мозга



Б – Электрическая стимуляция большеберцового нерва

Рисунок 26 - Образцы записи ВМО (А) и М-ответа (Б) камбаловидной мышцы у спортсменов и нетренированного участника исследования при электростимуляции разных отделов нервной системы

Далее анализ данных показал, что возбудимость моторной коры мышц бедра, голени и стопы, а также сегментарных и соответствующих периферических структур, иннервирующих данные мышцы, которая оценивалась по величинам максимальной амплитуды ВМО была самой высокой у стайеров, у которых ее уровень был значительно выше, чем у пауэрлифтеров и спринтеров и несущественно превышал таковой у баскетболистов и бегунов на средние дистанции. При этом у спортсменов возбудимость центральных и периферических нервных структур была выше, чем у нетренированных лиц. Обращает на себя внимание тот факт, что значения максимальной амплитуды сегментарных ВМО мышц бедра, голени и стопы, полученные при ЧЭССМ, в шести группах находились в диапазоне 0,50-7,03 мВ, которые значительно превышали величины максимальной амплитуды мышечных ответов при МС поясничного утолщения спинного мозга – 0,04-0,78 мВ и корковых ВМО этих мышц, диапазон которых составил 0,05-0,56 мВ. При электростимуляции периферических нервов значения максимальной амплитуды М-ответов мышц нижней конечности варьировали в диапазоне 3,05-9,82 мВ, а при МС периферии величины данного параметра для ВМО были в пределах 2,20-7,30 мВ. При этом рассчитанные в шести группах испытуемых величины отношения максимальной амплитуды ВМО при ЧЭССМ на уровне позвонков T12-L1 к максимальной амплитуде М-ответа мышц бедра, голени и стопы, диапазон которых составил 11,6-69,5 %, значительно превышал таковой (1,02-10,97 %) для величин сегментарного амплитудного коэффициента, равного отношению максимальной амплитуды ВМО при МС на уровне T12-L1 и максимальной амплитуды М-ответа мышц нижней конечности.

Выявлено также, что независимо от используемого вида стимуляционного воздействия на различные зоны нервной системы у стайеров длительность и латентность вызванных потенциалов мышц нижней конечности были самыми высокими среди всех групп спортсменов, тогда как у пауэрлифтеров и спринтеров их величины были наименьшими, а у

баскетболистов и бегунов на средние дистанции данные показатели были меньше, чем у стайеров, но больше, чем у тяжелоатлетов и спринтеров. У нетренированных лиц величины данных параметров были значительно выше, чем у пауэрлифтеров и стайеров и незначительно отличались от группы стайеров.

Сопоставление значений длительности ВМО между стимуляцией корковых и спинномозговых структур не выявило достоверных отличий этого параметра. Диапазон значений длительности корковых ВМО составил в среднем 6,49-17,95 мс, сегментарных ВМО при ЧЭССМ – 10,59-16,89 мс, а при МС – 8,08-19,11 мс. При электро- и магнитной стимуляции периферических нервов нижней конечности количественные характеристики длительности вызванных потенциалов мышц также значительно между собой не отличались: в первом случае величины были от 11,26 до 17,48 мс, а во втором – 9,03-16,67 мс.

В отношении латентных периодов наблюдалась несколько иная картина. Так, значения латентного периода корковых ВМО у испытуемых находились в диапазоне 21,99-40,22 мс, который был существенно выше величин данного параметра, зарегистрированных при электрической (6,56-28,23 мс) и магнитной (6,69-22,95 мс) стимуляции поясничного утолщения спинного мозга. В свою очередь, диапазон показателей латентного периода М-ответов мышц нижней конечности был от 4,36 до 12,39 мс и существенно не отличался от такового у латентности ВМО при МС соответствующих периферических нервов (3,09-10,02 мс).

Резюмируя все вышеизложенное можно заключить, что при различных видах стимуляции нервных структур наблюдалась примерно одинаковая направленность характеристик вызванных потенциалов мышц ног у спортсменов в зависимости от их специализации и лиц, не занимающихся спортом. При этом на корковом уровне количественные величины параметров ответов мышц бедра, голени и стопы существенно отличались от тех, которые зарегистрированы при стимуляции сегментарного уровня и

соответствующего периферического отдела. Следует также отметить, что при электрической стимуляции спинномозговых и периферических структур вызывались ответы с мышц нижней конечности с более высокой амплитудой по сравнению с магнитной стимуляцией этих зон. В отношении других параметров ВМО существенных различий при использовании данных видов стимуляции не обнаружено.

Аналогичная картина наблюдалась и при использовании различных видов стимуляции центральных и периферических зон, иннервирующих мышцы верхней конечности. Таким образом, наблюдается определенное сходство физиологических механизмов формирования вызванных ответов скелетных мышц при электрической и магнитной стимуляции нейрональных и периферических нервных структур, однако количественная выраженность параметров моторных ответов (в частности, амплитуды) зависит от вида стимуляционного воздействия.

Заключение по подглавам 3.3 и 3.4

Результаты исследования, представленные в подглавах 3.3 и 3.4, свидетельствуют о различиях в параметрах вызванных ответов мышц, зарегистрированных при воздействии чрескожной электростимуляции шейного и поясничного утолщений спинного мозга и электрической стимуляции периферических нервов верхней и нижней конечностей в состоянии покоя, между группами спортсменов, адаптированных к выполнению физических нагрузок различной направленности, и нетренированных лиц. Также как и в предыдущей серии исследований было установлено, что стайеры отличаются от пауэрлифтеров, бегунов на короткие и средние дистанции, баскетболистов: 1) более низкими порогами возбуждения при ЧЭССМ на уровне позвонков С6-С7, Т12-Л1 и электростимуляции периферических нервов, иннервирующих мышцы верхней и нижней конечностей; 2) более высокими значениями амплитуды вызванных ответов мышц верхней и нижней конечностей,

зарегистрированными при электрической стимуляции центральных и периферических структур нервной системы; 3) большей латентностью и длительностью мышечных ответов при электрической стимуляции различных участков нервной системы; 4) более выраженными изменениями формы ответов мышц (большей амплитудой, длительностью, псевдофазностью, полифазностью). Противоположные характеристики данных параметров обнаружены у пауэрлифтеров и спринтеров. Между группами баскетболистов и бегунов на средние дистанции существенных отличий в изучаемых параметрах ВМО, зарегистрированных при ЧЭССМ и электростимуляции периферических нервов, не обнаружено, и диапазон количественных величин анализируемых параметров у этих спортсменов занимал промежуточное положение между группами пауэрлифтеров и спринтеров – с одной стороны, и группой стайеров – с другой.

В отличие от групп спортсменов у нетренированных участников исследования регистрировались наибольшие величины порогов возбуждения мышц верхней и нижней конечностей, латентности, длительности ответов этих мышц, а форма ВМО и М-ответов в основном отличалась меньшей амплитудой ВМО при ЧЭССМ на уровне позвонков С6-С7, Т12-Л1 и электростимуляции соответствующих периферических нервов.

Установлено, что при магнитной и электрической стимуляции спинного мозга и периферических нервов наблюдалась примерно одинаковая направленность характеристик ВМО мышц у спортсменов и нетренированных лиц, но при электростимуляции вызывались ответы с более высокой амплитудой по сравнению с магнитной.

ГЛАВА 4. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

4.1 Возбудимость кортико-спинального тракта и периферических нервов у спортсменов и нетренированных лиц при магнитной и электрической стимуляции нервных структур

В нашем исследовании получены новые данные о том, что многолетняя мышечная деятельность различной направленности сопровождается процессами специфической нейрональной пластичности на корковом и спинальном уровнях ЦНС, а также характерными изменениями проводниковой функции кортико-спинальных и периферических нервных путей. Первоначально проведем сопоставление выявленных при магнитной и электрической стимуляции особенностей функциональных свойств центральных и периферических отделов нервной системы у представителей разных видов спорта и нетренированных лиц.

В результате ТМС, а также магнитной и электрической стимуляции шейного утолщения спинного мозга и соответствующих периферических структур был установлен факт более высоких порогов возбуждения мышц плеча, предплечья и кисти у нетренированных лиц, чем у тренированных, а среди групп спортсменов самые низкие пороги мышечных ответов регистрировались у легкоатлетов-бегунов на длинные дистанции, а самые высокие - у пауэрлифтеров и легкоатлетов, специализирующихся в спринтерском беге. Величины моторных порогов у баскетболистов и бегунов на средние дистанции существенно между собой не отличались и были выше, чем у стайеров, но ниже, чем у пауэрлифтеров и спринтеров. Аналогичная картина в группах спортсменов и нетренированных лиц наблюдалась при магнитной и электрической стимуляции различных структур нервной системы, иннервирующих мышцы бедра, голени и стопы.

Полученные данные свидетельствуют о более высокой возбудимости корковых нейронов, α -МН шейного и поясничного утолщений спинного

мозга и периферических нервов, иннервирующих соответственно мышцы верхней и нижней конечностей у спортсменов по сравнению с лицами, не занимающимися спортом. Что касается вариативности моторных порогов у представителей различных видов спорта, то установленный факт может объясняться функциональными свойствами тестируемых мышц, которые, в свою очередь, определяются составом входящих в них ДЕ. Имеющиеся литературные данные свидетельствуют о том, что соотношение различных типов ДЕ в мышцах спортсменов тесно связано с их спортивной специализацией. Так, для спортсменов, занимающихся силовыми видами спорта, и спринтеров характерен высокий процент быстрых ДЕ, у стайеров преобладают медленные ДЕ, а у игроков, бегунов на средние дистанции, метателей, единоборцев отмечается относительно равномерное распределение быстрых и медленных ДЕ в мышцах, несущих основную нагрузку (Скурвидас, 1988; Кизько, 2003). МН быстрых ДЕ, как известно, более крупные по величине и обладают высоким порогом рекрутирования, а, значит, более низкой возбудимостью в отличие от МН медленных (низкопороговых) ДЕ (Мак-Комас, 2001; Кизько, Кизько, 2003). Таким образом, вариативность порогов возбуждения тестируемых мышц у обследованных спортсменов может зависеть от соотношения медленных и быстрых ДЕ в мышцах, а, следовательно, от размера и уровня возбудимости их МН: более высокие по величине моторные пороги возбуждения могут объясняться превалированием быстрых ДЕ над медленными в мышцах спортсменов, выполняющих мощные и относительно кратковременные усилия, что характерно, например, для пауэрлифтинга и спринтерского бега, и, наоборот, существенное понижение данного параметра может обуславливаться противоположным соотношением таких ДЕ в мышцах спортсменов, адаптированных, в частности, к выполнению длительной работы на выносливость (стайеры).

Как известно, порог возбуждения корковых нейронов мышц туловища, нижних конечностей и таза всегда выше, чем мышц кисти, предплечья и

плечевого пояса (Eisen, 1992; Городничев и др., 2007), что подтверждается и в наших исследованиях. Так, пороговые значения корковых ВМО для мышц плеча, предплечья и кисти были существенно ниже, чем для бедра, голени и стопы. Это может быть связано с тем, что представительство верхних конечностей в двигательных зонах коры больших полушарий больше, чем для нижних, согласно схеме двигательного гомункулюса (Penfield, Rasmussen, 1950). Кроме того, более высокие пороги возбуждения для мышц нижних конечностей могут определяться наличием мультисинаптической цепи вставочных спинальных нейронов, которая участвует в непрямо́й активации α -МН (Caramia et al., 1991). Наряду с этим нами было установлено, что пороги возбуждения корковых нейронов дистальных мышц верхней конечности (в частности, кисти) были значительно ниже, чем у проксимальных (мышцы плеча). Такие данные также объясняются тем, что мышцы кисти выполняют наиболее сложные дифференцированные движения и имеют наибольшее представительство в коре головного мозга по сравнению с проксимально расположенными мышцами.

Далее, значения амплитуды ВМО и М-ответов мышц верхней и нижней конечностей при магнитной и электрической стимуляции разных отделов нервной системы позволило нам оценить у различных категорий обследованных лиц уровень возбуждения соответствующих зон коры, спинного мозга, а также структур периферических нервов. Исследования показали, что бегуны на длинные дистанции отличаются от представителей других видов спорта более высокой возбудимостью корковых нейронов, α -МН шейного и поясничного утолщений спинного мозга и периферических нервов, иннервирующих соответственно мышцы верхней и нижней конечностей. При этом возбудимость центральных и периферических нервных структур у пауэрлифтеров и спринтеров была наименьшей, но превышала таковую у лиц, не занимающихся спортом.

Можно предположить, что возможными механизмами пластичности кортико-спинальных структур под влиянием долговременной адаптации к

длительной работе на выносливость, лежащими в основе значительного повышения максимальной амплитуды корковых и сегментарных ВМО у стайеров по сравнению с другими спортсменами, могут быть более высокая эффективность синаптической передачи от кортикоспинальных нервных клеток к α -МН (Judge et al., 2003; Duchateau et al., 2006), уменьшение тормозного влияния интернейронной сети на нисходящие потоки и возбудимость α -МН (Carroll et al., 2002; Gruber et al., 2009), а также изменения свойств «входа-выхода» в самих α -МН, включая механизмы возбуждения и торможения (Martin et al., 2009; Sabbahi, Sengul, 2012). Возможно, что такие нейрональные адаптивные изменения на кортикальном и спинальном уровнях позволяют двигательной системе спортсменов-стайеров более эффективно функционировать при выполнении длительной мышечной работы. Кроме того, различия в амплитуде ВМО и М-ответов между различными группами спортсменов, выполняющих мощные кратковременные усилия, и адаптированных к длительной работе на выносливость, могут быть обусловлены и другими обстоятельствами. Во-первых, соотношением в мышцах различных типов ДЕ, отличающихся морфофункциональными характеристиками и, соответственно, уровнем возбудимости их МН, что обсуждалось ранее. Во-вторых, разным количеством жировой ткани у таких спортсменов, обусловленным объемом и интенсивностью их мышечной деятельности. Как известно, количество жировой ткани влияет на распространение электрического импульса, проводящегося при активации скелетных мышц (Шапков, 1987; Мак-Комас, 2001; Мирошников и др., 2020).

Следует отметить, что особенности композиционного состава МВ, входящих в определенный тип ДЕ, могут быть связаны с генетическими (наследованными) свойствами (Shin et al., 2014; Сологуб и др., 2017; Семенова и др., 2019), которые учитываются при спортивном отборе. По этому поводу высказываются различные мнения, но одно из них свидетельствует, что в процессе спортивной тренировки характерный для

каждого организма состав МВ почти не изменяется – возможно, только нарастание толщины (гипертрофия) отдельных волокон, а также изменение свойств промежуточных волокон (Черапкина, 2005). Таким образом, композиция МВ может служить относительно надежным генетическим маркером. В свою очередь, Y. Liu с соавторами (2005) указывают, что долговременная мышечная работа на выносливость сопровождается увеличением медленных волокон в мышце. Н. Noppeler (1986) в своих исследованиях также показал, что физические упражнения могут способствовать структурным изменениям в скелетных мышцах и увеличивать возбудимость ДЕ. В любом случае, такие физиолого-генетические особенности композиционного состава МВ могут, на наш взгляд, объяснять тот факт, что среди всех обследованных групп спортсменов у бегунов на длинные дистанции выявлен самый высокий, а у спринтеров и пауэрлифтеров – самый низкий уровень возбудимости центральных и периферических структур нервной системы.

Следует отметить, что в литературе представлены данные, в достаточной степени, согласующиеся с собственными результатами. Так, исследования Р.М. Городничева, Р.Н. Фомина, Д.А. Петрова (2007) показали, что при ТМС максимальная амплитуда ВМО камбаловидной мышцы в состоянии покоя у стайеров (лыжников-гонщиков) была существенно выше, чем у спортсменов, специализирующихся в спринтерском беге. По мнению авторов, при ТМС с мощностью магнитного импульса до 2 Т активируются, вероятно, ДЕ типа S (медленные) и FR (быстрые, устойчивые к утомлению). У стайеров процент ДЕ таких типов представлен значительно больше, чем у спринтеров. ДЕ типа FF (быстрые, быстроутомляемые) в большей мере характерны для мышц спринтеров, и в таких условиях стимуляции они активируются в меньшей степени (Кизько, 2003). В свою очередь, величина максимальной амплитуды ВМО лучевого сгибателя кисти при ТМС у стайеров оказалась значительно меньше, чем у спринтеров. При МС поясничного утолщения спинного мозга в покое значения максимальной

амплитуды ВМО камбаловидной мышцы у стайеров в сравнении с данными при ТМС, наоборот, были значительно ниже, чем у спринтеров, тогда как при МС шейного утолщения спинного мозга значения максимальной амплитуды ВМО лучевого сгибателя кисти у стайеров значительно превышали величины спринтеров. Наряду с этим, в условиях МС большеберцового нерва значения максимальной амплитуды ВМО камбаловидной мышцы в группе стайеров были значительно больше, чем у спринтеров (Городничев и др., 2007).

В свою очередь, в результате исследований Е.А. Михайловой (2011), но с применением ЧЭССМ, было установлено, что максимальная амплитуда двигательных ответов прямой мышцы бедра, камбаловидной, медиальной икроножной и передней большеберцовой мышц у бегунов на длинные дистанции была значительно выше, чем у бегунов на короткие дистанции, что в полной мере согласуется с данными нашего исследования. Автор заключает, что у стайеров рефлекторная возбудимость α -МН мышц бедра и голени была значительно выше, чем у спринтеров (Михайлова, 2011).

Возвращаясь к полученным нами результатам исследования максимальной амплитуды ответов проксимальных и дистальных мышц верхней конечности, полученным при ТМС, магнитной и электрической стимуляции шейного утолщения спинного мозга, следует отметить, что возбудимость корковых и спинальных нейронов мышц кисти значительно превышала таковую у мышц плеча и предплечья. Это вновь можно объяснить различиями в структурных и функциональных характеристиках между мышцами, расположенными более дистально, и проксимальными мышцами. Мышцы кисти выполняют тонкие дифференцированные движения, и в управлении их действиями участвует большее количество мозговых структур по сравнению с проксимальными мышцами руки (плеча и предплечья). В своей работе М.А. Johnson с коллегами (1973) также отмечают, что мышцы кисти могут содержать больше ДЕ по мере увеличения двигательной активации при выполнении мануальных работ (по мере повышения ловкости кистей рук) в сравнении с мышцами предплечья и плеча.

Кроме того, более высокая амплитуда и более низкие значения пороговых ответов мышц верхней и нижней конечностей у обследованных лиц регистрировались при магнитной и электрической стимуляции соответствующих периферических нервов, тогда как различные виды стимуляции на уровнях шейного и поясничного утолщений спинного мозга и при ТМС корковых зон приводили к значительному уменьшению амплитуды и увеличению порогов появления мышечных ответов. То есть сопоставительный анализ полученных результатов указывает на то, что величины данных параметров зависят от локализации наносимого стимула. Данный факт, вероятно, объясняется тем, что головной и спинной мозг защищен костными структурами (головной мозг защищен черепом, а спинной – позвоночником) и окружен тремя мозговыми оболочками. В отличие от ЦНС, периферические нервы защищены лишь мягкими тканями, в результате чего стимуляционное воздействие на структуры периферических нервов вызывает большую их возбудимость по сравнению с уровнем возбудимости центральных отделов нервной системы.

4.2 Проводящая способность кортико-спинального тракта и аксонов периферических нервов у спортсменов и нетренированных лиц при магнитной и электрической стимуляции нервных структур

В результате нашего исследования среди групп спортсменов самая низкая проводящая способность КСТ и аксонов соответствующих периферических нервов, иннервирующих мышцы плеча, предплечья, кисти, бедра, голени и стопы, выявлена у лиц, выполняющих длительную работу на выносливость (бегунов-стайеров), а наибольшая – у атлетов, адаптированных к кратковременной работе силовой и скоростно-силовой направленности (бегунов-спринтеров и пауэрлифтеров). У игроков и спортсменов, специализирующихся в беге на средние дистанции, проводящая способность данных элементов нервной системы, участвующих в двигательном контроле

мышц верхних и нижних конечностей, оказалась ниже, чем у пауэрлифтеров и спринтеров, но выше, чем у стайеров. При этом у нетренированных лиц проводящая способность центральных и периферических нервных структур была ниже, чем у спортсменов. Об этом свидетельствуют показатели длительности, латентности мышечных ответов и ВЦМП, зарегистрированные при стимуляции различных отделов нервной системы.

Безусловно, что этот факт может объясняться определенными различиями в длине туловища и конечностей, однако величины латентности, ВЦМП и длительности вызванных ответов мышц у баскетболистов, у которых длина тела составила в среднем $187,58 \pm 8,00$ см были меньше, например, чем у стайеров и нетренированных лиц с длиной тела соответственно $177,23 \pm 3,27$ см и $173,24 \pm 2,23$ см (табл. 1). Следовательно, обнаруженный факт может объясняться другими возможными причинами. Например, разной степенью миелинизации нервных волокон у представителей различных видов спорта. Считается, что толщина миелиновой оболочки нервного волокна прямолинейно зависит от его диаметра: чем больше диаметр аксона, тем толще миелиновая оболочка и выше скорость проведения возбуждения (Ноздрачев, Чумасов, 1999; Hartline, Colman, 2007; Zochodne, 2008; Salzer, Zalc, 2016; Гусейнова, 2018; Петрова, 2019). Учитывая преобладание у спринтеров и пауэрлифтеров быстрых ДЕ и регистрацию самых низких значений латентности, длительности ВМО и ВЦМП, можно предположить, что у спортсменов, тренирующих силу и быстроту, самая высокая миелинизация нервных волокон в сравнении с представителями других видов спорта.

Литературные данные свидетельствуют о том, что чем выше содержание миелина, тем лучше аксональная передача в КСТ (Kirby et al., 2022). Физическая активность и активный образ жизни благотворно влияют на содержание миелина в организме человека (Greeley, Rubino, Denyer et al., 2022; Shao, Luo, Zhou et al., 2022; Boa Sorte Silva, Dao, Liang et al., 2023). Увеличение количества миелина в организме человека может быть вызвано

интенсивными аэробными упражнениями (Rowley, Bock, Deichmann et al., 2020; Mendez Colmenares, Voss, Fanning et al., 2021). В свою очередь, физическая активность низкой интенсивности не оказывает благоприятного эффекта (с точки зрения содержания миелина) (Casella, Bourbon-Teles, Bells et al., 2020; Mendez Colmenares, Voss, Fanning et al., 2021).

Следует также отметить, что в условиях выбранных видов стимуляции, которые мы изучаем, происходит активация корковых нейронов, а затем рекрутирование соответствующих ДЕ, соотношение которых в мышцах у представителей изучаемых видов спорта различное, о чем ранее неоднократно упоминалось. При этом в работе Е.А. Чанчаевой (2007) отмечается, что медленные ДЕ характеризуются низкой скоростью проведения нервного импульса по аксону в отличие от быстрых ДЕ, что также может объяснять выявленные отличия в проводящей способности моторной системы, в частности, у тяжелоатлетов и спринтеров от стайеров.

4.3 Физиологические особенности формирования вызванных моторных ответов при магнитной и электрической стимуляции нервных структур

Обсуждая характеристики ВМО, необходимо указать на некоторые физиологические особенности их формирования при разных видах стимуляции. Активация моторных зон коры головного мозга при ТМС приводит к появлению нисходящего потока возбуждающих импульсов по пирамидному тракту, конечной мишенью которых являются α -МН. После активации α -МН импульсы направляются по периферическим нервам к мышцам-мишеням (Maertens de Noordhout et al., 1999; Никитин, Куренков, 2003; Lohia, McKenzie, 2024). Литературные данные свидетельствуют о том, что двигательные корковые поля имеют прямые связи с α -МН (моносинаптический характер цепи «корковый нейрон-спинальный α -МН») и вставочными нейронами спинного мозга (полисинаптический характер цепи «корковый нейрон-спинальный α -МН») через КСТ. При этом на уровне

сегмента спинного мозга большая часть волокон КСТ заканчиваются на вставочных клетках промежуточной зоны серого вещества и только около 10% - в основном это быстропроводящие волокна клеток Беца – имеют прямые синаптические связи с α -МН передних рогов (Olivier et al., 1997; Maertens de Noordhout et al., 1999; Nielsen, 2004; Lohia, McKenzie, 2024). Таким образом, можно полагать, что в ВМО при ТМС имеется в основном полисинаптический компонент.

При изучении в ходе собственного исследования природы регистрируемых ответов мышц верхних конечностей посредством электростимуляции спинного мозга нами не обнаружено подавления ВМО в ответ на предъявление кондиционирующего стимула, подающегося за 30 мс до тестирующего, и на вибрационное воздействие на сухожилия сгибателей запястья, что указывает на то, что электростимуляция шейных спинальных двигательных ядер приводит к появлению прямых мотонейронных аксонально-мышечных ответов. Такое же заключение делают в своей работе М.А. Sabbahi, Y.S. Sengul (2012). Отмечается также, что в генезе появления ответов при МС спинного мозга лежит активация спинальных интернейронов и эфферентных вентральных корешков (Chokroverty et al., 1991; Rossini et al., 2000). Таким образом, представленные результаты собственного исследования и литературные данные исключают моносинаптическую природу регистрируемых ВМО мышц плеча, предплечья, кисти и рефлекторную возбудимость α -МН при ЧЭССМ и МС на уровне С6-С7.

Далее отметим, что Y. Gerasimenko с соавторами (2010) в своей работе приводят экспериментальные доказательства возможности активирования полисинаптических спинальных нейрональных локомоторных сетей посредством магнитной стимуляции на уровне поясничного утолщения спинного мозга. Вместе с тем, в публикациях Р.М. Rossini с соавторами (2015), Д.А. Гладченко с соавторами (2016) указывается, что МС может не только вызывать процессы возбуждения в самих интернейронах спинного

мозга, но и активировать часть двигательных нервных волокон передних корешков сегментов поясничного утолщения спинного мозга.

В свою очередь, ряд исследований доказывает, что ВМО, регистрируемые при ЧЭССМ на уровне позвонков T11-T12-L1, демонстрируют характеристики, созвучные с моносинаптической цепью Ia афферентов к МН, то есть с той же нейронной цепью, которая характерна для Н-рефлекса (Courtine et al., 2007; Minassian et al., 2007; Андриянова, Ланская, 2014). Об этом свидетельствует тот факт, отмеченный в данных работах, что амплитуда ответов мышц нижних конечностей была значительно подавлена, когда кондиционирующий стимул подавался за 50 мс до тестирующего. Такое угнетение ответов при раздражении афферентных волокон парными стимулами связано с циклическими изменениями рефлекторной возбудимости МН. Этот результат согласуется с возбудительным циклом Н-рефлекса. Наряду с этим, ответы во всех мышцах бедра, голени и стопы были подавлены во время вибрации пяточного сухожилия при ЧЭССМ на уровне позвонков T11-T12-L1. То же можно сказать о влиянии вибрации, обеспечивающей торможение Н-рефлекса камбаловидной мышцы. Природа такого торможения сложна и включает постактивационную депрессию, посттетаническую потенциацию, вибрационное индукционное препятствие рефлексу и пресинаптическое торможение Ia афферентов (Courtine et al., 2007). Так как ВМО демонстрировали такие же самые нейрофизиологические особенности, как Н-рефлекс, авторы заключили, что чрескожная электростимуляция поясничного утолщения спинного мозга вызывает двигательные ответы через активацию, в том числе, и моносинаптической нейрональной цепи, связывающей афференты с двигательными нейронами (Courtine et al., 2007; Minassian et al., 2007; Андриянова, Ланская, 2014).

Таким образом, учитывая рефлекторную природу мышечных ответов бедра, голени и стопы, регистрируемых при электростимуляции на уровне T12-L1, мы заключили, что у стайеров, тренирующихся на развитие выносливости, длительно выполняя циклическую работу большой мощности,

уровень рефлекторной возбудимости α -МН мышц нижней конечности был значительно выше, чем у представителей других видов спорта, для которых характерна работа силового и скоростно-силового характера меньшей продолжительности, но более высокой мощности. При этом более существенно он отличался от спринтеров и пауэрлифтеров и менее – от баскетболистов и бегунов на средние дистанции. Такое различие в уровне рефлекторной возбудимости α -МН спинного мозга, на наш взгляд, может быть связано с большим афферентным потоком от Ib волокон, оказывающим тормозящее влияние на параметры рефлекторного ответа на фоне систематически выполняемой мышечной работы скоростно-силовой и преимущественно силовой направленности. В частности, А. Ross с коллегами (2001) установили, что амплитуда сухожильного рефлекса у спортсменов, адаптированных к мышечной работе скоростно-силовой направленности, больше, чем у испытуемых, адаптированных к работе на выносливость, и объясняют это морфофункциональными приспособительными преобразованиями в рецепторах Ib волокон в первом случае. Такие данные согласуются также с результатами исследований D.M. Koseja, G. Kamen (1988) и H. Kyröläinen, P.V. Komi (1994). Кроме того, большее повышение возбудимости у стайеров связано, по-видимому, еще и с тем, что их мышцы имеют больше медленных МН, которые обладают более эффективными моносинаптическими связями с афферентами I группы, по сравнению с быстрыми МН (Цветков, 1998; Кизько, 2003).

Собственные результаты согласуются с данными Р.Н. Фомина (2004), свидетельствующими о том, что рефлекторная возбудимость нейронов спинного мозга у лиц, адаптированных к мышечной работе различного характера, различается в зависимости от направленности многолетнего тренировочного процесса. Так, анализ параметров Н-рефлекса мышц голени показал, что в состоянии мышечного покоя рефлекторная возбудимость спинальных α -МН у спортсменов, выполняющих длительную циклическую работу на выносливость (стайеры и лыжники-гонщики), а также

адаптированных к сложнокоординированным физическим нагрузкам (самбисты), был значительно выше, чем у атлетов, выполняющих кратковременную циклическую работу скоростно-силовой направленности (спринтеры). Следует отметить, что участвующие в нашем исследовании баскетболисты также адаптированы к сложнокоординационной деятельности, которая является предиктором успешной игровой деятельности. Исследования М.С. Цветкова (1998) также показали, что у бегунов на длинные дистанции возбудимость спинальных МН через моносинаптическую рефлекторную дугу в состоянии покоя значительно выше, чем у бегунов на короткие дистанции.

Следует дополнить, что у тренированных лиц рефлекторная возбудимость спинальных α -МН мышц нижней конечности была выше, чем у нетренированных, что согласуется с результатами предыдущих наших исследований, в которых приняли участие спортсмены, специализирующиеся в спортивных играх (баскетболисты, волейболисты) и циклических видах спорта (легкоатлеты-бегуны на средние дистанции, лыжники-гонщики) (Андрянова, Ланская, 2014; Ланская и др., 2015).

Известно, что спинальная тормозная интернейронная сеть регулирует восходящие и нисходящие влияния на мотонейронный пул (Nielsen, 2004). Можно предположить, что обнаруженные в нашем исследовании особенности возбудимости мотонейронного пула у представителей различных видов спорта и лиц, не занимающихся спортом, также обуславливаются и координированной активностью нейрональных тормозных механизмов спинного мозга. Так, например, в работах Р.М. Городничева, Р.Н. Фомина (2007) отмечается, что долговременная систематическая сложнокоординированная и скоростно-силовая мышечная работа повышает выраженность пресинаптического торможения МН спинного мозга, регистрируемого в состоянии относительного покоя. В свою очередь, многолетняя тренировка, направленная на развитие выносливости, уменьшает проявление пресинаптического торможения Ia афферентов мышц

бедра и голени. Такие данные позволили авторам заключить, что в механизме пресинаптического торможения МН проксимальных и дистальных мышц нижних конечностей, регистрируемого в состоянии относительного покоя, у человека происходят изменения, являющиеся следствием адаптации к двигательной деятельности разной направленности. Эти данные согласуются с результатами исследований А.А. Челнокова, И.М. Тюпаева (2016), свидетельствующими о том, что у самбистов и лиц, не занимающихся спортом, в состоянии покоя наблюдалась наибольшая выраженность пресинаптического торможения Ia афферентов, а у стайеров проявление активности данного вида торможения была выражено меньше, а также R. Earles с соавторами (2002), которые указывают, что активность пресинаптического торможения α -МН спинального двигательного центра камбаловидной мышцы существенно меньше у спортсменов, специализирующихся на выносливость, чем у спортсменов силовой тренировки и неспортсменов.

Исследования Л.В. Смирновой (2011) показали, что процесс аутогенного (нереципрокного) торможения, опосредованного влиянием Ib афферентов от сухожильных органов Гольджи на α -МН, количественно более выражен у спринтеров, чем у стайеров, что указывает на зависимость механизмов аутогенного торможения от адаптации к специфическим мышечным нагрузкам. Также доказано, что адаптация к мышечной работе различной направленности влияет на выраженность возвратного торможения α -МН у человека, о чем свидетельствует тот факт, что у стайеров возвратное торможение α -МН в состоянии покоя существенно меньше по сравнению со спринтерами (Earles et al., 2002). Кроме того, сравнительный анализ выраженности тормозных процессов на спинальном уровне в состоянии покоя у стайеров и самбистов, представленный в работе А.А. Челнокова, И.М. Тюпаева (2016), показал наибольшую активность пресинаптической внутриспинальной тормозной системы по сравнению с выраженностью реципрокного и нереципрокного видов торможения, в связи с чем можно

полагать, что ведущим механизмом торможения у спортсменов, адаптированных к мышечной деятельности различной направленности, является пресинаптическое торможение Ia афферентов.

По данным ряда авторов, у взрослого человека на интернейроны Ia пресинаптического торможения, Ia реципрокного торможения и Ib нерестиципрокного торможения конвергируют кортико-спинальные волокна (Hortobágyi et al., 2006; Jessop et al., 2013). Отмечается также, что возвратное торможение имеет место не только в спинном мозге, но и в ряде структур головного мозга (Дж. Экклс, 1971). Клетки Реншоу наряду с другими интернейронами являются интеграторами как восходящих, так и нисходящих влияний (Розенталь, 2006; Hughes et al., 2013). Доказано, что торможение антидромно вызванного разряда клеток Реншоу может быть вызвано стимуляцией структур головного мозга: коры, красного ядра, мозжечка, ретикулярной формации, таламуса и неокортекса (Zhu et al., 2011; Ohana et al., 2012). В доступной нам литературе мы обнаружили единичные данные об особенностях корковых тормозных механизмов, сформированных под влиянием долговременной адаптации к двигательной деятельности разной направленности (Смирнова, 2011; Фомин, Селяев, 2011). Так, в работах Р.Н. Фомина и М.В. Селяева (2011) была изучена длительность коркового периода молчания (КПМ) при ТМС, по которой судили о выраженности тормозных процессов коркового уровня (Никитин, Куренков, 2003) у спортсменов, специализирующихся в дзюдо и самбо, а в работе Л.В. Смирновой (2011) – у стайеров, которые в исследованиях данных авторов выполняли изометрические мышечные усилия разной длительности. Сопоставительный анализ таких результатов показал, что длительность КПМ у борцов в начальной части изометрического сокращения при 75% от максимального произвольного сокращения (МПС) для мышц-антагонистов голени была около 60 мс, а к 30-ой секунде изометрического сокращения – увеличилась и составила в среднем 70 мс (Фомин, Селяев, 2011). Такие показатели были значительно ниже тех, которые получены Л.В. Смирновой

(2011) у стайеров - в начальной части удержания 75% усилия длительность КПМ для этих мышц составила в среднем 160 мс, которая увеличилась к моменту окончания усилия (к 30-ой секунде) и составила 180 мс. Результаты этих исследований в своей совокупности позволяют предположить, что выраженность тормозных процессов на корковом уровне у спортсменов, адаптированных к длительной циклической работе на выносливость, значительно превышает таковую у лиц, выполняющих сложнокоординационную мышечную работу. Однако, это только предположение, и обсуждаемый аспект требует дальнейшего изучения.

Еще одним важным результатом наших исследований является обнаружение более высокой амплитуды моторных ответов, вызванных чрескожным электрическим воздействием на шейное и поясничное утолщения спинного мозга и электростимуляцией периферических нервов, иннервирующих мышцы верхней и нижней конечностей, в сравнении с МС этих структур. Можно предположить, что МС вызывает активацию меньшего количества ДЕ, входящих в мотонейронные пулы мышц, чем электрическая. Вероятно, это связано с локализацией процессов возбуждения в определенных спинальных нейронных сетях, инициируемых разными видами стимуляции. Результаты собственного исследования и литературные данные (Sabbahi, Sengul, 2012) свидетельствуют о том, что ЧЭССМ на уровне позвонков С6-С7 приводит к появлению прямых мотонейронных аксонально-мышечных ответов. В свою очередь, в генезе ВМО при ЧЭССМ на уровне позвонков Т12-Л1 лежит активация моносинаптической нейрональной цепи, связывающей афференты с двигательными нейронами (Courtine et al., 2007; Minassian et al., 2007; Андриянова, Ланская, 2014). В то же время результаты исследований Р.М. Rossini с коллегами (2000, 2015) исключают моносинаптическую природу ВМО при МС на уровне позвонков С6-С7 и Т12-Л1 и доказывают, что в генезе формирования мышечных ответов при стимуляции магнитным стимулом лежит активация интернейронов спинного мозга и эфферентных вентральных корешков.

4.4 Форма вызванных моторных ответов при магнитной и электрической стимуляции нервных структур

В результате анализа формы вызванных ответов тестируемых мышц при стимуляционном воздействии на различные структуры моторной системы в группах спортсменов и нетренированных лиц были обнаружены отличительные особенности. У пауэрлифтеров и спринтеров по сравнению с другими группами спортсменов наблюдались меньшие амплитуда и общая длительность ВМО и М-ответов мышц верхней и нижней конечностей при разных видах стимуляции центральных и периферических структур нервной системы. У большинства представителей изучаемых видов спорта при ТМС, а также магнитной и электрической стимуляции шейного и поясничного утолщений спинного мозга и соответствующих периферических нервов форма мышечных ответов обладает выраженной полифазией. При этом у легкоатлетов-бегунов, особенно у стайеров, форма ответов мышц отличается большей полифазностью потенциалов по сравнению с другими спортсменами, что более выражено при стимуляции центральных нервных структур и менее – при стимуляции периферических нервов. Наряду с этим в большинстве записей бегунов на средние и длинные дистанции негативная фаза корковых и сегментарных ВМО состоит из двух компонентов, которые, возможно, связаны с активацией разных типов ДЕ тестируемых мышц, а также наблюдается наличие псевдофаз (чаще 3-4) между негативной и позитивной фазами при стимуляции корковых, сегментарных и периферических нервных структур. У нетренированных лиц при ТМС, магнитной и электрической стимуляции шейного и поясничного утолщений спинного мозга и соответствующих периферических нервов форма ВМО в основном отличалась меньшей амплитудой от записей у спортсменов.

Известно, что появление, как дополнительной фазы, так и псевдофазы может быть обусловлено наличием одной (достаточно большой) группы ДЕ, которые активируются асинхронно по отношению к остальным ДЕ (Команцев, Заболотных, 2001; Ланская, Ланская, 2017). Такие изменения в

форме мышечных ответов, вероятно, зависят от характера временной взаимосвязи активности различных ДЕ, который в определенной мере влияет на силу сокращения мышц при систематическом выполнении спортивных движений. Асинхронность активности ДЕ, которая наблюдается в оригинальных записях мышечных ответов у легкоатлетов, в основном, у стайеров может объясняться тем, что для обеспечения длительной, но не очень интенсивной работы, отдельные ДЕ сокращаются попеременно (то есть асинхронно), поддерживая общее напряжение мышцы на заданном уровне. При этом отдельные ДЕ могут развиваться как одиночные, так и тетанические сокращения, что зависит от частоты нервных импульсов. Утомление в этом случае развивается медленнее, так как, работая по очереди, ДЕ в промежутках между активацией успевают восстанавливаться (Крушельницкая, 2003; Смирнов, 2011). Обнаруженная у стайеров асинхронность при произвольных одиночных мышечных сокращениях, вероятно, отражает характер временной взаимосвязи активности различных ДЕ при произвольных сокращениях мышц (во время стайерского бега).

Наблюдаемые в ряде случаев у баскетболистов псевдофазность и (или) полифазия мышечных ответов, особенно при стимуляции центральных отделов нервной системы, но в меньшей степени, чем у бегунов на длинные и короткие дистанции, указывают на асинхронную активность ДЕ, что непосредственно в тренировочной и соревновательной деятельности приводит к уменьшению колебаний в напряжении мышцы и способствует более точному выполнению движения (Городничев, 2005), а известно, что эффективность двигательной деятельности игровых видов спорта зависит от точности движений (Немцев, 2005). В свою очередь, для мощных кратковременных усилий (характерно для пауэрлифтинга и спринтерского бега) требуется синхронизация активности отдельных ДЕ, то есть одновременное возбуждение практически всех ДЕ для повышения силы сокращения мышц. Это приводит к одновременной активации соответствующих нервных центров и достигается в результате длительной

тренировки. При этом осуществляется мощное и весьма утомительное тетаническое сокращение (Крушельницкая, 2003; Смирнов, 2011). О достаточно синхронном режиме активации ДЕ у пауэрлифтеров и спринтеров могут свидетельствовать значительно меньшее у них количество (или отсутствие) псевдо- и полифаз ответов тестируемых мышц, чем у других спортсменов (Ланская и др., 2015; Ланская, Ланская, 2017). Согласно литературным данным, синхронизация ДЕ приводит к повышению силы сокращения (Semmler, 2002). В свою очередь, снижение степени синхронизации ДЕ (спинальных МН внутри мотонейронного пула) может быть связано с модификацией возвратного торможения, то есть с активностью клеток Реншоу (Del Santo et al., 2007).

4.5 Роль наследственных факторов в адаптивной реорганизации нервной системы в процессе моторного обучения

В последнее время получены интересные научные данные о влиянии генов на пластичность структур ЦНС и важной роли наследственных факторов в адаптивной реорганизации нервной системы в процессе моторного обучения (Москатова, 1983; Сологуб и др., 2017; Фудин и др., 2018; Ахметов и др., 2021). Некоторые данные по вопросу наследственной обусловленности морфологических и физиологических характеристик, психофизиологических особенностей и нервно-мышечных реакций, физических качеств отражены на рисунке 27. Генетический аспект, несомненно, играет роль в развитии физических качеств человека. Вместе с тем, объективных доказательств этого пока не достаточно, так как применяемые в спортивной практике тесты измеряют не генотипический, а фенотипический уровень физических качеств. Очевидно, следует говорить о наследовании генетической предрасположенности к формированию различных физических качеств человека, развитие которых зависит от биосоциальных условий (Рогозкин и др., 2000; Фудин и др., 2018; Ахметов и др., 2021).



Рисунок 27 - Генетическая детерминированность морфологических признаков, психофизиологических характеристик и физических качеств человека. Представлено с изменениями по Москатовой, 1983; Шварцу, 1991; Фудину, 2018.

В работе В. Зеличенко, А. Чичеровой (2019) также отмечается, что физические качества в значительной степени определяются генетическими факторами. При этом практика показывает, что способности к тому или иному виду спорта могут быть реализованы только после длительного периода разносторонней, а затем специализированной подготовки. Если говорить о легкой атлетике, то от начала занятий до достижения результатов мирового класса спортсменов должен вести подготовку не менее 10-12 лет.

Наряду с генотипическими исследованиями, продолжается активный поиск изменений физиологических свойств нервной системы, вызванных повторной физической нагрузкой (Maffiuletti et al., 2001; Judge et al., 2003; Ариффулин, 2005; Городничев, Фомин, 2007; Ross et al., 2007; Фомин, Селяев, 2011; Андриянова, Ланская, 2014; Ланская и др., 2015 (б); Aprigliano et al., 2016; Smith et al., 2018; Clos et al., 2021; Turco, Nelson, 2021). При этом выраженный интерес сосредотачивается на отделах нервной системы, принимающих непосредственное участие в реализации движения.

Р.Н. Фомин, М.В. Селяев (2011) отмечают, что многолетняя мышечная деятельность человека сопровождается процессами специфической нейрональной адаптации как на корковом, так и на спинальном уровнях ЦНС. В исследованиях N.A. Maffiuletti с коллегами (2001) и А.Н. Ариффулина (2005) рассматривались и сопоставлялись изменения функциональных свойств нервной системы под влиянием специфичной тренировки, связанной с избранным видом спорта. В результате таких исследований установлено, что изменение нейромоторного статуса локомоторных мышц тесным образом связано с направленностью процесса подготовки и соответствующими особенностями тренировки. При этом формирование эффективных механизмов перестройки функциональных систем возможно только при использовании специфических по направленности нагрузок, которые определяют особенности морфофункциональной адаптации, что согласуется с мнением других авторов (Zumbakytė-Šermukšnienė et al., 2010; Smith et al.,

2018). Следует отметить работы L.W. Judge с соавторами (2003), Фомина, Селяева (2011), в которых обсуждаются возможные нейрональные изменения и адаптационные механизмы в двигательной системе спортсменов, вызванные различными видами двигательной деятельности. Таким образом, есть основания предполагать, что обнаруженные особенности пластических перестроек в функционировании центральных и периферических звеньев нейромоторной системы у обследованных нами спортсменов, имеющих стаж спортивной деятельности не менее 10 лет, в определенной степени являются результатом долговременной специфической двигательной деятельности, но влияние генетического фактора также не исключается.

ВЫВОДЫ

1. Выявлены различия функционального состояния кортико-спинальной системы двигательного контроля скелетных мышц тренированных и нетренированных лиц при последовательном проведении транскраниальной магнитной стимуляции моторной зоны коры головного мозга, магнитной и электрической стимуляции спинного мозга и периферических нервов. Различия проявлялись в более высокой возбудимости и проводящей способности кортико-спинального тракта и периферических нервов у спортсменов по сравнению с лицами, не занимающимися спортом.

2. Установлены особенности пластичности кортико-спинальных и периферических нервных структур у представителей циклических, силовых и игровых видов спорта посредством изучения параметров мышечных ответов, вызванных магнитной стимуляцией разных отделов нервной системы:

- возбудимость корковых нейронов, мотонейронов шейного и поясничного утолщений спинного мозга, периферических нервов, оцениваемая по показателям порогов и амплитуды вызванных ответов мышц верхней и нижней конечностей, была самой высокой у бегунов на длинные дистанции, а самой низкой – у пауэрлифтеров и бегунов на короткие дистанции;

- наибольшей проводящей способностью кортико-спинального тракта и аксонов периферических нервов обладали пауэрлифтеры и спринтеры, а наименьшей – стайеры, о чем свидетельствуют показатели латентности, длительности вызванных моторных ответов и времени центрального моторного проведения;

- между группами баскетболистов и бегунов на средние дистанции не выявлено различий функционального состояния моторной системы, в сравнении с которыми стайеры имели более высокую возбудимость, а

пауэрлифтеры и спринтеры наибольшую проводящую способность кортико-спинального тракта и периферических нервов.

3. Определены особенности пластичности спинальных и периферических нервных структур у представителей различных видов спорта (в сравнении с другими спортсменами у стайеров выявлена самая высокая возбудимость, а у спринтеров и пауэрлифтеров – наибольшая проводящая способность центральных и периферических звеньев нервно-мышечной системы) посредством изучения параметров мышечных ответов, вызванных электрической стимуляцией спинного мозга и периферических нервов, сходные с теми, которые наблюдались при магнитной стимуляции тех же отделов нервной системы.

4. Электрическое стимуляционное воздействие на спинной мозг и периферические нервы, иннервирующие мышцы верхней и нижней конечностей, приводит к большей генерализации процессов возбуждения в данных структурах нервной системы, чем магнитное. Об этом свидетельствует более высокая амплитуда моторных ответов, вызванных электрической стимуляцией спинного мозга и периферических нервов, в сравнении с магнитной стимуляцией.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Методику регистрации моторных ответов, вызываемых транскраниальной магнитной стимуляцией двигательной зоны коры головного мозга, магнитной и электрической стимуляцией спинного мозга и периферических нервов, целесообразно использовать при комплексной оценке функционального состояния спортсменов и нетренированных лиц.

2. Выявленные особенности параметров вызванных моторных ответов могут быть использованы как специалистами, изучающими проблемы физиологии движений, так и в тренировочном процессе спортсменов в качестве дополнительных критериев медико-биологического контроля подготовки к соревнованиям, и для изучения направленного воздействия разных видов спортивной тренировки на функционирование кортико-спинальных и нервно-мышечных структур.

3. Результаты и выводы диссертации рекомендуется использовать для образовательной деятельности в учебных заведениях со студентами, а также при подготовке учебных курсов и пособий по темам «Физиология мышечной деятельности», «Физиологические основы подготовки спортсменов», «Электрофизиологические методы тестирования в спорте».

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ЦНС – центральная нервная система

МН – мотонейрон

ВМО - вызванный моторный ответ

КСТ – кортико-спинальный тракт

КСП – кортико-спинальные пути

РКСП – ретикулокортико-спинальные пути

α -МН - альфа-мотонейрон

γ -МН - гамма-мотонейрон

ТМС - транскраниальная магнитная стимуляция

МРТ - магнитно-резонансная томография

ПАС – парная ассоциативная стимуляция

ЧЭССМ - чрескожная электрическая стимуляция спинного мозга

ЭНМГ – электронейромиография

ЭМГ - электромиография

МС - магнитная стимуляция

ДЕ - двигательная единица

СП - синаптическая пластичность

ВЦМП - время центрального моторного проведения

КПМ - корковый период молчания

МПС - максимальное произвольное сокращение

КМС – кандидат в мастера спорта

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абуталимова, С.М. Сравнительный анализ показателей поверхностной электромиографии у спортсменов тяжелоатлетов мужского и женского пола во время выполнения тяжелоатлетического рывка / С.М. Абуталимова, Ю.В. Корягина, С.В. Нопин // Современные вопросы биомедицины. – 2020. – Т. 4. – № 4. – С. 56.
2. Абуталимова, С.М. Характеристики стимуляционной и поверхностной электромиографии высококвалифицированных тяжелоатлетов в покое и при специфической спортивной нагрузке / С.М. Абуталимова, С.В. Нопин // Современные вопросы биомедицины. - 2021. – Том 5(4). – С. 81-88.
3. Андриянова, Е.Ю. Механизмы двигательной пластичности спинномозговых нервных цепей на фоне долговременной адаптации к спортивной деятельности / Е.Ю. Андриянова, О.В. Ланская // Физиология человека. – 2014. – Т. 40, №3. – С. 73-85.
4. Анохин, П.К. Очерки по физиологии функциональных систем / П.К. Анохин. – Москва: Медицина, 1975. – 256 с.
5. Ариффулин, А.Н. Функциональная характеристика нейромоторного аппарата нижних конечностей у юношей-спортсменов различных специализаций: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук / Ариффулин Александр Насимиевич. - Владимир, 2005. - 20 с.
6. Асанума Хироши. Моторная кора: монография / Пер. Р.А. Григорьян. – Санкт-Петербург: Издательство «ФГУП СМЭП МВД РФ», 2007. – 137 с.
7. Ахметов, И.И. Генетический контроль развития скоростно-силовой выносливости гандболистов / И.И. Ахметов, М.О. Аксенов, Ю.О. Аверясова [и др.] // Культура физическая и здоровье. - 2021. - Т. 3, № 79. - С. 97-100.
8. Ахметов, И.И. Молекулярная генетика спорта: монография / И.И. Ахметов. – Москва: Советский спорт, 2009. – 268 с.

9. Бадалян, Л.О. Клиническая электронейромиография / Л.О. Бадалян, И.А. Скворцов. – Москва: Медицина, 1986. – 368 с.
10. Байкушев, Ст. Стимуляционная электромиография и электронейрография в клинике нервных болезней: производственно-практическое издание / Ст. Байкушев, З.Х. Манович, В.П. Новикова. - Москва: Медицина, 1974. - 144 с.
11. Бакулин, И.С. Перспективы развития терапевтической транскраниальной магнитной стимуляции / И.С. Бакулин, А.Г. Пойдашева, Д.Ю. Лагода [и др.] // Нервные болезни. - 2021. - №4. – С. 3-10.
12. Белова, А.Н. Анатомо-функциональные особенности кортикоспинальных трактов и их роль в восстановлении двигательных функций после повреждений головного мозга / А.Н. Белова, В.Н. Григорьева, В.О. Сушин [и др.] // Вестник восстановительной медицины. – 2020. - №1. – С. 9-18.
13. Бердичевская, Е.М. Нейрофизиологические аспекты постурального контроля в спорте / Е.М. Бердичевская // Физическая культура и спорт. Олимпийское образование: Материалы международной научно-практической конференции, Краснодар, 17–18 октября 2024 года. – Краснодар: Кубанский государственный университет физической культуры, спорта и туризма, 2024. – С. 133-136.
14. Бернштейн, Н.А. Очерки по физиологии движений и физиологии активности / Н.А. Бернштейн. – Москва, 1966. - 253 с.
15. Власова, С.В. Динамическая миография в спорте: актуальные проблемы и перспективы использования в реабилитации спортсменов / С.В. Власова // Сборник статей Материалы IV Международной научно-технической конференции. – Минск. – 2016. – С. 12-16.
16. Власова, С.В. Количественная электромиографическая оценка межмышечного взаимодействия у спортсменов / С.В. Власова, В.И. Ходулев, Г.Н. Пономарев // Теория и практика физической культуры: ежемесячный научно-теоретический журнал. – 2016. – № 8. – С. 97-99.

17. Вольнова, А.Б. Корковое управление движениями и его пластические изменения у взрослых и развивающихся белых крыс: диссертация на соискание ученой степени доктора биологических наук / Вольнова Анна Борисовна. – Санкт-Петербург, 2003. – 382 с.
18. Герасименко, Ю.П. Спинальные механизмы регуляции двигательной активности в отсутствие супраспинальных влияний: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора биологических наук / Герасименко Юрий Петрович. – Санкт-Петербург, 2000. - 31 с.
19. Гимранов, Р.Ф. Транскраниальная магнитная стимуляция / Р.Ф. Гимранов. – Москва, 2002. – 163 с.
20. Гладченко, Д.А. Параметры моторных ответов человека при чрескожной электрической и электромагнитной стимуляции различных сегментов спинного мозга / Д.А. Гладченко, С.М. Иванов, Е.Н. Мачуева [и др.] // Ульяновский медико-биологический журнал. – 2016. – №2. - С. 132-140.
21. Городничев, Р.М. Спортивная электромиография / Р.М. Городничев. - Великие Луки, 2005. - 229 с.
22. Городничев, Р.М. Влияние напряженной мышечной деятельности на моторные ответы при магнитной стимуляции головного и спинного мозга / Р.М. Городничев, Д.А. Петров, Р.Н. Фомин [и др.] // Физиология человека. – 2008. - Том 34, № 6. - С. 106-112.
23. Городничев, Р.М. Исследование тормозных процессов в центральной нервной системе при изометрическом мышечном сокращении / Р.М. Городничев, Д.А. Петров, Л.В. Смирнова // Вестник Тверского государственного университета. – 2008. – № 8. – С. 13-18.
24. Городничев, Р.М. Магнитная стимуляция головного мозга как новый метод диагностики функционального состояния двигательной системы спортсменов / Р.М. Городничев, Р.Н. Фомин, Д.А. Петров // Теория и практика физической культуры. – 2007. - №1. – С. 2-5.

25. Городничев, Р.М. Пресинаптическое торможение альфа-мотонейронов спинного мозга человека при адаптации к двигательной деятельности разной направленности / Р.М. Городничев, Р.Н. Фомин // Физиология человека. – 2007. – № 2 (33). – С. 98–103.
26. Городничев, Р.М. Применение магнитной стимуляции в спорте: учебное пособие / Р.М. Городничев, Д.А. Петров, Р.Н. Фомин [и др.]- Великие Луки. - 2007. – 95 с.
27. Городничев, Р.М. Физиология силы / Р.М. Городничев, В.Н. Шляхтов. – М.: Спорт, 2016. – 232 с.
28. Городничев, Р.М. Чрескожная электрическая стимуляция спинного мозга: неинвазивный способ активации генераторов шагательных движений у человека / Р.М. Городничев, Е.А. Пивоварова, А.М. Пухов [и др.] // Физиология человека. - 2012. – № 38 (2). – С. 46–56.
29. Гусев, Е.И. Нейропластичность // Дизрегуляторная патология нервной системы / под редакцией Е.И. Гусева, Г.Н. Крыжановского. - Москва: Медицинское информационное агентство, 2009. - С. 32-44.
30. Гусев, Е.И. Пластичность нервной системы / Е.И. Гусев, П.Р. Камчатнов // Журнал неврологии и психиатрии. - 2004. - №3. - С. 73-79.
31. Гусейнова, Г.А. Отношение толщины миелиновой оболочки аксона к его диаметру в нервных волокнах мышечно-кожного нерва в пренатальном онтогенезе / Г.А. Гусейнова // Морфологические ведомости. - 2018. - Том 26. - № 3. - С. 37-40.
32. Джелдубаева, Э.Р. Особенности электромиографических показателей у спортсменов ациклических видов спорта / Э.Р. Джелдубаева, К.Н. Туманянц // V Международный научный конгресс «Проблемы физкультурного образования: концептуальные основы и научные инновации». – 2018. – С. 171-175.
33. Дудел, Дж. Физиология человека: в 4-х томах. Т. 1: Нервная система / Дж. Дудел, И. Рюэгг, Р. Шмидт [и др.]; перевод с английского М.А.

Каменской, Н.Н. Алипова; под редакцией П.Г. Костюка. – Москва: Мир, 1985. - 267 с.

34. Дуус, П. Топический диагноз в неврологии (Анатомия. Физиология. Клиника) / П. Дуус. – Москва: ИПЦ «ВАЗАР-ФЕРРО», 1997. – 386 с.

35. Ермолаева, А.И. Топическая диагностика заболеваний нервной системы: учебное пособие / А.И. Ермолаева, Г.А. Баранова. – Пенза, 2014. – 127 с.

36. Зайцева, Т.Н. Электромиографические характеристики передней большеберцовой мышцы крысы в условиях моделируемой гипогравитации и постгипогравитационной реадаптации / Т.Н. Зайцева, А.О. Федянин, Н.Ф. Ахметов, М.Э. Балтин, Т.В. Балтина, А.А. Еремеев // Российский кардиологический журнал. – 2021. – Т. 26, № S5. – С. 35.

37. Зарипова, Ю.Р. Характеристика поверхностной электромиограммы у доношенных и недоношенных детей в неонатальном периоде: возможное влияние гравитации / Ю.Р. Зарипова, А.Ю. Мейгал // Физиология человека. – 2018. – Т. 44, № 4. – С. 74-83.

38. Зеличенко, В. Поиск легкоатлетических талантов: набор или отбор? Практические рекомендации / В. Зеличенко, А. Чичерова // Легкая атлетика. – 2019. - №11-12. – С. 38-47.

39. Зенков, Л.Р. Функциональная диагностика нервных болезней / Л.Р. Зенков, М.А. Ронкин. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва: МЕДпресс-информ, 2004. – 448 с.

40. Иконникова, Е.С. Влияние тренировки дискретного расслабления мышц предплечья на эффективность формирования мануального навыка / Е.С. Иконникова, П.Д. Бобров, А.А. Мельников, В.Г. Васенина // Современные вопросы биомедицины. – 2024. – Т. 8, № 2(28).

41. Иоффе, М.Е. Пластичность двигательных структур мозга и двигательное обучение / М.Е. Иоффе // Физиология мышц и мышечной деятельности: материалы III Всероссийской школы-конференции. – Москва, ФФМ МГУ, 2005. – С. 48.

42. Исаев, А.П. Стратегии формирования адапционных реакций у спортсменов. Основы теории адаптации и закономерности ее формирования в спорте высоких и высших достижений / А.П. Исаев, В.В. Рыбаков, В.В. Эрлих и др. // Человек. Спорт. Медицина. – 2012. – Т. 21(280). – С.46-56.
43. Кизько, А.П. Принципы развития силовых и циклических способностей двигательных единиц различного типа и вида: учебное пособие / А.П. Кизько, Е.А. Кизько. – Новосибирск: Издательство НГТУ, 2003. - 52 с.
44. Козловская, И.Б. Опорная афферентация в контроле тонической мышечной активности / И.Б. Козловская // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. – 2004. - Т. 90, №8. - С. 418-419.
45. Команцев, В.Н. Методические основы клинической электронейромиографии: руководство для врачей / В.Н. Команцев, В.А. Заболотных. – Санкт-Петербург: Лань, 2001. – 349 с.
46. Королев, А.А. Функциональная анатомия нисходящих двигательных систем в норме и при формировании спастического пареза / А.А. Королев // Фундаментальные исследования. – 2013. - № 3. – С. 92-96.
47. Корягина, Ю.В. Применение электронейромиографии в спортивной медицине / Ю.В. Корягина, Л.Г. Рогулева // Современные вопросы биомедицины. – 2018. – Т. 2. – № 1(2). – С. 31-43.
48. Костенкова, Н.В. Эмоциональные расстройства и их взаимосвязь с повышенной возбудимостью корковых нейронов у пациенток с головной болью напряжения / Н.В. Костенкова, Н.Л. Старикова // Проблемы женского здоровья. – 2014. – Т. 9, №1. – С. 23-29.
49. Крушельницкая, Я.В. Физиология и психология труда: учебник / Я.В. Крушельницкая. - Москва: Финансы и статистика, 2003. - 367 с.
50. Ланская, Е.В. Физиологические механизмы пластичности центральных и периферических звеньев нейромоторной системы как результат адаптации к повышенной активности скелетных мышц / Е.В. Ланская, О.В. Ланская, Е.Ю. Андриянова // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 3. Биология. – 2015. - Выпуск 4. – С. 79-92.

51. Ланская, О.В. (б) Изучение уровня возбудимости кортико-спинальных и нервно-мышечных структур у представителей различных видов спорта / О.В. Ланская, Е.В. Ланская, Е.Ю. Андриянова // Ульяновский медико-биологический журнал. – 2015. - № 3. – С. 101-107.
52. Ланская, О.В. Нейрофизиологические механизмы функциональной пластичности спинальных систем двигательного контроля: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора биологических наук / Ланская Ольга Владимировна. - Москва, 2014. - 50 с.
53. Ланская, О.В. Особенности вызванных ответов скелетных мышц у представителей различных видов спорта при магнитной и электрической стимуляции центральных и периферических структур нервной системы / О.В. Ланская, Е.В. Ланская // Наука и спорт: современные тенденции. – 2017. – Т. 16, № 3. – С. 39-46.
54. Левашкина, И.М. Диффузионно-тензорная МРТ – современный метод оценки микроструктурных изменений вещества головного мозга (обзор литературы) / И.М. Левашкина, С.В. Серебрякова, А.Ю. Ефимцев // Вестник Санкт-Петербургского университета. – 2016. – Серия 11, выпуск №4. – С. 39-54.
55. Лившиц, А.В. Хирургия спинного мозга / А.В. Лившиц. – Москва: Медицина, 1990. – 352 с.
56. Мак-Комас, А.Дж. Скелетные мышцы / А.Дж. Мак-Комас. – Киев: Олимпийская литература, 2001. – 408 с.
57. Мейгал, А.Ю. Нелинейные параметры накожной электромиографии: Возможности и перспективы применения в клинике и физиологии / А.Ю. Мейгал // Ульяновский медико-биологический журнал. – 2016. – № S4. – С. 45-46.
58. Мельников, А.А. (б) Сравнение реакции н-рефлекса M. Soleus при утомлении синергистов и антагонистов / А.А. Мельников, П.В. Глиэр, В.Л. Бойков, Л.А. Белицкая // Человек. Спорт. Медицина. – 2024. – Т. 24, № 2. – С. 51-57.

59. Мельников, А.А. Проприоцептивный контроль мышц верхней конечности у спортсменов-самбистов / А.А. Мельников, Е.С. Иконникова, Р.Х. Люкманов, Н.А. Супонева // Журнал медико-биологических исследований. – 2024. – Т. 12, № 3. – С. 329-337.
60. Михайлова, Е.А. Модуляция моносинаптических рефлексов как отражение адаптации нервно-мышечного аппарата спортсменов к физическим нагрузкам: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук / Михайлова Екатерина Алексеевна. - Великие Луки, 2011. – 17 с.
61. Москатова, А.К. Влияние генетических и средовых факторов на развитие моторных способностей: лекция / А.К. Москатова. - Москва: ГЦОЛИФК, 1983. - 39 с.
62. Мусиенко, П.Е. Значение периферической обратной связи в регуляции локомоторной активности децерибрированных и спинализованных кошек при эпидуральной стимуляции спинного мозга / П.Е. Мусиенко, И.Н. Богачева, Ю.П. Герасименко // Физиология мышц и мышечной деятельности: материалы III Всероссийской школы-конференции – Москва, 2005. – С. 55.
63. Немцев, О.Б. Теоретические основы точности движений / О.Б. Немцев // Вестник Адыгейского государственного университета. – 2005. – № 1. – С. 33-43.
64. Никитин, С.С. Магнитная стимуляция в диагностике и лечении болезней нервной системы. Руководство для врачей / С.С. Никитин, А.Л. Куренков. - Москва: САШКО, 2003. – 378 с.
65. Николлс, Дж. Г. От нейрона к мозгу / Дж. Г. Николлс, А.Р. Мартин, Б. Дж. Валлас [и др.]. – Москва: Издательство ЛКИ, 2008. - 672 с.
66. Ноздрачев, А.Д. Периферическая нервная система / А.Д. Ноздрачев, Е.И. Чумасов. - СПб.: Наука, 1999. – 280 с.
67. Нопин, С.В. Тестирование функционального состояния опорно-двигательного аппарата спортсменов циклических и ситуационных видов

- спорта / С.В. Нопин, Ю.В. Корягина, Г.Н. Тер-Акопов // Теория и практика физической культуры. – 2020. – № 4. – С. 25-27.
68. Персон, Р.С. Спинальные механизмы управления мышечным сокращением / Р.С. Персон. – Москва: Наука, 1985. – 184 с.
69. Персон, Р.С. Теоретические основы трактовки электромиограммы / Р.С. Персон // Физиология человека. – 1987. – Т. 13, №4. – С. 659-673.
70. Петрова, Е.С. Современные представления о шванновских клетках: развитие, пластичность, функции / Е.С. Петрова // Журнал эволюционной биохимии и физиологии. – 2019. – Т. 55, № 6. – С. 383-397.
71. Пойдашева, А.Г. ТМС-картирование моторной коры: обзор метода, исследовательское и клиническое значение / А.Г. Пойдашева, И.С. Бакулин, Д.Ю. Лагода [и др.] // Нервно-мышечные болезни. - 2022. - №4. - URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tms-kartirovanie-motornoy-kory-obzor-metoda-issledovatel'skoe-i-klinicheskoe-znachenie> (дата обращения: 28.03.2024).
72. Пухов, А.М. Пластичность моторной системы человека под воздействием локальной физической нагрузки / А.М. Пухов, С.М. Иванов, Е.Н. Мачуева [и др.] // Ульяновский медико-биологический журнал. – 2017. - №1. – С. 114-122.
73. Раева, С.Н. Клеточные механизмы произвольного движения в таламусе мозга человека / С.Н. Раева // Системные и клеточные механизмы в физиологии двигательной системы: материалы V Всероссийской с международным участием школы-конференции по физиологии мышц и мышечной деятельности, Москва, 2-5 февраля 2009 г. – Москва: Графика-Сервис, 2009. – С. 44.
74. Рогозкин, В.А. Генетические маркеры физической работоспособности человека / В.А. Рогозкин, И.Б. Назаров, В.И. Казаков // Теория и практика физической культуры. – 2000. - № 12. – С. 34-36.
75. Розенталь, А.Н. Исследование состояния спинального центра камбаловидной мышцы человека при выполнении различных двигательных

заданий: диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук / Розенталь А.Н. – Казань, 2006. – 125 с.

76. Рюэгг, Й. Мышца // Физиология человека: перевод с английского: в 3-х томах / под редакцией Р. Шмидта, Г. Тевса. - 3-е изд. - Т. 1. – Москва: Мир, 2005. – С. 69-87.

77. Савелова, О.А. Развитие технологии функциональной МРТ в начале XXI В. На примере международного томографического центра со РАН / О.А. Савелова // Вестник Томского государственного университета. - 2017. - № 421. - URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razvitie-tehnologii-funktsionalnoy-mrt-v-nachale-xxi-v-na-primere-mezhdunarodnogo-tomograficheskogo-tsentra-so-ran>(дата обращения: 31.03.2024).

78. Седов, А.С. Нейронные механизмы передачи моторного сигнала в вентрооральном комплексе таламуса мозга человека при реализации движения / А.С. Седов, С.Н. Раева, Р.С. Медведник // Системные и клеточные механизмы в физиологии двигательной системы: материалы V Всероссийской с международным участием школы-конференции по физиологии мышц и мышечной деятельности, Москва, 2-5 февраля 2009 г. – Москва, 2009. – С. 49.

79. Семенова, Е.А. Вариабельность структуры ДНК и состав мышечных волокон человека / Е.А. Семенова, С.А. Хабибова, О.В. Борисов [и др.] // Физиология человека. - 2019. - Т. 45, № 2. - С. 128-136.

80. Словарь физиологических терминов / ответственный редактор О.Г. Газенко; АН СССР, Отделение физиологии, Всесоюзное физиологическое общество им. И. П. Павлова. - Москва: Наука, 1987. - 446 с.

81. Смирнов, И.Ю. Физкультура для активных студентов: учебное пособие / И.Ю. Смирнов. - Кострома: Издательство Костромского государственного технологического университета, 2011. - 129 с.

82. Смирнова, Л.В. Влияние изометрического сокращения скелетных мышц на аутогенное торможение спинальных α -мотонейронов у человека:

- автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук / Смирнова Лариса Владимировна. – Тверь, 2011. – 18 с.
83. Сологуб, Е.Б. Спортивная генетика: монография / Е.Б. Сологуб, В.А. Таймазов, И.А. Афанасьева. - Санкт-Петербург: Изд-во Политехнического университета, 2017. - 166 с.
84. Солодков, А.С. Адаптация в спорте: состояние, проблемы, перспективы / А.С. Солодков // Физиология человека. – 2000. – Т. 26, № 6. – С. 87-93.
85. Спирьянов, С.А. Биотехническая система стимуляционной электронной миографии / С.А. Спирьянов, С.Н. Марычев // Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии. – 2018. – С. 179-183.
86. Тришин, А.С. Индивидуальный профиль асимметрии как фактор двигательного стереотипа квалифицированных спортсменов / А.С. Тришин, Е.С. Тришин, Ю.А. Кудряшова, Е.М. Бердичевская, Е.А. Кудряшов // Физическая культура, спорт - наука и практика. – 2020. – № 3. – С. 30-34.
87. Тришин, А.С. Особенности поструральной устойчивости у баскетболистов в течение годового макроцикла тренировочного процесса / А.С. Тришин, Е.М. Бердичевская, Е.С. Тришин // Современные вопросы биомедицины. – 2024. – Т. 8, № 4(30).
88. Фомин, Р.Н. Нейрональная адаптация кортико-спинальных механизмов управления мышечным сокращением у спортсменов / Р.М. Фомин, М.В. Селяев // Физиология человека. – 2011. – Т. 37, № 6. – С. 76-88.
89. Фомин, Р.Н. Особенности пресинаптического торможения спинальных мотонейронов у лиц, адаптированных к мышечной работе разной направленности: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук / Фомин Роман Николаевич. – Тверь, 2004. – 17 с.
90. Фудин, Н.А. Медико-биологические технологии в физической культуре и спорте: монография / Н.А. Фудин, А.А. Хадарцев, В.А. Орлов / Под ред. академика РАН А.И. Григорьева. М.: Спорт, Человек, 2018. - 320 с.

91. Хайруллин, А.Е. Динамика сокращений скелетных мышц крысы при активации P2-рецепторов после перерезки спинного мозга / А.Е. Хайруллин, Д.В. Ефимова, М.А. Мухамедьяров, М.Э. Балтин, Т.В. Балтина, С.Н. Гришин, А.У. Зиганшин // *Анналы клинической и экспериментальной неврологии*. – 2024. – Т. 18, № 2. – С. 45-51.
92. Цветков, М.С. Н-рефлекс и М-ответ в связи с особенностями свойств мышц и их резервных возможностей у бегунов на короткие и длинные дистанции / М.С. Цветков // *Вестник Новгородского государственного университета, серия: Медицинские Науки*. – 1998. - № 7. – С. 19-21.
93. Ципин, Л.Л. Регистрация электрической активности мышц спортсменов при изучении высокоамплитудных двигательных действий / Л.Л. Ципин, Ф.Е. Захаров, М.А. Самсонов // *Труды кафедры биомеханики университета имени П.Ф. Лесгафта*. – 2012. – № 6. – С. 36-43.
94. Ципин, Л.Л. Методологические аспекты применения электромиографии при изучении спортивных движений разной интенсивности / Л.Л. Ципин // *Ученые записки университета им. ПФ Лесгафта*. – 2015. – № 8. – С. 188-193.
95. Чанчаева, Е.А. Физиология физического воспитания и спорта: учебно-методический комплекс (для студентов, обучающихся по специальности 020201 «Биология») / Е.А. Чанчаева. - Горно-Алтайск: РИО ГАГУ, 2007. – 97 с.
96. Челноков, А.А. Особенности функциональных изменений спинальных тормозных процессов у спортсменов и лиц, не занимающихся спортом / А.А. Челноков, И.М. Тюпаев // *Проблемы функциональных состояний и адаптации в спорте: материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием и российско-китайского симпозиума, посвященных 120-летию НГУ им. П.Ф. Лесгафта (Санкт-Петербург, 27-28 мая 2016 г.)* / под редакцией И.В. Левшина; Национальный государственный университет физической культуры, спорта и здоровья

имени П.Ф. Лесгафта, Санкт-Петербург. – Санкт-Петербург: [б.и.], 2016. – С. 127-130.

97. Черапкина, Л.П. Медико-биологические основы отбора и прогнозирования высших спортивных достижений (на примере водных видов спорта) / Л.П. Черапкина. - Омск: Издательство СибГУФК, 2005. - 72 с.

98. Шапков, Ю.Т. Проблемы регистрации вызванных потенциалов спинного мозга / Ю.Т. Шапков // Регуляция и сенсорное обеспечение движений: сборник трудов / под редакцией Н.Ф. Подвигина, Ю.Т. Шапкова. – Ленинград: Наука, 1987. – С. 251.

99. Шаповалов, А.И. Нейроны и синапсы супраспинальных моторных систем / А.И. Шаповалов. – Ленинград: Наука, 1975. – 228 с.

100. Шварц, В.Б. Медико-биологические критерии спортивной ориентации и отбора детей по данным близнецовых и лонгитудинальных исследований: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора медицинских наук / Шварц В.Б. - Ленинград, 1991. - 54 с.

101. Ширинова, В.А. Особенности моторного ответа мышц верхних и нижних конечностей квалифицированных прыгунов в воду / В.А. Ширинова, И.Е. Попова // Перспективы развития студенческого спорта и Олимпизма. – 2021. – С. 374-380.

102. Экклс, Дж. Тормозные пути в центральной нервной системе / Дж. Экклс; перевод с английского Н.Ю. Алексеенко. – Москва: Мир, 1971. – 168 с.

103. Яфарова, Г.Г. Функциональное состояние двигательных центров спинного мозга в условиях его травматического повреждения / Г.Г. Яфарова, Т.В. Балтина, И.Н. Плещинский. – Нижнекамск: Издательство НФ МГЭИ, 2008. – 74 с.

104. Aagaard, P. Neural adaptation to resistance training: changes in evoked V-wave and H-reflex responses / P. Aagaard, E.B. Simonsen, J.L. Andersen [et al.] // J Appl Physiol. – 2002. – № 92. – P. 2309-2318.

105. Abbruzzese, G. Motor evoked potentials following cervical electrical stimulation in brachial plexus lesions / G. Abbruzzese, M. Morena, C. Caponnetto [et al.] // *J Neurol.* – 1993. - Vol. 241. - № 2. - P. 63-7.
106. Adkins, D.L. Motor training induces experience-specific patterns of plasticity across motor cortex and spinal cord / D.L. Adkins, J. Boychuk, M.S. Remple [et al.] // *J. Appl. Physiol.* – 2006. – Vol. 101. - № 6. – P. 1776.
107. Al'joboori, Y. The immediate and short-term effects of transcutaneous spinal cord stimulation and peripheral nerve stimulation on corticospinal excitability / Y. Al'joboori, R. Hannah, F. Lenhan [et al.] // *Frontiers in Neuroscience.* – 2021. – Vol. 15. – URL: <https://www.frontiersin.org/journals/neuroscience/articles/10.3389/fnins.2021.749042/full> (дата обращения 20.03.2024).
108. Alexander, G.E. Functional architecture of basal ganglia circuits: neural substrates of parallel processing / G.E. Alexander, M.D. Crutcher // *Trends Neurosci.* – 1990. – Vol. 13. – P. 226-271.
109. Aprigliano, F. Intersegmental coordination elicited by unexpected multidirectional slipping-like perturbations resembles that adopted during steady locomotion / F. Aprigliano, D. Martelli, S. Micera [et al.] // *J Neurophysiol.* – 2016. – № 115. – P. 728-740.
110. Auriat, A.M. A Review of Transcranial Magnetic Stimulation and Multimodal Neuroimaging to Characterize Post-Stroke Neuroplasticity / A.M. Auriat, J.L. Neva, S. Peters [et al.] // *Front Neurol.* – 2015. – № 62. – P. 26.
111. Bajetto, A. Characterization of chemokines and their receptors in the central nervous system: physiopathological implications / A. Bajetto, R. Bonavia, S. Barbero [et al.] // *J Neurochem.* – 2002. – Vol. 82. - № 6. – P. 1311-1320.
112. Barker, A.T. Non-invasive magnetic stimulation of the human motor cortex / A.T. Barker, R. Jalinous, I.L. Freston // *Lancet.* – 1985. – V. 1. – P. 1106-1107.
113. Barrière, G. Dual spinal lesion paradigm in the cat: evolution of the kinematic locomotor pattern / G. Barrière, A. Frigon, H. Leblond [et al.] // *Journal of Neurophysiology.* – 2010. - Vol. 104. - № 2. – P. 1119.

114. Bax, M. Proposed definition and classification of cerebral palsy / M. Bax, M. Goldstein, P. Rosenbaun [et al.] // *Developmental Medicine and Child Neurology*. – 2005. – Vol. 47. - № 8. – P. 571–576.
115. Betti, S. Corticospinal excitability and conductivity are related to the anatomy of the corticospinal tract / S. Betti, M. Fedele, U. Castiello [et al.] // *Brain Struct Funct*. - 2022. - Vol. 227. - № 3. – P. 1155-1164.
116. Bikchentaeva, L. Different Factors Influencing Postural Stability during Transcutaneous Electrical Stimulation of the Cervical Spinal Cord / L. Bikchentaeva, M. Nikulina, A. Shulman, M. Baltin, A. Zheltukhina, E. Semenova, V. Smirnova, S. Klepikova, T. Baltina // *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*. - 2024. - V. 9, No3:142.
117. Boa Sorte Silva, N. Myelin and physical activity in older adults with cerebral small vessel disease and mild cognitive impairment / N. Boa Sorte Silva, E. Dao, H.C. Liang et al. // *J. Gerontol. Ser. A Biol. Sci. Med. Sci.* – 2023. - Vol. 78. – P. 545–553.
118. Bracchi, F. Frequency stabilization in the motor centers of spinal cord and caudal brain stem / F. Bracchi, M. Decandia, T. Gualtierotti // *Am. J. Physiol.* – 1966. – № 210. – P. 1170-1177.
119. Butefisch, C.M. Plasticity in the human cerebral cortex: lessons from the normal brain and from stroke / C.M. Butefisch // *Neuroscientist*. - 2004. - Vol.10. - P. 163-173.
120. Butz, M. Activity-dependent structural plasticity / M. Butz, F. Wörgötter, A. van Ooyen // *Brain Research Reviews*. – 2009. – Vol. 60. - № 2. – P. 287–305.
121. Canavero, S. Therapeutic extradural cortical stimulation for central and neuropathic pain: a review / S. Canavero, V. Bonicalzi // *Clin. J. Pain*. – 2002. – Vol. 18. – P. 48-55.
122. Capaday, C. Studies on the corticospinal control of human walking. I. Responses to focal transcranial magnetic stimulation of the motor cortex / C. Capaday, B. Lavoie, H. Barbeau [et al.] // *J. Neurophysiol.* – 1999. – Vol. 81. - № 1. – P. 129-139.

123. Caramia, M.D. Excitability changes of muscular responses to magnetic brain stimulation in patients with central motor disorder / M.D. Caramia, P. Cicinelli, C. Paradiso [et al.] // EEG Clin. Neurophysiol. – 1991. – № 81. – P. 243-250.
124. Carr, L.J. Patterns of central motor reorganization in hemiplegic cerebral palsy / L.J. Carr, L.M. Harrison, A.L. Evans [et al.] // Brain. - 1993. – Vol. 116. - № 5. – P. 1223–1247.
125. Carroll, T.J. The sites of neural adaptation induced by resistance training in humans / T.J. Carroll, S. Riek, R.G. Carson // J Physiol. – 2002. – № 544. – P. 641-52.
126. Casella, C. Drumming motor sequence training induces apparent myelin remodelling in huntington's disease: a longitudinal diffusion MRI and quantitative magnetization transfer study / Casella C., Bourbon-Teles J., Bells S. et al. // J. Huntington Dis. – 2020. - Vol. 9. - P. 303–320.
127. Chen, X.Y. Conditioned H-reflex increase persists after transection of the main corticospinal tract in rats / X.Y. Chen, L. Chen, J.R. Wolpaw // Journal of Neurophysiology. – 2003. – Vol. 90. - №5. – P. 3572–3578.
128. Chokroverty, S. Percutaneous magnetic coil stimulation of human cervical vertebral column: site of stimulation and clinical application / S. Chokroverty, M.A. Picone, M. Chokroverty // Electroencephalogr Clin Neurophysiol. – 1991. – Vol. 81. - №5. – P. 359-365.
129. Clos, P. Locomotor activities as a way of inducing neuroplasticity: insights from conventional approaches and perspectives on eccentric exercises / P. Clos, R. Lepers, Y.M. Garnier et al. // Eur J Appl Physiol. - 2021. - V. 121. - № 3. - P. 697-706.
130. Contessa, P. Neural control of muscle force: indications from a simulation model / P. Contessa, C.J. DeLuca // Journal of Physiology. – 2013. - № 109. – P. 1548-1570.
131. Courtine, G. Modulation of multisegmental monosynaptic responses in a variety of leg muscles during walking and running in humans / G. Courtine, S.J.

- Harkema, J.D. Christine [et al.] // The Journal of Physiology. – 2007. – Vol. 582. - № 3. – P. 1125–1139.
132. Dan, Y. Spike timing-dependent plasticity of neural circuits / Y. Dan, M.M. Poo // Neuron. – 2004. - Vol. 44. - № 1. – P. 23-30.
133. Davidoff, R.A. The pyramidal tract / R.A. Davidoff // Neurology. – 1990. – Vol. 340. - № 2. – P. 332-339.
134. De Luca, C.J. Hierarchical control of motor units in voluntary contractions / C.J. De Luca, P. Contessa // Journal of Physiology. – 2012. – Vol. 107. - № 1. – P. 178-195.
135. De Luca, C.J. Relationship between firing rate and recruitment threshold of motoneurons in voluntary isometric contractions / C.J. De Luca, E.C. Hostage // Journal of Physiology. – 2010. – Vol. 104. - № 2. – P. 1034-1046.
136. Del Santo, F. Recurrence quantification analysis of surface EMG detects changes in motor unit synchronization induced by recurrent inhibition / F. Del Santo, F. Gelli, R. Mazzocchio, A. Rossi // Exp. Brain Res. - 2007. - V. 178. - P. 308.
137. Deschamps, T. Reciprocal timing precision and central adaptations as a function of mechanical constraints / T. Deschamps, A. Murian, F. Hug // Journal of Electromyography and Kinesiology. - 2011. - № 21. - P. 968-973.
138. Di Virgilio, T.G. The Reliability of Transcranial Magnetic Stimulation-Derived Corticomotor Inhibition as a Brain Health Evaluation Tool in Soccer Players / T.G. Di Virgilio, M. Ietswaart, R. Selvamoorthy [et al.] // Sports Med. – 2022. - Vol. 8, №7. - URL: <https://sportsmedicine-open.springeropen.com/articles/10.1186/s40798-021-00399-3> (дата обращения 31.03.2024).
139. Dixon, L. Paired associative transspinal and transcortical stimulation produces plasticity in human cortical and spinal neuronal circuits / L. Dixon, M.M. Ibrahim, D. Santora [et al.] // J Neurophysiol. – 2016. - Vol. 116. - № 2. – P. 904-916.

140. Dubbioso, R. The Myelin Content of the Human Precentral Hand Knob Reflects Interindividual Differences in Manual Motor Control at the Physiological and Behavioral Level / R. Dubbioso, K.H. Madsen, A. Thielscher, H.R. Siebner // *J Neurosci.* – 2021. - Vol. 41. - № 14. - P. 3163-3179.
141. Duchateau, J. Training adaptations in the behavior of human motor units / J. Duchateau, J.G. Semmler, R.M. Enoka // *J Appl Physiol.* – 2006. – Vol. 101. - № 6. – P. 1766-75.
142. Dy, C.J. Phase-dependent modulation of percutaneously elicited multisegmental muscle responses after spinal cord injury / C.J. Dy, Y.P. Gerasimenko, V.R. Edgerton [et al.] // *J Neurophysiol.* – 2010. – № 103. – P. 2808-2820.
143. Earles, D.R. Pre- and post-synaptic control of motoneuron excitability in athletes / D.R. Earles, J.T. Dierking, C.T. Robertson [et al.] // *Med. Sci. Sports Exerc.* – 2002. – Vol. 34. - № 11. – P. 1766-1772.
144. Edgerton, V.R. Plasticity of the spinal neural circuitry after injury / V.R. Edgerton, N.J. Tillakaratne, A.J. Bigbee [et al.] // *Annu Rev Neurosci.* – 2004. – № 27. – P. 145–167.
145. Eisen, A. Cortical and peripheral nerve magnetic stimulation / A. Eisen // *Methods in Clinical Neurophysiology.* – 1992. - №3. – P. 65-84.
146. Eisen, A. Cortical magnetic stimulation in amyotrophic lateral sclerosis / A. Eisen, W. Shytbel, K. Murphy [et al.] // *Muscle Nerve.* – 1990. – № 13. – P. 146-151.
147. Elbert, T. Increased cortical representation of the fingers of the left hand in string players / T. Elbert, C. Pantev, C. Wienbruch [et al.] // *Science.* – 1995. – № 270. – P. 305-307.
148. Eyre, J.A. Development and plasticity of the corticospinal system in man / J.A. Eyre // *Neural Plasticity.* – 2003. – Vol. 10. - № 1-2. – P. 93–106.
149. Flor, H. Cortical reorganization and phantom phenomena in congenital and traumatic upper-extremity amputees / H. Flor, T. Elbert, W. Mühlnickel [et al.] // *Exp Brain Res.* – 1998. – Vol. 119. - № 2. – P. 205-12.

150. Fortune, E.S. Short-term synaptic plasticity as a temporal filter / E.S. Fortune, G.J. Rose // *Trends Neurosci.* – 2001. - Vol. 24. - P. 381-385.
151. Francois, D. Effect of percutaneous stimulation at different spinal levels on the activation of sensory and motor roots / D. Roy Francois, Gibson Grady, B. Stein Richard // *Exp Brain Res.* – 2012. – № 223. – P. 281-289.
152. Frigon, A. Effect of rhythmic arm movement on reflexes in the legs: modulation of soleus H-reflexes and somatosensory conditioning / A. Frigon, D.F. Collins, E.P. Zehr // *J. Neurophysiol.* – 2004. – № 91. - P. 105-107.
153. Galea, M.P. Multiple corticospinal neuron populations in the macaque monkey are specified by their unique cortical origins, spinal terminations, and connections / M.P. Galea, I. Darian-Smith // *Cerebral Cortex.* – 1994. – Vol. 4. - № 2. – P. 166–194.
154. Gaser, C. Brain structures differ between musicians and non-musicians / C. Gaser, G. Schlaug // *J Neurosci.* – 2003. – Vol. 23. - № 27. – P. 9240-9245.
155. Gerasimenko, Y. Novel and direct access to the human locomotor spinal circuitry / Y. Gerasimenko, A. Savochin, R. Gorodnichev [et al.] // *J. Neuroscience.* – 2010. – Vol. 30. - № 10. – P. 3700–3708.
156. Gerasimenko, Y.P. Noninvasive reactivation of motor descending control after paralysis / Y.P. Gerasimenko, D.C. Lu, M. Modaber [et al.] // *J Neurotrauma.* – 2015. - Vol. 32. - № 24. – P. 1968–80.
157. Goldsworthy, M.R. Combined transcranial alternating current stimulation and cTBS: a novel approach for neuroplasticity induction / M.R. Goldsworthy, A.M. Vallence, R. Yang [et al.] // *Eur J Neurosci.* – 2015. – URL: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26663460> (дата обращения 28.08.2022).
158. Gordon, E.M. A somato-cognitive action network alternates with effector regions in motor cortex / E.M. Gordon, R.J. Chauvin, A.N. Van [et al.] // *Nature.* – 2023. - Vol. 617. - № 7960. - P. 351-359.
159. Greeley, B. Individuals with higher levels of physical activity after stroke show comparable patterns of myelin to healthy older adults / B. Greeley, C.

Rubino, R. Denyer et al. // *Neurorehabil. Neural Repair.* – 2022. - Vol. 36. – P. 381–389.

160. Gruber, M. Excitability at the motoneuron pool and motor cortex is specifically modulated in lengthening compared to isometric contractions / M. Gruber, V. Linnamo, V. Strojnik [et al.] // *J Neurophysiol.* – 2009. – Vol. 101. - № 4. – P. 2030-40.

161. Grzejszczak, T. Surface Electromyography Data Analysis for Evaluation of Physical Exercise Habits between Athletes and Non-Athletes during Indoor Rowing / T. Grzejszczak, A. Rokseła, A. Poświata [et al.] // *Sensors (Basel).* – 2024. – Vol. 24. - №6. - URL: https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.7fa28811-660c0cb8-8bd1f9c2-74722d776562/https/pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38544225/ (дата обращения 02.04.2024).

162. Guipponi, G. Neurophysiological and neuropsychiatric aspects of transcranial magnetic stimulation / G. Guipponi, R. Pucha // *Clinical Neuropsychiatry.* – 2009. – Vol. 6. - № 6. – P. 234-45.

163. Hallett, M. Brain topography and clinical applications. *Advances in occupational medicine and rehabilitation* / M. Hallett. – Pavia, 1996. – P. 75–89.

164. Hartline, D.K. Rapid conduction and the evolution of giant axons and myelinated fibers / D.K. Hartline, D.R. Colman // *Curr Biol.* – 2007. – Vol. 17. - №. – P. 29-35.

165. Hertz-Pannier, L. Brain plasticity during development: physiological bases and functional MRI approach / L. Hertz-Pannier // *J. Neuroradiol.* – 1999. – Vol. 26. – P. 866-874.

166. Hodapp, M. Modulation of soleus H-reflexes during gait in healthy children / M. Hodapp, C. Klisch, W. Berger [et al.] // *Experimental Brain Research.* – 2007. – № 178(2). – P. 252–260.

167. Hofstoetter, U.S. Common neural structures activated by epidural and transcutaneous lumbar spinal cord stimulation: elicitation of posterior root-muscle reflexes / U.S. Hofstoetter, B. Freundl, H. Binder, K. Minassian // *PLoS One.* –

2018. - Vol. 13. - № 1. – URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29381748/> (дата обращения 20.03.2024).

168. Hofstoetter, U.S. Periodic modulation of repetitively elicited monosynaptic reflexes of the human lumbosacral spinal cord / U.S. Hofstoetter, S.M. Danner, B. Freundl [et al.] // *J Neurophysiol.* – 2015. - Vol. 114. - № 1. – P. 400–410.

169. Hofstoetter, U.S. Transcutaneous spinal cord stimulation induces temporary attenuation of spasticity in individuals with spinal cord injury / U.S. Hofstoetter, B. Freundl, S.M. Danner [et al.] // *J Neurotrauma.* – 2020. - Vol. 37. - № 3. – P. 481–493.

170. Hoppeler, H. Exercise-induced ultrastructural changes in skeletal muscle / H. Hoppeler // *Int J Sports Med.* - 1986. - № 7. - P. 76-92.

171. Hortobágyi, T. Age reduces cortical reciprocal inhibition in humans / T. Hortobágyi, M.F. del Olmo, J.C. Rothwell // *Exp Brain Res.* – 2006. – Vol. 171. - № 3. – P. 322-329.

172. Hughes, D.I. HCN4 subunit expression in fast-spiking interneurons of the rat spinal cord and hippocampus / D.I. Hughes, K.A. Boyle, C.M. Kinnon [et al.] // *Neuroscience.* – 2013. – № 237. – P. 7-18.

173. Jang, S.H. Recovery of an injured corticospinal tract via an unusual pathway in a stroke patient / S.H. Jang, C.H. Chang, Y.J. Jung, Y. S. Seo [et al.] // *Medicine (Baltimore).* – 2019. – Vol. 98. - № 7. – URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30762729/> (дата обращения 08.04.2025).

174. Jensen, J.L. Motor skill training and strength training are associated with different plastic changes in the central nervous system / J.L. Jensen, P.C. Marstrand, J.B. Nielsen // *J Appl Physiol.* – 2005. – № 99. – P. 1558-1568.

175. Jessop, T. Short-term plasticity of human spinal inhibitory circuits after isometric and isotonic ankle training / T. Jessop, A. DePaola, L. Casaletto [et al.] // *Eur J Appl Physiol.* – 2013. – Vol. 113. - № 2. – P. 273-84.

176. Johnson, M.A. Data on the distribution of fibre types in thirty-six human muscles. An autopsy study / M.A. Johnson, J. Polgar, D. Weightman [et al.] // *J. Neurol Sci.* – 1973. – № 18. – P. 111-129.

177. Judge, L.W. Neural adaptations with sport-specific resistanse training in highly skilled athletes / L.W. Judge, C. Moreau, J.R. Burke // *J. Sports Sci.* - 2003. - Vol. 21. - № 5. - P. 419.
178. Kilavik, B.E. Signs of timing in motor cortex during movement preparation and cue anticipation / B.E. Kilavik, J. Confais, A. Riehle // *Adv Exp Med Biol.* – 2014. – № 829. – P. 121-42.
179. Kim, H. Optimal stimulation site for rTMS to improve motor function: Anatomical hand knob vs. hand motor hotspot / H. Kim, J. Kim, H.J. Lee [et al.] // *Neurosci Lett.* – 2021. – Vol. 740. – URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33075419/> (дата обращения 08.04.2025).
180. Kim, J. Comparison of hemodynamic changes after repetitive transcranial magnetic stimulation over the anatomical hand knob and hand motor hotspot: A functional near-infrared spectroscopy study / J. Kim, H. Kim, J. Lee [et al.] // *Restor Neurol Neurosci.* – 2020. - Vol. 38. - № 6. – P. 407-417.
181. Kirby, E. Increased myelination plays a central role in white matter neuroplasticity / E. Kirby, T. Frizzell, L. Grajauskas et al. // *NeuroImage.* - 2022. – Vol. 263. – P. 119644.
182. Knikou, M. Transspinal constant-current long-lasting stimulation: a new method to induce cortical and corticospinal plasticity / M. Knikou, L. Dixon, D. Santora [et al.] // *J Neurophysiol.* – 2015. – Vol. 114. - № 3. – P. 1486-99.
183. Koceja, D.M. Conditioned patellar tendon reflexes in sprint- and endurance-trained athletes / D.M. Koceja, G. Kamen // *Med Sci Sports Exerc.* – 1988. – Vol. 20. - № 2. – P. 172-177.
184. Krysciak, K. Force regulation and electrical properties of motor units in overloaded muscie / K. Krysciak, J. Celichowski, H. Drzymala-Celichowska [et al.] // *Muscle Nerve.* – 2016. – Vol. 53. - № 1. – P. 96-106.
185. Kyröläinen, H. Stretch reflex responses following mechanical stimulation in power- and endurance-trained athletes / H. Kyröläinen, P.V. Komi // *Int J Sports Med.* – 1994. – Vol. 15. - № 6. – P. 290-294.

186. Latash, M.L. Biomechanics and Motor Control : Defining Central Concepts / M.L. Latash, V.M. Zatsiorsky. - Elsevier Inc., 2015. - 409 p.
187. Latash, M.L. Neurophysiological basis of movement / M.L. Latash. – Human Kinetics, 2008. – 427 p.
188. Liang, H. Unified mechanisms of Ca²⁺ regulation across the Ca²⁺ channel family / H. Liang, C.D. DeMaria, M.G. Erickson [et al.] // Neuron. - 2003. - V. 39. - P. 951-960.
189. Liepert, J. Change of cortical motor area size during immobilization / J. Liepert, M. Tegenthoff, J.P. Malin // EEG Clin. Neurophysiol. – 1995. – № 97. – P. 382-386.
190. Lissek, S. Immobilization impairs tactile perception and shrinks somatosensory cortical maps / S. Lissek, C. Wilimzig, P. Stude [et al.] // Curr Biol. – 2009. – Vol. 19. - № 10. – P. 837-842.
191. Liu, Y. Signaling pathways in activity-dependent fiber type plasticity in adult skeletal muscle / Y. Liu, T. Shen, W.R. Randall [et al.] // Journ. Muscle. Res. Cell Motil. - 2005. - Vol. 26. - P. 13-21.
192. Lohia, A. Neuroanatomy, Pyramidal Tract Lesions. 2023 Jul 24. In: StatPearls [Internet] / A. Lohia, J. McKenzie // Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024. - URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31082020/> (дата обращения 08.04.2025).
193. Maertens de Noordhout, A. Corticomotoneuronal synaptic connections in normal man / A. Maertens de Noordhout, G. Rapisarda, D. Bogaez [et al.] // Brain. – 1999. – № 122. – P. 1327-1340.
194. Maffiuletti, N.A. Electrical and mechanical H_{max}-to-M_{max} ratio in power and endurance-trained athletes / N.A. Maffiuletti, A. Martin, N. Babault [et al.] // J. Appl Physiol. - 2001. - Vol. 90. - № 1. - P. 3-9.
195. Malcolm, P.M. Reliability and utility of transcranial magnetic stimulation to assess activity-dependent plasticity in human stroke: a dissertation presented to the graduate school of the university of Florida in partial fulfillment of the

requirements for the degree of doctor of philosophy / P.M. Malcolm– Florida, 2003. – P. 10-13.

196. Manning, K.Y. Longitudinal changes of brain microstructure and function in nonconcussed female rugby players / K.Y. Manning, J.S. Brooks, J.P. Dickey [et al.] // *Neurology*. – 2020. – Vol. 95. - № 4. - URL: <https://www.neurology.org/doi/10.1212/WNL.00000000000009821> (дата обращения 08.04.2025).

197. Manto, M. Modulation of excitability as an early change leading to structural adaptation in the motor cortex / M. Manto, N. Oulad ben Taib, A.R. Luft // *J. Neuro. Sci. Res.* - 2006. - Vol. 83. - № 2. – P. 177-180.

198. Martin, P.G. Reproducible measurement of human motoneuron excitability with magnetic stimulation of the corticospinal tract / P.G. Martin, A.L. Hudson, S.C. Gandevia [et al.] // *J Neurophysiol.* – 2009. – Vol. 102. - № 1. – P. 606-613.

199. Mellow, M.L. Acute aerobic exercise and neuroplasticity of the motor cortex: A systematic review / M.L. Mellow, M.R. Goldsworthy, S. Coussens [et al.] // *J Sci Med Sport.* - 2020. - Vol. 23. - № 4. – P. 408-414.

200. Mendez Colmenares, A. White matter plasticity in healthy older adults: the effects of aerobic exercise / A. Mendez Colmenares, M. Voss, J. Fanning et al. // *NeuroImage.* – 2021. - Vol. 239. - P. 118305.

201. Meunier, S. Spinal use-dependent plasticity of synaptic transmission in humans after a single cycling session / S. Meunier, J. Kwon, H. Russmann [et al.] // *Journal of Physiology.* – 2007. – Vol. 579. - № 2. – P. 375–388.

202. Minassian, K. Posterior root-muscle reflexes elicited by transcutaneous stimulation of the human lumbosacral cord / K. Minassian, I. Persy, F. Rattay [et al.] // *Muscle Nerve.* – 2007. – Vol. 35. - № 3. – P. 327-36.

203. Morris, T.P. Aftereffects of Intermittent Theta-Burst Stimulation in Adjacent, Non-Target Muscles / T.P. Morris, P. Davila-Pérez, A. Jannati [et al.] // *Neuroscience.* – 2019. – Vol. 418. – P. 157-165.

204. Ni, Z. Transcranial magnetic stimulation to understand pathophysiology and as potential treatment for neurodegenerative diseases / Z. Ni, R. Chen // *Transl Neurodegener.* – 2015. – № 4. – P. 22.
205. Nielsen, J.B. Olympic brain. Does corticospinal plasticity play a role in acquisition of skills required for high-performance sports? / J.B. Nielsen, L.G. Cohen // *J. Physiol.* – 2008. – Vol. 586. - № 1. – P. 65.
206. Nielsen, J.B. Sensorimotor integration at spinal level as a basis for muscle coordination during voluntary movement in humans / J.B. Nielsen // *J Appl Physiol.* – 2004. – Vol. 96. - № 5. – P. 1961-1967.
207. Odawara, A. Induction of long-term potentiation and depression phenomena in human induced pluripotent stem cell-derived cortical neurons / A. Odawara, H. Katoh, N. Matsuda [et al.]. // *Biochem Biophys Res Commun.* – 2016. – Vol. 469. - № 4. – P. 856-62.
208. Ohana, O. Fast recruitment of recurrent inhibition in the cat visual cortex / O. Ohana, H. Portner, K.A. Martin // *PLoS One.* – 2012. – № 7. – P. 7.
209. Olivier, E. An electrophysiological study of the postnatal development of the corticospinal system in the macaque monkey / E. Olivier, S.A. Edgley, J. Armand [et al.] // *J Neurosci.* – 1997. – Vol. 17. - № 1. – P. 267-276.
210. Papageorgiou, I.E. TLR4-activated microglia require IFN- γ to induce severe neuronal dysfunction and death in situ / I.E. Papageorgiou, A. Lewen, L.V. Galow [et al.] // *Proc Natl Acad Sci U S A.* – 2015, Dec 22. – URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26699475/> (дата обращения 08.04.2025).
211. Park, I.S. Basketball training increases striatum volume / I.S. Park, K.J. Lee, J.W. Han [et al.] // *Hum Mov Sci.* – 2011. – Vol. 30. - № 1. – P. 56-62.
212. Pascual-Leone, A. Applications of transcranial magnetic stimulation in studies on motor learning. / A. Pascual-Leone, F. Tarazona, M.D. Catalá // *Transcranial Magnetic Stimulation, Supplement of Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, EEG Suppl.* / eds. W. Paulus, M. Hallett, Rossini, P.M. J.C. Rothwell. – 1999. - № 51. – P. 157.

213. Pascual-Leone, A. Modulation of cortical motor output maps during development of implicit and explicit knowledge / A. Pascual-Leone, J. Grafman, M. Hallett // *Science*. – 1994. – № 263. – P. 1287-1289.
214. Pascual-Leone, A. Plasticity of the sensorimotor cortex representation of the reading finger in Braille readers / A. Pascual-Leone, F. Torres // *Brain*. – 1993. – № 116. – P. 39-52.
215. Pascual-Leone, A. The role of reading activity on the modulation of motor cortical outputs to the reading hand in Braille readers / A. Pascual-Leone, E.M. Wassermann, N. Sadato [et al.] // *Ann Neurol*. – 1995. – Vol. 38. - № 6. – P. 910-915.
216. Pearce, A.J. Functional reorganization of the corticomotor projection to the hand in skilled racquet players / A.J. Pearce, G.W. Thickbroom, M.L. Byrnes [et al.] // *Exp. Brain Res.* – 2000. – № 130. – P. 238–243.
217. Penfield, W. *The Cerebral Cortex of Man* / W. Penfield, T. Rasmussen. – New York: McMillan, 1950. – 48 p.
218. Perez, M.A. Motor skill training induces changes in the excitability of the leg cortical area in healthy humans / M.A. Perez, B.K. Lungholt, K. Nyborg [et al.] // *Exp Brain Res.* – 2004. – Vol. 159. - № 2. – P. 197-205.
219. Pulverenti, T.S. Neurophysiological Changes After Paired Brain and Spinal Cord Stimulation Coupled With Locomotor Training in Human Spinal Cord Injury / T.S. Pulverenti, M. Zaaya, M. Grabowski [et al.] // *Front Neurol.* – 2021. - Vol. 12. – URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34040572/> (дата обращения 08.04.2025).
220. Rajagopalan, V. Differential involvement of corticospinal tract (CST) fibers in UMN-predominant ALS patients with or without CST hyperintensity: A diffusion tensor tractography study / V. Rajagopalan, E.P. Pioro // *Neuroimage Clin.* – 2017. - Vol. 14. – P. 574-579.
221. Rioult-Pedotti, M.-S. Strengthening of horizontal cortical connections following skill learning / M.-S. Rioult-Pedotti, D. Friedman, G. Hess [et al.] // *Nature neuroscience.* – 1998. – Vol. 1. - № 3. – P. 230-234.

222. Rippetoe, M. Starting Strength Basic Barbell Training / M. Rippetoe, S. Bradford. – 3-nd ed. - Wichita Falls, Texas : Aasgard Company, 2011. - 347 p.
223. Rocamora, N. Upregulation of BDNF mRNA expression in the barrel cortex of adult mice after sensory stimulation / N. Rocamora, E. Welker, M. Pascual [et al.] // J Neurosci. – 1996. – № 16. – P. 4411-4419.
224. Romero, D.H. Changes in postural control with aging and Parkinson's disease / D.H. Romero, G.E. Stelmach // IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine. – 2003. – Vol. 22. - № 2. – P. 27–31.
225. Rosenkranz, K. Motorcortical excitability and synaptic plasticity is enhanced in professional musicians / K. Rosenkranz, A. Williamon, J.C.Rothwell // J Neurosci. – 2007. – Vol. 27. - № 19. – P. 5200-5206.
226. Ross, A. Neural influences on sprint running: training adaptations and acute responses / A. Ross, M. Leveritt, S. Riek // Sports Med. – 2001. – № 31. – P. 409-425.
227. Ross, E.Z. Corticomotor excitability contributes to neuromuscular fatigue following marathon running in man / E.Z. Ross, N. Middleton, R. Shave [et al.] // Exp. Physiol. - 2007. - Vol. 92. - № 2. - P. 417.
228. Rossini, P.M. Neuromagnetic integrated methods tracking human brain mechanisms of sensorimotor areas 'plastic' reorganization / P.M. Rossini, F. Pauri // Brain Res. Rev. – 2000. – № 33. – P. 131–154.
229. Rossini, P.M. Non-invasive electrical and magnetic stimulation of the brain, spinal cord, roots and peripheral nerves: basic principles and procedures for routine clinical and research application. An updated report from an I.F.C.N. Committee / P.M. Rossini, D. Burke, R. Chen [et al.] // Clin. Neurophysiol. – 2015. – Vol. 126. - № 6. – P.1071–1107.
230. Rowley, C. Exercise and microstructural changes in the motor cortex of older adults / C. Rowley, N. Bock, R. Deichmann et al. // Eur. J. Neurosci. – 2020. - Vol. 51. - P. 1711–1722.

231. Ryder, R. Spinal reflex adaptation in dancers changes with body orientation and role of pre-synaptic inhibition / R. Ryder, K. Kitano, D.M. Koceja // *Journal of Dance Medicine & Science*. – 2010. – Vol. 14. - № 4. – P. 155–162.
232. Sabbahi, M.A. Cervical multisegmental motor responses in healthy subjects / M.A. Sabbahi, Y.S. Sengul // *Spinal cord*. – 2012. – № 50. – P. 432-439.
233. Sadato, N. Neural networks for Braille reading by the blind / N. Sadato, A. Pascual-Leone, J. Grafman [et al.] // *Brain*. – 1998. – Vol. 121. - № 7. – P. 1213-1229.
234. Saha, R. A review on magnetic and spintronic neurostimulation: challenges and prospects / R. Saha, K. Wu, R.P. Bloom [et al.] // *Nanotechnology*. – 2022. – Vol. 33. - № 18. - URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35013010/> (дата обращения 20.03.2024)
235. Salzer, J.L. Myelination / J.L. Salzer, B. Zalc // *Curr Biol*. – 2016. - Vol. 26. - № 20. – P. 971-975.
236. Sarica, A. Assessment of the Corticospinal Tract Profile in Pure Lower Motor Neuron Disease: A Diffusion Tensor Imaging Study / A. Sarica, P. Valentino, R.Nisticò [et al.] // *Neurodegener Dis*. – 2019. - Vol. 19. - № 3-4. – P. 128-138.
237. Sato, S. Opportunities for concurrent transcranial magnetic stimulation and electroencephalography to characterize cortical activity in stroke / S. Sato, T.O. Bergmann, M.R. Borich // *Front Hum Neurosci*. – 2015. – № 9. – P. 250.
238. Seáñez, I. Motor improvements enabled by spinal cord stimulation combined with physical training after spinal cord injury: review of experimental evidence in animals and humans / I. Seáñez, M. Capogrosso // *Bioelectron Med*. – 2021. - Vol. 7. - № 1. - URL: <https://bioelecmed.biomedcentral.com/articles/10.1186/s42234-021-00077-5> (дата обращения 08.04.2025).
239. Semmler, J.G. Motor unit synchronization and neuromuscular performance / J.G. Semmler // *Exerc. Sport. Sci. Rev*. - 2002. - V. 30. - P. 8.

240. Shao, X. Myeloarchitectonic plasticity in elite golf players' brains / X. Shao, D. Luo, Y. Zhou et al. // *Hum. Brain Mapp.* - 2022. - Vol. 43. – P. 3461–3468.
241. Shin, J.C. Prolyl hydroxylase domain 2 deficiency induces muscle fiber type conversion / J.C. Shin, A. Nunomiya, Y. Kitajima [et al.] // 19th annual Congress of the European college of sport science: book of abstracts. 2-5 July 2014, Amsterdam, The Netherlands. - P. 82.
242. Simonsen, E.B. Amplitude of the human soleus H reflex during walking and running / E.B. Simonsen, P. Dyhre-Poulsen // *J. Physiol.* – 1999. – № 515. – P. 929-939.
243. Smith, A.E. High-intensity Aerobic Exercise Blocks the Facilitation of iTBS-induced Plasticity in the Human Motor Cortex / A.E. Smith, M.R. Goldsworthy, F.M. Wood [et al.] // *Neuroscience.* – 2018. - Vol. 373. - URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29292075/> (дата обращения 08.04.2025).
244. Sollmann, N. Associations between clinical outcome and navigated transcranial magnetic stimulation characteristics in patients with motor-eloquent brain lesions: a combined navigated transcranial magnetic stimulation-diffusion tensor imaging fiber tracking approach / N. Sollmann, N. Wildschuetz, A. Kelm [et al.] // *J Neurosurg.* – 2018. - Vol. 128. - № 3. – P. 800-810.
245. Stefan, K. Formation of a motor memory by action observation / K. Stefan, L.G. Cohen, J. Duque [et al.] // *J Neurosci.* – 2005. – Vol. 25. - № 41. – P. 9339-9346.
246. Sturnieks, D.L. Balance disorders in the elderly / D.L. Sturnieks, R. St George, S.R. Lord // *Neurophysiologie Clinique.* – 2008. – Vol. 38. - № 6. – P. 467–478.
247. Tahayori, B. Activity-dependent plasticity of spinal circuits in the developing and mature spinal cord / B. Tahayori, D.M. Koceja // *Neural Plasticity.* - 2012. - URL: <http://www.hindawi.com/journals/np/2012/964843/> (дата обращения 08.04.2025).
248. Takei, Y. Defects in Synaptic Plasticity, Reduced NMDA-Receptor Transport, and Instability of Postsynaptic Density Proteins in Mice Lacking

- Microtubule-Associated Protein 1A / Y. Takei, Y.S. Kikkawa, N. Atapour [et al.] // *J Neurosci.* – 2015. – Vol. 35. - № 47. – P. 15539-15554.
249. Taube, W. Repetitive activation of the corticospinal pathway by means of rTMS may reduce the efficiency of corticomotoneuronal synapses / W. Taube, C. Leukel, J.B. Nielsen [et al.] // *Cereb Cortex.* – 2015. – Vol. 25. - № 6. – P. 1629-1637.
250. Traversa, R. Mapping of motor cortical reorganization after stroke / R. Traversa, P. Cicinelli, A. Bassi [et al.] // *Stroke.* – 1997. – № 28. – P. 110-117.
251. Turco, C.V. Transcranial Magnetic Stimulation to Assess Exercise-Induced Neuroplasticity / C.V. Turco, A.J. Nelson // *Front Neuroergon.* - 2021. - Vol. 2. - URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38235229/> (дата обращения 08.04.2025).
252. Turrigano, G. Homeostatic plasticity in the developing nervous system / G. Turrigano, S. Nelson // *Nat. Neurosci. Rev.* – 2004. – Vol. 5. – P. 97-107.
253. Uematsu, J. Development of corticospinal tract fibers and their plasticity II. Neonatal unilateral cortical damage and subsequent development of the corticospinal tract in mice / J. Uematsu, K. Ono, T. Yamano [et al.] // *Brain and Development.* – 1996. – Vol. 18. - № 3. – P. 173-178.
254. Vigotsky, A.D. Interpreting Signal Amplitudes in Surface Electromyography Studies in Sport and Rehabilitation Sciences / A.D. Vigotsky, I. Halperin, G.J. Lehman [et al.] // *Front Physiol.* – 2018. – Vol. 8. – P. 985.
255. Volz, L.J. Differential modulation of motor network connectivity during movements of the upper and lower limbs / L.J. Volz, S.B. Eickhoff, E.M. Pool [et al.] // *Neuroimage.* – 2015. – Vol. 119. – P. 44-53.
256. Weiss Lucas, C. Functional MRI vs. navigated TMS to optimize M1 seed volume delineation for DTI tractography. A prospective study in patients with brain tumours adjacent to the corticospinal tract / C. Weiss Lucas, I. Tursunova, V. Neuschmelting [et al.] // *Neuroimage Clin.* – 2016. - Vol. 13. - P. 297-309.
257. Wolpaw, J.R. Activity-dependent spinal cord plasticity in health and disease / J.R. Wolpaw, A.M. Tennissen // *Annual Review of Neuroscience.* – 2000. – № 24. – P. 807-843.

258. Xerri, C. Post-lesional plasticity of somatosensory cortex maps: a review / C. Xerri // C. R. Acad. Sci. III. – 1998. – Vol. 321. – P. 135-151.
259. Xiang, Y.C. Corticospinal tract transection prevents operantly conditioned H-reflex increase in rats / Y.C. Xiang, J.S. Carp, L. Chen [et al.] // Experimental Brain Research. – 2002. – Vol. 144. - № 1. – P. 88–94.
260. Xue, L. Magneto-mechanical effect of magnetic microhydrogel for improvement of magnetic neuro-stimulation / L. Xue, Q. Ye, L. Wu [et al.] // Nano Research. – 2023. - Vol. 16. - №5. – P. 7393-7404.
261. Yang, Y. Investigating the descending motor tracts in patients with chronic ischemic stroke with diffusion tensor imaging / Y. Yang, M. Yang, H. Li [et al.] // Zhonghua Yi Xue Za Zhi. – 2015. – Vol. 95. - № 23. – P. 1842-1845.
262. Yildiz, S. Facial motor cortex plasticity in patients with unilateral peripheral facial paralysis / S. Yildiz, F. Bademkiran, N. Yildiz [et al.] // NeuroRehabilitation. – 2007. – Vol. 22. - № 2. – P. 133-140.
263. Young, R. Spasticity: a review / R. Young // Neurology. – 1994. – Vol. 44. – P. 12-20.
264. Zhu, J. Membrane Potential-Dependent Modulation of Recurrent Inhibition in Rat Neocortex / J. Zhu, M. Jiang, M. Yang. // Published. – 2011. – Vol. 9. - № 3. – P. 1001-1032.
265. Zochodne, D.W. Neurobiology of peripheral nerve regeneration / D.W. Zochodne. - Cambridge, New York, Melbourne, Madrid, Cape Town, Singapore, Sao Paulo, 2008. – 276 p.
266. Zumbakytė-Šermukšnienė, R. Assessment of functional conditions of basketball and football players during the load by applying the model of integrated evaluation / R. Zumbakytė-Šermukšnienė, A. Kajėnienė, A. Vainoras [et al.] // Medicina: Kaunas. – 2010. - Vol. 46. - № 6. - P. 421-428.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Параметры ВМО мышц плеча, предплечья и кисти у представителей различных видов спорта и лиц, не занимающихся спортом, при магнитной стимуляции нервных структур, $M \pm SD$

Параметры	Транскраниальная магнитная стимуляция					
	1. Баскетболисты	2. Пауэрлифтеры	3. Бегуны на короткие дистанции	4. Бегуны на средние дистанции	5. Бегуны на длинные дистанции	6. Лица, не занимающиеся спортом
Двуглавая мышца плеча						
Порог ВМО (Т)	0,81±0,13	0,90±0,08	0,87±0,15	0,80±0,12	0,71±0,07	0,93±0,09
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: $H(5, N=64) = 8,644567$ $p = 0,0706$					
Порог ВМО (%)	58,33±5,17	64,50±5,34	62,00±3,11	57,00±5,04	50,63±4,58	67,87±6,13
Достоверность различий	One-way ANOVA: $F(5, 58) = 2,3207$, $p = 0,07055$					
Амплитуда ВМО (мВ)	0,36±0,09	0,15±0,04	0,06±0,01	0,22±0,08	0,57±0,11	0,04±0,01
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: $H(5, N=64) = 28,20369$ $p = 0,00001$ $P_{1-3} = 0,001$; $P_{2-5} = 0,01$; $P_{3-5} = 0,00002$; $P_{1-6} = 0,001$; $P_{5-6} = 0,0001$ Во всех остальных случаях $p > 0,05$					
Латентность ВМО (мс)	13,06±0,92	11,82±0,89	11,72±0,82	13,11±0,88	13,21±0,95	13,98±1,01
Достоверность различий	One-way ANOVA: $F(5, 58) = 2,7387$, $p = 0,06605$					
Длительность ВМО (мс)	12,93±0,97	9,40±0,68	10,93±0,82	12,52±0,74	15,95±0,95	16,53±0,87
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: $H(5, N=64) = 18,65202$ $p = 0,0009$ $P_{1-2} = 0,02$; $P_{2-5} = 0,002$; $P_{3-5} = 0,03$; $P_{2-6} = 0,002$; $P_{3-6} = 0,02$ Во всех остальных случаях $p > 0,05$					
Амплитуда М-ответа (мВ)	11,07±1,97	5,62±1,66	7,18±1,04	9,33±0,93	12,15±1,78	4,88±1,01
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: $H(5, N=64) = 13,73955$ $p = 0,0082$ $P_{1-2} = 0,04$; $P_{2-5} = 0,006$; $P_{5-6} = 0,005$ Во всех остальных случаях $p > 0,05$					
Трехглавая мышца плеча						

Порог ВМО (Т)	0,88±0,08	0,89 ± 0,07	0,98 ± 0,09	0,87 ± 0,07	0,87 ± 0,06	0,99±0,08
Достоверность различий	One-way ANOVA: F(5, 58) =2,1269, p=0,09392					
Порог ВМО (%)	63,33 ± 3,87	64,00 ± 4,14	70,00 ± 5,15	63,13 ± 6,38	62,00 ± 5,16	72,56±4,87
Достоверность различий	One-way ANOVA: F(5, 58) =0,47178, p=0,75615					
Амплитуда ВМО (мВ)	0,40 ± 0,09	0,14 ± 0,02	0,07±0,02	0,32±0,05	0,64±0,08	0,06±0,01
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =27,33353 p =0,00001 P₁₋₃=0,002; P₂₋₅=0,006; P₃₋₅=0,00006; P₅₋₆=0,00005 Во всех остальных случаях p>0,05					
Латентность ВМО (мс)	13,14 ± 1,42	12,89 ± 1,25	12,28 ± 1,28	13,19 ± 1,51	13,36 ± 1,19	13,89±1,18
Достоверность различий	One-way ANOVA: F(5, 58) =1,5974, p=0,19147					
Длительность ВМО (мс)	15,07 ± 1,37	11,93 ± 1,27	13,77 ± 1,22	17,73 ± 1,29	18,16 ± 1,51	19,00±1,48
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =18,48513 p =0,0010 P₂₋₄=0,004; P₂₋₅=0,004; P₂₋₆=0,003 Во всех остальных случаях p>0,05					
Амплитуда М-ответа (мВ)	10,65 ± 1,13	7,53 ± 1,75	11,07 ± 1,48	9,06 ± 1,58	11,59 ± 1,11	6,98±1,09
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =5,543699 p =0,2359					
Лучевой сгибатель кисти						
Порог ВМО (Т)	0,62 ± 0,05	0,88 ± 0,09	0,60 ± 0,04	0,60 ± 0,04	0,58 ± 0,03	0,93±0,08
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =14,93326 p =0,0048 P₂₋₃=0,01; P₂₋₄=0,04; P₂₋₅=0,01; P₃₋₆=0,01; P₄₋₆=0,01; P₅₋₆=0,01 Во всех остальных случаях p>0,05					
Порог ВМО (%)	44,17 ± 3,05	62,50 ± 3,40	43,00 ± 2,87	43,00 ± 2,74	41,25 ± 2,42	63,78±3,89
Достоверность различий	One-way ANOVA: F(5, 58) =2,4345, p=0,0412 P₂₋₃=0,04; P₂₋₄=0,04; P₂₋₅=0,02; P₃₋₆=0,01; P₄₋₆=0,01; P₅₋₆=0,02 Во всех остальных случаях p>0,05					
Амплитуда ВМО (мВ)	0,41 ± 0,10	0,14 ± 0,03	0,16 ± 0,02	0,41 ± 0,05	0,53 ± 0,06	0,13±0,01
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =18,49893 p =0,0010 P₂₋₅=0,0004; P₃₋₅=0,001; P₅₋₆=0,001 Во всех остальных случаях p>0,05					
Латентность ВМО	15,96 ± 1,79	15,80 ± 1,26	15,47 ± 1,19	16,06 ± 1,24	16,43 ± 1,59	17,01±1,92

(мс)						
Достоверность различий	One-way ANOVA: $F(5, 58) = 0,53679, p = 0,70940$					
Длительность ВМО (мс)	15,24 ± 1,88	11,95 ± 0,85	13,56 ± 1,09	15,66 ± 1,57	16,62 ± 1,30	16,96 ± 1,23
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: $H(5, N = 64) = 9,240730, p = 0,0554$ $P_{2-5} = 0,04; P_{2-6} = 0,04$ Во всех остальных случаях $p > 0,05$					
Амплитуда М-ответа (мВ)	8,14 ± 0,92	4,35 ± 0,54	7,61 ± 1,23	7,96 ± 1,31	12,02 ± 1,96	3,67 ± 0,29
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: $H(5, N = 64) = 19,12595, p = 0,0007$ $P_{1-2} = 0,01; P_{2-3} = 0,01; P_{2-5} = 0,0008; P_{1-6} = 0,01; P_{3-6} = 0,01; P_{4-6} = 0,01; P_{5-6} = 0,001$ Во всех остальных случаях $p > 0,05$					
Локтевой разгибатель кисти						
Порог ВМО (Т)	0,56 ± 0,05	0,78 ± 0,07	0,55 ± 0,04	0,54 ± 0,05	0,55 ± 0,04	0,81 ± 0,05
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: $H(5, N = 64) = 6,869634, p = 0,1429$					
Порог ВМО (%)	40,42 ± 3,77	56,00 ± 4,63	39,50 ± 2,77	39,00 ± 3,41	39,38 ± 2,75	58,67 ± 3,17
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: $H(5, N = 64) = 10,39635, p = 0,0453$					
Амплитуда ВМО (мВ)	0,95 ± 0,14	0,38 ± 0,06	0,88 ± 0,16	0,86 ± 0,17	1,12 ± 0,24	0,31 ± 0,05
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: $H(5, N = 64) = 15,31677, p = 0,0041$ $P_{1-2} = 0,01; P_{2-3} = 0,03; P_{2-4} = 0,03; P_{2-5} = 0,01; P_{1-6} = 0,01; P_{3-6} = 0,02; P_{4-6} = 0,03; P_{5-6} = 0,01$ Во всех остальных случаях $p > 0,05$					
Латентность ВМО (мс)	17,55 ± 1,38	17,27 ± 1,19	17,50 ± 1,45	17,58 ± 1,43	17,57 ± 1,55	17,87 ± 1,32
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: $H(5, N = 64) = 0,8927010, p = 0,9256$					
Длительность ВМО (мс)	17,14 ± 1,88	13,49 ± 1,22	17,48 ± 1,48	15,64 ± 1,09	17,96 ± 1,00	18,4 ± 1,77
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: $H(5, N = 64) = 18,28462, p = 0,0011$ $P_{1-2} = 0,02; P_{2-3} = 0,002; P_{2-5} = 0,006; P_{2-6} = 0,005$ Во всех остальных случаях $p > 0,05$					
Амплитуда М-ответа (мВ)	5,84 ± 0,55	4,30 ± 0,45	5,24 ± 0,51	6,03 ± 0,60	7,19 ± 1,64	3,90 ± 0,33
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: $H(5, N = 64) = 16,93510, p = 0,0020$ $P_{2-5} = 0,0004; P_{5-6} = 0,001$ Во всех остальных случаях $p > 0,05$					

Короткий сгибатель большого пальца						
Порог ВМО (Т)	0,64 ± 0,05	0,83 ± 0,06	0,67 ± 0,06	0,56 ± 0,04	0,50 ± 0,04	0,90±0,07
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =10,84972 p =0,0283 P_{2.5}=0,03; P_{4.6}=0,02; P_{5.6}=0,02 Во всех остальных случаях p>0,05					
Порог ВМО (%)	46,25 ± 3,47	59,00 ± 3,97	48,00 ± 3,50	40,00 ± 3,14	35,63 ± 3,10	63,67±4,92
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =17,84089 p =0,0013 P_{2.4}=0,01; P_{2.5}=0,001; P_{4.6}=0,001; P_{5.6}=0,001 Во всех остальных случаях p>0,05					
Амплитуда ВМО (мВ)	0,87 ± 0,14	0,31 ± 0,03	0,76 ± 0,17	0,78 ± 0,11	1,00 ± 0,19	0,21±0,02
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =17,52146 p =0,0015 P_{1.2}=0,007; P_{2.4}=0,03; P_{2.5}=0,002; P_{4.6}=0,003; P_{5.6}=0,001 Во всех остальных случаях p>0,05					
Латентность ВМО (мс)	22,49 ± 1,51	21,59 ± 1,18	21,58 ± 1,12	22,67 ± 1,66	23,07 ± 1,62	22,89±1,44
Достоверность различий	One-way ANOVA: F(5, 58) =0,67886, p=0,61021					
Длительность ВМО (мс)	13,97 ± 1,47	13,61 ± 1,01	12,57 ± 0,62	13,96 ± 1,62	14,17 ± 1,08	14,44±1,21
Достоверность различий	One-way ANOVA: F(5, 58) =0,60141, p=0,66356					
Амплитуда М-ответа (мВ)	5,30 ± 0,63	3,78 ± 0,28	6,05 ± 1,12	6,74 ± 1,41	6,85 ± 1,69	3,04±0,36
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =16,45320 p =0,0025 P_{2.3}=0,0006; P_{2.4}=0,0002; P_{2.5}=0,0001; P_{3.6}=0,002; P_{4.6}=0,0001; P_{5.6}=0,0001 Во всех остальных случаях p>0,05					
Мышца, отводящая большой палец кисти						
Порог ВМО (Т)	0,64 ± 0,05	0,83 ± 0,07	0,66 ± 0,04	0,55 ± 0,04	0,49 ± 0,05	1,01±0,07
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =12,53378 p =0,0138 P_{2.4}=0,02; P_{2.5}=0,01; P_{4.6}=0,01; P_{5.6}=0,01 Во всех остальных случаях p>0,05					
Порог ВМО (%)	45,83 ± 3,07	59,50 ± 2,42	47,00 ± 2,51	39,38 ± 2,75	35,00 ± 3,69	64,94±3,03
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =28,11602 p =0,0000 P_{2.4}=0,00002; P_{2.5}=0,0005; P_{4.6}=0,0003; P_{5.6}=0,0001 Во всех остальных случаях p>0,05					
Амплитуда ВМО (мВ)	0,79 ± 0,11	0,22 ± 0,06	0,43 ± 0,12	0,78 ± 0,10	0,79 ± 0,18	0,20±0,08
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =17,35266 p =0,0017 P_{1.2}=0,03; P_{2.5}=0,0008; P_{1.6}=0,02; P_{2.6}=0,0007 Во всех остальных случаях p>0,05					

Латентность ВМО (мс)	19,46 ± 1,43	19,23 ± 1,26	19,14 ± 1,65	19,73 ± 1,86	19,79 ± 1,69	20,34±2,16
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: $H(5, N=64) = 1,745865$ $p = 0,7824$					
Длительность ВМО (мс)	14,17 ± 1,99	12,98 ± 1,10	14,64 ± 1,82	15,47 ± 1,99	14,72 ± 1,50	14,78±1,75
Достоверность различий	One-way ANOVA: $F(5, 58) = 1,4350$, $p = 0,23799$					
Амплитуда М-ответа (мВ)	8,38 ± 1,00	5,36 ± 0,79	7,82 ± 1,44	7,00 ± 1,27	8,56 ± 1,54	4,67±0,84
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: $H(5, N=64) = 9,200981$ $p = 0,0563$ $P_{2-5} = 0,04$; $P_{4-6} = 0,03$ Во всех остальных случаях $p > 0,05$					
Параметры	Магнитная стимуляция шейного утолщения спинного мозга					
	1. Баскетболисты	2. Пауэрлифтеры	3. Бегуны на короткие дистанции	4. Бегуны на средние дистанции	5. Бегуны на длинные дистанции	6. Лица, не занимающиеся спортом
Двуглавая мышца плеча						
Порог ВМО (Т)	1,76±0,09	1,80±0,07	1,77±0,12	1,79±0,12	1,41±0,10	1,97±0,09
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: $H(5, N=64) = 16,51635$ $p = 0,0024$ $P_{2-5} = 0,009$; $P_{4-5} = 0,04$; $P_{5-6} = 0,002$ Во всех остальных случаях $p > 0,05$					
Порог ВМО (%)	67,50±4,04	69,50±4,68	68,00±4,39	69,00±4,89	54,38±3,04	70,23±4,67
Достоверность различий	One-way ANOVA: $F(5, 58) = 1,9179$, $p = 0,12387$					
Амплитуда ВМО (мВ)	0,53±0,17	0,15±0,01	0,10±0,01	0,40±0,01	1,00±0,29	0,09±0,01
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: $H(5, N=64) = 19,52568$ $p = 0,0006$ $P_{1-3} = 0,005$; $P_{3-5} = 0,001$; $P_{1-6} = 0,005$; $P_{5-6} = 0,001$ Во всех остальных случаях $p > 0,05$					
Латентность ВМО (мс)	5,45±0,25	5,40±0,36	5,34±0,20	5,57±0,15	5,68±0,31	6,11±0,53
Достоверность различий	One-way ANOVA: $F(5, 58) = 0,51165$, $p = 0,72744$					
ВЦМП (мс)	6,91±0,53	6,75±0,57	6,68±0,48	7,03±0,52	7,12±0,55	7,42±0,99
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: $H(5, N=64) = 0,7970557$ $p = 0,9388$					

Длительность ВМО (мс)	14,37±2,21	7,92±0,81	12,13±1,19	13,92±1,87	15,36±2,40	16,07±2,03
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =10,50906 p =0,0327 P₂₋₅=0,04; P₂₋₆=0,03 Во всех остальных случаях p>0,05					
Трехглавая мышца плеча						
Порог ВМО (Т)	1,84±0,15	1,96±0,16	1,84±0,11	1,79±0,24	1,70±0,12	2,01±0,19
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =10,56457 p =0,0319 P₂₋₅=0,03; P₅₋₆=0,03 Во всех остальных случаях p>0,05					
Порог ВМО (%)	70,83±5,05	75,50±4,26	71,00±7,06	69,00±6,39	65,63±5,66	76,15±4,11
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =1,820795 p =0,7687					
Амплитуда ВМО (мВ)	0,45±0,14	0,12±0,01	0,21±0,09	0,49±0,32	0,91±0,25	0,11±0,01
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =14,82237 p =0,0051 P₂₋₅=0,04; P₃₋₅=0,02; P₃₋₆=0,002; P₅₋₆=0,04 Во всех остальных случаях p>0,05					
Латентность ВМО (мс)	5,73±0,12	5,31±0,31	5,51±0,15	5,86±0,22	5,99±0,29	6,17±0,20
Достоверность различий	One-way ANOVA: F(5, 58)=1,4601, p=0,23018					
ВЦМП (мс)	6,80±0,68	6,46±0,63	6,29±0,38	6,84±0,31	7,24±0,48	7,37±0,40
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =1,461399 p =0,8335					
Длительность ВМО (мс)	12,86±1,12	11,60±0,94	8,59±0,91	11,12±1,11	13,55±1,17	14,67±1,12
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =8,030722 p =0,0905					
Лучевой сгибатель кисти						
Порог ВМО (Т)	1,71±0,09	2,08±0,12	1,78±0,08	1,66±0,16	1,38±0,14	2,21±0,13
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =17,21040 p =0,0018 P₂₋₅=0,0009; P₅₋₆=0,0006 Во всех остальных случаях p>0,05					
Порог ВМО (%)	65,83±4,11	80,00±4,13	68,50±4,08	64,00±3,24	53,13±3,16	83,14±4,23
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =15,15925 p =0,0044 P₂₋₅=0,002; P₅₋₆=0,002 Во всех остальных случаях p>0,05					
Амплитуда ВМО	0,81±0,20	0,16±0,02	0,26±0,08	0,51±0,17	1,04±0,28	0,13±0,02

(мВ)						
Достоверность различий	One-way ANOVA: F(5, 58)=14,112, p=0,00002 P₂₋₅=0,00002; P₃₋₅=0,0005; P₄₋₅=0,002; P₄₋₆=0,0001; P₅₋₆=0,00002 Во всех остальных случаях p>0,05					
Латентность ВМО (мс)	7,68±0,20	7,64±0,25	7,28±0,26	7,87±0,27	8,04±0,20	8,34±0,29
Достоверность различий	One-way ANOVA: F(5, 58)=1,4694, p=0,22734					
ВЦМП (мс)	8,15±0,41	7,60±0,34	8,11±0,56	8,32±0,65	8,78±0,81	8,90±0,74
Достоверность различий	One-way ANOVA: F(5, 58)=3,3821, p=0,04421 P₂₋₅=0,04; P₂₋₆=0,03 Во всех остальных случаях p>0,05					
Длительность ВМО (мс)	13,67±0,97	12,19±0,99	12,49±1,56	13,40±1,24	14,08±1,18	14,67±1,21
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =3,837273 p =0,4285					
Локтевой разгибатель кисти						
Порог ВМО (Т)	1,51±0,16	1,95±0,13	1,4±0,18	1,38±0,12	1,11±0,19	2,02±0,11
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =15,30759 p =0,0041 P₂₋₅=0,002; P₅₋₆=0,002 Во всех остальных случаях p>0,05					
Порог ВМО (%)	58,33±6,66	75,00±2,22	53,50±4,64	53,00±4,53	42,50±6,55	77,23±2,03
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =15,58280 p =0,0036 P₂₋₄=0,02; P₂₋₅=0,004; P₄₋₆=0,02; P₅₋₆=0,002 Во всех остальных случаях p>0,05					
Амплитуда ВМО (мВ)	0,37±0,09	0,18±0,04	0,26±0,08	0,26±0,10	0,47±0,16	0,51±0,12
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =3,759537 p =0,4395					
Латентность ВМО (мс)	8,57±0,32	8,46±0,19	8,35±0,16	8,57±0,34	8,71±0,22	9,02±0,28
Достоверность различий	One-way ANOVA: F(5, 58)=1,4874, p=0,23544					
ВЦМП (мс)	8,98±0,24	8,51±0,41	8,57±0,66	9,20±0,43	9,55±0,67	9,89±0,66
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =3,119549 p =0,5380					
Длительность ВМО (мс)	13,43±1,64	12,77±1,22	12,33±1,70	13,17±1,00	13,23±1,18	14,03±1,71

Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: $H(5, N=64) = 2,024042$ $p = 0,7313$					
Короткий сгибатель большого пальца						
Порог ВМО (Т)	1,54±0,11	1,61±0,17	1,61±0,13	1,23±0,12	1,04±0,19	1,82±0,16
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: $H(5, N=64) = 12,79378$ $p = 0,0123$ $P_{2-4} = 0,04$; $P_{2-5} = 0,03$; $P_{4-6} = 0,02$; $P_{5-6} = 0,01$ Во всех остальных случаях $p > 0,05$					
Порог ВМО (%)	59,17±4,11	62,00±7,46	62,00±7,37	47,50±3,64	40,00±5,16	63,15±6,34
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: $H(5, N=64) = 8,693722$ $p = 0,0692$					
Амплитуда ВМО (мВ)	0,66±0,14	0,20±0,06	0,34±0,11	0,60±0,14	0,83±0,10	0,18±0,04
Достоверность различий	One-way ANOVA: $F(5, 58) = 14,932$, $p = 0,00002$ $P_{2-5} = 0,0009$; $P_{3-5} = 0,001$; $P_{4-6} = 0,001$; $P_{5-6} = 0,001$ Во всех остальных случаях $p > 0,05$					
Латентность ВМО (мс)	11,16±0,88	10,82±0,97	10,79±0,85	11,30±0,81	11,76±0,82	12,01±0,98
Достоверность различий	One-way ANOVA: $F(5, 58) = 1,1196$, $p = 0,35918$					
ВЦМП (мс)	11,19±0,84	9,65±0,81	11,07±0,97	11,38±0,70	11,75±0,64	11,89±0,77
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: $H(5, N=64) = 6,838950$ $p = 0,1447$					
Длительность ВМО (мс)	12,86±1,72	12,63±1,05	10,05±1,83	12,96±1,63	13,05±1,02	13,14±1,99
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: $H(5, N=64) = 9,762739$ $p = 0,0446$					
Мышца, отводящая большой палец кисти						
Порог ВМО (Т)	1,43±0,12	1,53±0,15	1,31±0,11	1,4±0,18	0,99±0,16	1,70±0,23
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: $H(5, N=64) = 11,86290$ $p = 0,0184$ $P_{2-5} = 0,02$; $P_{5-6} = 0,01$ Во всех остальных случаях $p > 0,05$					
Порог ВМО (%)	55,00±4,68	59,00±7,02	50,50±2,77	54,38±3,42	38,00±6,05	61,12±5,59
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: $H(5, N=64) = 10,574475$ $p = 0,0382$ $P_{2-5} = 0,04$; $P_{5-6} = 0,03$ Во всех остальных случаях $p > 0,05$					
Амплитуда ВМО (мВ)	0,60±0,14	0,12±0,01	0,67±0,18	0,65±0,18	0,84±0,19	0,13±0,01
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: $H(5, N=64) = 13,26066$ $p = 0,0101$ $P_{1-2} = 0,03$; $P_{2-5} = 0,01$; $P_{1-6} = 0,03$; $P_{5-6} = 0,01$					

различий	Во всех остальных случаях $p > 0,05$					
Латентность ВМО (мс)	9,75±0,67	9,79±0,87	9,86±0,79	9,91±0,51	9,93±0,90	10,02±0,85
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: $H (5, N= 64) = 1,906909$ $p = 0,7529$					
ВЦМП (мс)	9,63±0,67	9,03±0,77	9,55±0,71	10,16±0,98	10,26±0,91	10,34±0,97
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: $H (5, N= 64) = 1,195237$ $p = 0,8789$					
Длительность ВМО (мс)	15,06±1,84	11,40±0,84	12,32±0,92	13,78±1,49	16,26±1,08	17,15±1,88
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: $H (5, N= 64) = 20,75539$ $p = 0,0004$ $P_{1-2}=0,006$; $P_{2-5}=0,001$; $P_{2-6}=0,005$; $P_{2-6}=0,001$ Во всех остальных случаях $p > 0,05$					
Параметры	Магнитная стимуляция периферических нервов плечевого сплетения (точка Эрба)					
	1. Баскетболисты	2. Пауэрлифтеры	3. Бегуны на короткие дистанции	4. Бегуны на средние дистанции	5. Бегуны на длинные дистанции	6. Лица, не занимающиеся спортом
Двуглавая мышца плеча						
Порог ВМО (Т)	0,49±0,03	0,92±0,06	0,55±0,04	0,48±0,04	0,47±0,06	0,98±0,09
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: $H (5, N= 64) = 18,56600$ $p = 0,0010$ $P_{1-2}=0,001$; $P_{2-5}=0,008$; $P_{1-6}=0,001$; $P_{5-6}=0,005$ Во всех остальных случаях $p > 0,05$					
Порог ВМО (%)	18,75±1,14	35,50±2,23	21,00±1,72	18,50±2,09	18,13±2,46	38,76±1,40
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: $H (5, N= 64) = 25,67822$ $p = 0,00001$ $P_{1-2}=0,0002$; $P_{2-3}=0,01$; $P_{2-4}=0,0007$; $P_{2-5}=0,001$; $P_{1-6}=0,0003$; $P_{3-6}=0,01$; $P_{4-6}=0,0005$; $P_{5-6}=0,0001$ Во всех остальных случаях $p > 0,05$					
Амплитуда ВМО (мВ)	4,39±0,55	3,09±0,93	2,25±0,73	3,96±0,81	5,23±0,25	1,80±0,30
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: $H (5, N= 64) = 28,96430$ $p = 0,00001$ $P_{1-3}=0,0001$; $P_{3-4}=0,02$; $P_{3-5}=0,0001$; $P_{1-6}=0,0001$; $P_{4-6}=0,01$; $P_{5-6}=0,0001$ Во всех остальных случаях $p > 0,05$					
Латентность ВМО (мс)	4,27±0,10	4,02±0,18	3,97±0,13	4,32±0,16	4,34±0,15	4,50±0,20
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: $H (5, N= 64) = 3,990430$ $p = 0,4073$					
Длительность ВМО (мс)	11,45±1,06	7,74±1,15	10,53±1,33	11,82±0,96	12,76±0,71	13,45±1,12
Достоверность	Kruskal-Wallis test: $H (5, N= 64) = 10,29833$ $p = 0,0357$ $P_{2-5}=0,03$; $P_{2-6}=0,02$ Во всех остальных случаях $p > 0,05$					

различий	Трехглавая мышца плеча					
Порог ВМО (Т)	0,57±0,10	0,90±0,04	0,56±0,11	0,57±0,06	0,54±0,02	0,95±0,76
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =16,50067 p =0,0024 P₁₋₂=0,02; P₂₋₄=0,01; P₂₋₅=0,01; P₁₋₆=0,02; P₃₋₆=0,002; P₄₋₆=0,002; P₅₋₆=0,002 Во всех остальных случаях p>0,05					
Порог ВМО (%)	22,08±2,36	35,00±1,36	21,50±1,58	22,00±2,38	20,63±0,67	37,98±1,47
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =20,83867 p =0,0003 P₁₋₂=0,004; P₂₋₃=0,005; P₂₋₄=0,004; P₂₋₅=0,005; P₁₋₆=0,003; P₃₋₆=0,002; P₄₋₆=0,002; P₅₋₆=0,001 Во всех остальных случаях p>0,05					
Амплитуда ВМО (мВ)	5,15±0,91	3,08±0,12	4,07±0,82	5,75±1,09	6,05±1,42	2,98±0,14
Достоверность различий	One-way ANOVA: F(5, 58)=4,8740, p=0,01305 P₂₋₅=0,004; P₅₋₆=0,003 Во всех остальных случаях p>0,05					
Латентность ВМО (мс)	4,27±0,16	4,17±0,23	3,87±0,17	4,44±0,15	4,65±0,22	4,70±0,20
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =9,578066 p =0,0482					
Длительность ВМО (мс)	13,48±1,63	13,51±1,59	11,39±0,80	12,38±0,90	13,57±0,90	13,95±0,98
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =7,049165 p =0,1333					
Лучевой сгибатель кисти						
Порог ВМО (Т)	0,53±0,05	0,98±0,11	0,51±0,05	0,46±0,02	0,44±0,03	1,02±0,12
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =13,62841 p =0,0086 P₂₋₅=0,01; P₅₋₆=0,01 Во всех остальных случаях p>0,05					
Порог ВМО (%)	20,42±1,87	38,00±2,51	19,50±2,00	17,50±1,91	17,00±1,86	38,67±2,34
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =25,76136 p =0,00001 P₁₋₂=0,009; P₂₋₃=0,002; P₂₋₄=0,0002; P₂₋₅=0,001; P₁₋₆=0,009; P₄₋₆=0,0002; P₅₋₆=0,001 Во всех остальных случаях p>0,05					
Амплитуда ВМО (мВ)	4,80±0,74	3,03±0,49	2,54±0,47	4,27±0,68	4,79±0,73	2,33±0,28
Достоверность различий	One-way ANOVA: F(5, 58)=12,912, p=0,0001 P₁₋₃=0,0002; P₃₋₄=0,01; P₂₋₅=0,0009; P₃₋₅=0,0001; P₁₋₆=0,0001; P₄₋₆=0,0002; P₅₋₆=0,0001 Во всех остальных случаях p>0,05					
Латентность ВМО (мс)	6,42±0,05	6,28±0,20	5,62±0,18	6,73±0,13	6,76±0,17	6,80±0,19
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =10,29833 p =0,0357 P₃₋₅=0,03; P₃₋₆=0,03 Во всех остальных случаях p>0,05					

различий						
Длительность ВМО (мс)	13,65±1,83	12,42±1,36	11,94±1,48	13,25±1,45	13,88±1,77	14,05±1,69
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: $H(5, N=64) = 9,128470$ $p = 0,0580$					
Локтевой разгибатель кисти						
Порог ВМО (Т)	0,50±0,06	0,88±0,12	0,56±0,04	0,54±0,05	0,50±0,03	0,91±0,14
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: $H(5, N=64) = 6,985322$ $p = 0,1367$					
Порог ВМО (%)	19,50±2,12	34,00±3,91	21,50±1,58	20,63±1,87	19,17±2,14	33,95±3,81
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: $H(5, N=64) = 12,77441$ $p = 0,0124$ $P_{1-2} = 0,02$; $P_{2-5} = 0,04$; $P_{1-6} = 0,02$; $P_{5-6} = 0,01$ Во всех остальных случаях $p > 0,05$					
Амплитуда ВМО (мВ)	4,59±0,54	2,22±0,19	2,98±0,20	3,09±0,03	4,78±0,75	2,12±0,17
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: $H(5, N=64) = 34,07489$ $p = 0,00001$ $P_{1-2} = 0,000003$; $P_{1-3} = 0,03$; $P_{2-5} = 0,0001$; $P_{1-6} = 0,000002$; $P_{5-6} = 0,00001$ Во всех остальных случаях $p > 0,05$					
Латентность ВМО (мс)	6,64±0,33	7,75±0,17	7,40±0,12	7,55±0,18	8,09±0,11	9,12±0,24
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: $H(5, N=64) = 6,97388$ $p = 0,1264$					
Длительность ВМО (мс)	13,96±1,83	12,96±1,56	11,83±0,86	12,57±1,46	14,35±1,55	14,78±1,42
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: $H(5, N=64) = 6,258687$ $p = 0,1806$					
Короткий сгибатель большого пальца						
Порог ВМО (Т)	0,65±0,11	0,72±0,18	0,72±0,11	0,62±0,08	0,57±0,03	0,79±0,22
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: $H(5, N=64) = 2,080823$ $p = 0,7209$					
Порог ВМО (%)	25,00±4,36	27,50±4,80	27,50±4,39	24,00±3,75	21,88±0,98	28,20±3,90
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: $H(5, N=64) = 1,441650$ $p = 0,8369$					
Амплитуда ВМО (мВ)	3,16±0,53	2,65±0,58	3,03±0,59	2,96±0,56	3,31±0,52	2,39±0,54

Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =10,49368 p =0,0329 P₂₋₅=0,04; P₅₋₆=0,03 Во всех остальных случаях p>0,05					
Латентность ВМО (мс)	9,60±0,56	9,35±0,71	9,34±0,73	9,63±0,84	10,09±1,39	10,23±1,40
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =10,61675 p =0,0312					
Длительность ВМО (мс)	14,01±1,35	12,79±1,14	11,54±1,16	13,51±1,65	14,96±1,12	15,35±1,23
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =9,31432 p =0,0555					
Мышца, отводящая большой палец кисти						
Порог ВМО (Т)	0,50±0,04	0,65±0,09	0,49±0,04	0,54±0,04	0,53±0,06	0,71±0,12
Достоверность различий	One-way ANOVA: F(5, 58)=2,1096, p=0,09525					
Порог ВМО (%)	19,17±1,68	25,00±3,85	19,00±1,53	21,25±1,34	20,25±1,34	25,78±3,67
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =4,364342 p =0,3589					
Амплитуда ВМО (мВ)	3,95±0,62	3,17±0,17	2,83±0,32	3,65±0,43	3,99±0,78	2,66±0,44
Достоверность различий	One-way ANOVA: F(5, 58)=3,3926, p=0,04409 P₃₋₅=0,03; P₅₋₆=0,03 Во всех остальных случаях p>0,05					
Латентность ВМО (мс)	8,71±0,09	8,71±0,11	8,81±0,10	9,01±0,04	9,05±0,17	9,78±0,20
Достоверность различий	One-way ANOVA: F(5, 58)=2,1637, p=0,08843					
Длительность ВМО (мс)	14,89±0,82	12,49±1,39	11,46±0,37	13,62±0,89	15,61±1,47	16,12±1,53
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =11,91974 p =0,0180 P₁₋₃=0,03; P₃₋₅=0,02; P₂₋₆=0,02; P₃₋₆=0,01 Во всех остальных случаях p>0,05					

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Параметры ВМО мышц бедра, голени и стопы у представителей различных видов спорта и лиц, не занимающихся спортом, при магнитной стимуляции нервных структур, $M \pm SD$

Параметры	Транскраниальная магнитная стимуляция					
	1. Баскетболисты	2. Пауэрлифтеры	3. Бегуны на короткие дистанции	4. Бегуны на средние дистанции	5. Бегуны на длинные дистанции	6. Лица, не занимающиеся спортом
Двуглавая мышца бедра						
Порог ВМО (Т)	0,83±0,09	1,05±0,13	0,85±0,08	0,78±0,06	0,69±0,04	1,22±0,16
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =21,36502 p =0,0003 P₂₋₅=0,001; P₃₋₅=0,004; P₁₋₆=0,001; P₃₋₆=0,001; P₄₋₆=0,004; P₅₋₆=0,0004 Во всех остальных случаях p>0,05					
Порог ВМО (%)	59,58±2,69	75,00±4,23	60,50±2,58	56,00±3,55	50,00±3,35	79,15±4,96
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =16,94643 p =0,0020 P₂₋₄=0,03; P₂₋₅=0,001; P₄₋₆=0,01; P₅₋₆=0,001 Во всех остальных случаях p>0,05					
Амплитуда ВМО (мВ)	0,31±0,06	0,12±0,01	0,16±0,02	0,27±0,04	0,53±0,07	0,10±0,01
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =17,90621 p =0,0013 P₂₋₅=0,002; P₃₋₅=0,01; P₅₋₆=0,001 Во всех остальных случаях p>0,05					
Латентность ВМО (мс)	24,44±2,11	23,74±2,26	22,38±1,91	23,97±2,35	25,36±2,44	24,51±2,40
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =13,63048 p =0,0086 P₃₋₄=0,04; P₃₋₅=0,02 Во всех остальных случаях p>0,05					
Длительность ВМО (мс)	16,35±1,48	12,77±1,39	16,51±1,82	15,84±1,12	17,12±1,81	17,95±1,79
Достоверность различий	One-way ANOVA: F(5, 58)=1,1395, p=0,35917					
Прямая мышца бедра						
Порог ВМО (Т)	0,88±0,06	1,08±0,13	0,91±0,11	0,87±0,06	0,73±0,03	1,19±0,15
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =20,72032 p =0,0004 P₂₋₅=0,001; P₃₋₅=0,005; P₅₋₆=0,0005 Во всех остальных случаях p>0,05					
Порог ВМО (%)	62,50±2,45	77,00±3,06	65,00±2,08	62,00±4,25	52,50±2,67	78,26±3,12
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =18,90920 p =0,0008 P₂₋₅=0,0005; P₅₋₆=0,0002 Во всех остальных случаях p>0,05					

Амплитуда ВМО (мВ)	0,32±0,08	0,13±0,01	0,18±0,06	0,21±0,07	0,54±0,07	0,12±0,01
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =20,04504 p =0,0005 P_{2.5}=0,002; P_{3.4}=0,008; P_{3.5}=0,008; P_{5.6}=0,002 Во всех остальных случаях p>0,05					
Латентность ВМО (мс)	23,73±2,59	23,06±2,61	21,99±1,75	24,08±2,59	24,87±2,52	24,90±2,47
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =10,95981 p =0,0270 P_{3.5}=0,02; P_{3.6}=0,02 Во всех остальных случаях p>0,05					
Длительность ВМО (мс)	14,75±1,64	10,92±1,22	15,15±1,76	15,29±1,79	15,32±1,72	16,26±1,81
Достоверность различий	One-way ANOVA: F(5, 58)=2,5365, p=0,0310 P_{2.4}=0,04; P_{2.5}=0,04; P_{2.6}=0,03 Во всех остальных случаях p>0,05					
Амплитуда М-ответа (мВ)	7,94±0,85	5,20±0,74	7,03±1,20	7,14±0,96	12,04±1,34	4,76±0,69
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =15,35309 p =0,0040 P_{2.5}=0,001; P_{1.6}=0,008; P_{3.6}=0,01; P_{4.6}=0,01; P_{5.6}=0,001 Во всех остальных случаях p>0,05					
Камбаловидная мышца						
Порог ВМО (Т)	0,80±0,04	1,04±0,07	0,85±0,06	0,74±0,03	0,69±0,03	1,19±0,06
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =18,97592 p =0,0008 P_{2.4}=0,001; P_{2.5}=0,004; P_{4.6}=0,001; P_{5.6}=0,001 Во всех остальных случаях p>0,05					
Порог ВМО (%)	57,08±2,69	74,00±5,2	61,00±4,63	53,13±4,73	49,00±2,05	77,37±4,80
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =14,56788 p =0,0057 P_{2.5}=0,005; P_{5.6}=0,003 Во всех остальных случаях p>0,05					
Амплитуда ВМО (мВ)	0,32±0,08	0,12±0,02	0,06±0,01	0,22±0,04	0,49±0,11	0,05±0,01
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =27,52324 p =0,00001 P_{2.3}=0,0002; P_{3.4}=0,002; P_{2.5}=0,001; P_{3.5}=0,0001; P_{1.6}=0,0002; P_{4.6}=0,002; P_{5.6}=0,0001 Во всех остальных случаях p>0,05					
Латентность ВМО (мс)	31,88±2,26	31,09±2,71	30,97±2,69	31,84±1,87	34,23±2,77	34,94±2,64
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =10,14372 p =0,0332 P_{2.5}=0,02; P_{3.5}=0,04; P_{2.6}=0,02; P_{3.6}=0,03 Во всех остальных случаях p>0,05					
Длительность ВМО (мс)	13,4±1,53	11,18±1,44	10,18±0,81	11,61±0,91	14,09±1,32	15,23±1,43
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =16,75815 p =0,0022 P_{1.3}=0,01; P_{3.5}=0,04; P_{3.6}=0,02 Во всех остальных случаях p>0,05					
Амплитуда М-	9,82±1,28	4,61±0,55	8,04±1,74	8,15±1,16	9,30±1,73	4,20±0,41

ответа (мВ)						
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =12,31776 p =0,0151 P₁₋₂=0,009; P₁₋₆=0,007 Во всех остальных случаях p>0,05					
Передняя большеберцовая мышца						
Порог ВМО (Т)	0,81±0,04	1,05±0,08	0,81±0,05	0,80±0,07	0,67±0,04	1,23±0,09
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =9,776874 p =0,0444 P₂₋₅=0,03; P₃₋₆=0,04; P₄₋₆=0,04; P₅₋₆=0,02; Во всех остальных случаях p>0,05					
Порог ВМО (%)	57,50±2,53	75,00±5,44	57,50±3,71	57,00±5,28	47,50±2,47	76,80±5,79
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =12,88827 p =0,0118 P₂₋₅=0,005; P₅₋₆=0,004 Во всех остальных случаях p>0,05					
Амплитуда ВМО (мВ)	0,34±0,06	0,29±0,11	0,16±0,03	0,18±0,07	0,56±0,08	0,13±0,03
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =17,63861 p =0,0015 P₂₋₅=0,04; P₃₋₅=0,003; P₄₋₅=0,004; P₅₋₆=0,001 Во всех остальных случаях p>0,05					
Латентность ВМО (мс)	29,4±1,93	28,96±1,71	28,86±1,68	29,9±1,12	32,16±2,42	33,10±2,39
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =14,60810 p =0,0056 P₂₋₅=0,03; P₃₋₅=0,01; P₂₋₆=0,02; P₃₋₆=0,01 Во всех остальных случаях p>0,05					
Длительность ВМО (мс)	15,11±1,79	11,65±0,94	10,07±0,70	12,45±1,04	15,48±1,87	16,73±1,99
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =17,45658 p =0,0016 P₁₋₃=0,004; P₃₋₅=0,002; P₃₋₆=0,001 Во всех остальных случаях p>0,05					
Амплитуда М-ответа (мВ)	7,64±1,76	3,61±0,26	7,31±1,69	7,59±1,73	6,54±1,47	3,05±0,22
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =9,544497 p =0,0488 P₁₋₂=0,03; P₁₋₆=0,03; P₄₋₆=0,04 Во всех остальных случаях p>0,05					
Короткий сгибатель пальцев						
Порог ВМО (Т)	0,95±0,05	0,97±0,11	1,01±0,06	0,94±0,05	0,84±0,04	1,19±0,05
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =10,90543 p =0,0276 P₃₋₄=0,04; P₃₋₅=0,03; P₄₋₆=0,04; P₅₋₆=0,02 Во всех остальных случаях p>0,05					
Порог ВМО (%)	67,50±3,49	69,50±4,12	72,00±4,32	67,00±4,63	60,00±3,70	74,43±4,85
Достоверность различий	One-way ANOVA: F(5, 58)=1,4966, p=0,24572					
Амплитуда ВМО (мВ)	0,35±0,09	0,10±0,01	0,08±0,01	0,19±0,10	0,43±0,05	0,09±0,02

Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =24,90317 p =0,0001 P_{1,3}=0,007; P_{2,5}=0,01; P_{3,5}=0,001; P_{4,5}=0,01; P_{1,6}=0,004; P_{5,6}=0,001 Во всех остальных случаях p>0,05					
Латентность ВМО (мс)	36,11±2,89	35,76±2,69	34,8±2,91	36,31±1,87	38,88±2,97	40,22±3,31
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =14,49012 p =0,0059 P_{2,5}=0,04; P_{3,5}=0,004; P_{2,6}=0,03; P_{3,6}=0,003 Во всех остальных случаях p>0,05					
Длительность ВМО (мс)	14,22±1,67	6,49±0,61	9,23±1,27	13,44±2,84	16,19±0,51	18,45±1,18
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =22,29731 p =0,0002 P_{1,2}=0,001; P_{2,5}=0,0004; P_{2,6}=0,0002 Во всех остальных случаях p>0,05					
Амплитуда М-ответа (мВ)	5,56±1,45	3,57±0,15	5,58±1,29	5,43±1,10	6,57±2,12	3,22±0,17
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =2,125176 p =0,7127					
Короткий разгибатель пальцев						
Порог ВМО (Т)	0,95±0,05	0,95±0,09	1,06±0,06	0,91±0,07	0,85±0,02	1,10±0,05
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =10,93197 p =0,0273 P_{3,5}=0,03; P_{5,6}=0,02 Во всех остальных случаях p>0,05					
Порог ВМО (%)	67,50±3,49	68,00±5,78	75,50±4,34	65,00±5,33	60,63±4,68	76,59±3,95
Достоверность различий	One-way ANOVA: F(5, 58)=1,4156, p=0,39101					
Амплитуда ВМО (мВ)	0,32±0,07	0,12±0,01	0,08±0,02	0,15±0,05	0,34±0,1	0,08±0,02
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =15,88545 p =0,0032 P_{1,3}=0,004; P_{3,5}=0,02; P_{1,6}=0,004; P_{5,6}=0,02 Во всех остальных случаях p>0,05					
Латентность ВМО (мс)	35,57±2,03	35,82±2,68	34,93±2,93	37,44±2,91	38,59±2,89	39,54±2,52
Достоверность различий	One-way ANOVA: F(5, 58)=4,7840, p=0,01509 P_{3,5}=0,006; P_{3,6}=0,005 Во всех остальных случаях p>0,05					
Длительность ВМО (мс)	14,3±1,37	8,42±0,76	9,43±1,11	13,83±1,38	15,83±1,05	16,03±1,01
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =16,79428 p =0,0021 P_{1,2}=0,03; P_{2,5}=0,007; P_{2,6}=0,006 Во всех остальных случаях p>0,05					
Амплитуда М-ответа (мВ)	5,41±1,04	4,41±0,58	4,69±0,84	4,42±0,64	5,07±1,49	4,32±0,72
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =1,703440 p =0,7901					

различий	Магнитная стимуляция поясничного утолщения спинного мозга					
Параметры	1. Баскетболисты	2. Пауэрлифтеры	3. Бегуны на короткие дистанции	4. Бегуны на средние дистанции	5. Бегуны на длинные дистанции	6. Лица, не занимающиеся спортом
Двуглавая мышца бедра						
Порог ВМО (Т)	1,60±0,16	2,33±0,12	1,78±0,18	1,46±0,15	1,32±0,27	2,47±0,18
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =20,96342 p =0,0003 P₁₋₂=0,005; P₂₋₄=0,001; P₂₋₅=0,002; P₁₋₆=0,004; P₄₋₆=0,001; P₅₋₆=0,002 Во всех остальных случаях p>0,05					
Порог ВМО (%)	61,67±3,18	89,50±4,23	68,50±3,33	56,00±3,65	50,63±3,22	91,45±4,89
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =25,24758 p =0,00001 P₁₋₂=0,01; P₂₋₄=0,003; P₂₋₅=0,00003; P₁₋₆=0,01; P₄₋₆=0,002; P₅₋₆=0,00002 Во всех остальных случаях p>0,05					
Амплитуда ВМО (мВ)	0,35±0,07	0,10±0,01	0,05±0,01	0,27±0,07	0,61±0,09	0,04±0,01
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =33,51501 p =0,00001 P₁₋₃=0,0002; P₂₋₅=0,004; P₃₋₄=0,02; P₃₋₅=0,000002; P₁₋₆=0,0002; P₄₋₆=0,02; P₅₋₆=0,000002 Во всех остальных случаях p>0,05					
Латентность ВМО (мс)	7,86±0,56	7,88±0,56	6,69±0,24	9,60±0,36	9,75±0,42	9,81±0,40
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =22,16579 p =0,0002 P₃₋₄=0,003; P₃₋₅=0,0008; P₃₋₆=0,0008 Во всех остальных случаях p>0,05					
ВЦМП (мс)	15,69±1,75	15,19±0,88	14,99±1,16	15,7±0,98	17,52±1,38	17,80±1,40
Достоверность различий	One-way ANOVA: F(5, 58)=2,2486, p=0,11941					
Длительность ВМО (мс)	14,2±1,11	11,31±0,87	13,36±0,97	14,57±1,19	15,22±1,45	15,67±1,42
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =8,506555 p =0,0747					
Прямая мышца бедра						
Порог ВМО (Т)	1,35±0,12	2,15±0,09	1,46±1,11	1,33±0,11	1,22±0,19	2,20±0,07
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =21,25731 p =0,0003 P₁₋₂=0,007; P₂₋₃=0,03; P₂₋₄=0,0006; P₂₋₅=0,002; P₁₋₆=0,007; P₃₋₆=0,02; P₄₋₆=0,0004; P₅₋₆=0,001 Во всех остальных случаях p>0,05					
Порог ВМО (%)	52,08±3,43	82,50±4,39	56,00±3,22	51,25±3,42	47,00±3,1	84,59±4,47
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =22,28459 p =0,0002 P₁₋₂=0,002; P₂₋₅=0,007; P₂₋₄=0,0003; P₁₋₆=0,001; P₄₋₆=0,005; P₅₋₆=0,0002 Во всех остальных случаях p>0,05					
Амплитуда ВМО	0,54±0,18	0,11±0,01	0,30±0,08	0,61±0,09	0,78±0,20	0,08±0,01

(мВ)						
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =26,40924 p =0,00001 P₁₋₂=0,01; P₂₋₄=0,0001; P₂₋₅=0,0005; P₁₋₆=0,001; P₄₋₆=0,0003; P₅₋₆=0,0001 Во всех остальных случаях p>0,05					
Латентность ВМО (мс)	7,59±0,48	7,44±0,40	6,83±0,28	7,75±0,51	8,04±0,59	8,18±0,60
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =3,399159 p =0,4934					
ВЦМП (мс)	15,70±1,76	15,62±1,78	15,16±1,95	16,09±1,38	17,71±1,74	18,02±1,69
Достоверность различий	One-way ANOVA: F(5, 58)=2,3197, p=0,11206					
Длительность ВМО (мс)	14,28±1,14	9,82±0,56	13,99±0,84	13,91±0,78	15,24±1,34	15,89±1,45
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =19,59704 p =0,0006 P₁₋₂=0,007; P₂₋₃=0,01; P₂₋₄=0,009; P₂₋₅=0,001; P₂₋₆=0,001 Во всех остальных случаях p>0,05					
Камбаловидная мышца						
Порог ВМО (Т)	1,79±0,18	2,06±0,16	1,92±0,12	1,87±0,09	1,70±0,12	2,10±0,17
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =9,577932 p =0,0482 P₁₋₂=0,03; P₂₋₅=0,02; P₁₋₆=0,02; P₅₋₆=0,02 Во всех остальных случаях p>0,05					
Порог ВМО (%)	68,75±4,43	79,50±5,24	74,00±7,10	72,00±3,44	65,63±5,66	80,79±4,95
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =4,927051 p =0,2949					
Амплитуда ВМО (мВ)	0,33±0,08	0,12±0,03	0,06±0,01	0,34±0,13	0,59±0,08	0,05±0,01
Достоверность различий	One-way ANOVA: F(5, 58)=15,232, p=0,00001 P₁₋₃=0,006; P₂₋₅=0,0009; P₃₋₄=0,006; P₃₋₅=0,00005; P₁₋₆=0,006; P₄₋₆=0,006; P₅₋₆=0,00005 Во всех остальных случаях p>0,05					
Латентность ВМО (мс)	15,88±1,81	15,48±1,35	15,46±1,53	16,32±1,34	16,91±1,62	17,01±1,58
Достоверность различий	One-way ANOVA: F(5, 58)=2,2473, p=0,11930					
ВЦМП (мс)	15,40±1,93	15,55±1,44	15,35±1,13	15,61±1,61	18,11±1,60	18,79±1,69
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =11,11943 p =0,0253 P₃₋₅=0,03; P₃₋₆=0,02 Во всех остальных случаях p>0,05					
Длительность ВМО (мс)	13,91±1,8	10,08±0,10	11,76±0,65	11,55±0,65	18,70±1,11	19,11±1,23
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =19,71724 p =0,0006 P₂₋₅=0,0002; P₃₋₅=0,02; P₄₋₅=0,02; P₂₋₆=0,0002; P₃₋₆=0,01; P₄₋₆=0,01 Во всех остальных случаях p>0,05					

Передняя большеберцовая мышца						
Порог ВМО (Т)	1,66±0,15	2,15±0,10	1,69±0,14	1,63±0,19	1,48±0,24	2,26±0,10
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =10,22485 p =0,0368 P₂₋₄=0,04; P₄₋₆=0,03 Во всех остальных случаях p>0,05					
Порог ВМО (%)	63,75±5,83	83,00±3,7	65,00±5,33	62,50±5,27	57,00±5,34	83,86±3,5
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =10,69909 p =0,0302 P₂₋₅=0,03; P₅₋₆=0,02 Во всех остальных случаях p>0,05					
Амплитуда ВМО (мВ)	0,42±0,10	0,20±0,01	0,11±0,02	0,29±0,09	0,33±0,03	0,11±0,02
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =15,75182 p =0,0034 P₁₋₃=0,01; P₃₋₅=0,005; P₁₋₆=0,01; P₅₋₆=0,005 Во всех остальных случаях p>0,05					
Латентность ВМО (мс)	14,25±1,71	14,07±1,28	12,82±1,33	14,75±1,33	15,68±1,64	16,01±1,58
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =16,80035 p =0,0021 P₃₋₄=0,03; P₃₋₅=0,002; P₅₋₆=0,002 Во всех остальных случаях p>0,05					
ВЦМП (мс)	15,33±0,96	14,61±1,13	13,28±0,97	16,72±0,99	18,41±1,06	18,99±1,11
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =19,07033 p =0,0008 P₁₋₅=0,03; P₂₋₅=0,02; P₃₋₅=0,002; P₁₋₆=0,02; P₂₋₆=0,02; P₃₋₆=0,001 Во всех остальных случаях p>0,05					
Длительность ВМО (мс)	14,82±1,22	12,41±0,96	12,17±1,41	14±1,05	18,51±1,60	19,03±1,74
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =15,02172 p =0,0047 P₂₋₅=0,009; P₃₋₅=0,01; P₂₋₆=0,008; P₃₋₆=0,01 Во всех остальных случаях p>0,05					
Короткий сгибатель пальцев						
Порог ВМО (Т)	1,89±0,19	2,30±0,15	1,99±0,23	1,82±0,13	1,30±0,09	2,44±0,14
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =14,76021 p =0,0052 P₂₋₅=0,002; P₅₋₆=0,002 Во всех остальных случаях p>0,05					
Порог ВМО (%)	72,50±4,93	88,50±5,34	76,50±5,33	70,00±4,96	50,00±3,42	89,95±4,84
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =11,58462 p =0,0207 P₂₋₅=0,009; P₅₋₆=0,008 Во всех остальных случаях p>0,05					
Амплитуда ВМО (мВ)	0,26±0,04	0,12±0,03	0,25±0,07	0,29±0,04	0,32±0,17	0,10±0,01
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =9,355207 p =0,0528 P₂₋₅=0,04; P₅₋₆=0,03 Во всех остальных случаях p>0,05					
Латентность ВМО (мс)	21,66±1,91	20,75±1,31	20,56±1,43	21,38±1,68	21,73±1,99	22,01±2,04
Достоверность	One-way ANOVA: F(5, 58)=1,6384, p=0,20676					

различий						
ВЦМП (мс)	15,97±1,51	14,26±1,79	14,03±1,53	16,92±1,59	17,15±1,74	17,49±1,76
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: $H(5, N=64) = 8,611564$ $p = 0,0716$					
Длительность ВМО (мс)	12,11±0,78	10,48±0,67	8,08±0,67	12,79±0,98	16,56±1,28	17,04±1,29
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: $H(5, N=64) = 26,06930$ $p = 0,00001$ $P_{2-5} = 0,005$; $P_{3-5} = 0,00001$; $P_{4-5} = 0,03$; $P_{2-6} = 0,004$; $P_{3-6} = 0,00001$; $P_{4-6} = 0,02$ Во всех остальных случаях $p > 0,05$					
Короткий разгибатель пальцев						
Порог ВМО (Т)	1,90±0,21	2,33±0,04	2,21±0,08	1,91±0,13	1,85±0,19	2,39±0,04
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: $H(5, N=64) = 6,627199$ $p = 0,1570$					
Порог ВМО (%)	72,92±4,88	89,50±4,46	85,00±3,61	73,50±4,62	71,25±4,73	90,10±4,50
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: $H(5, N=64) = 6,402413$ $p = 0,1710$					
Амплитуда ВМО (мВ)	0,22±0,04	0,14±0,02	0,13±0,03	0,21±0,08	0,25±0,06	0,13±0,03
Достоверность различий	One-way ANOVA: $F(5, 58) = 1,3744$, $p = 0,26439$					
Латентность ВМО (мс)	20,95±1,76	20,67±1,59	20,22±1,49	21,71±1,57	22,28±1,83	22,95±1,77
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: $H(5, N=64) = 3,265332$ $p = 0,5144$					
ВЦМП (мс)	15,96±1,18	15,09±0,99	14,64±0,98	16,31±1,24	18,96±1,47	19,03±1,50
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: $H(5, N=64) = 9,767232$ $p = 0,0445$					
Длительность ВМО (мс)	13,82±1,01	12,01±0,87	10,03±1,20	13,73±1,37	14,93±1,41	15,10±1,37
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: $H(5, N=64) = 8,991185$ $p = 0,0613$					
Параметры	Магнитная стимуляция периферических нервов					
	1. Баскетболисты	2. Пауэрлифтеры	3. Бегуны на короткие дистанции	4. Бегуны на средние дистанции	5. Бегуны на длинные дистанции	6. Лица, не занимающиеся спортом
Прямая мышца бедра						
Порог ВМО (Т)	0,67±0,06	1,05±0,04	0,65±0,05	0,66±0,10	0,50±0,04	1,11±0,04

Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =25,16106 p =0,00001 P₁₋₂=0,009; P₂₋₃=0,007; P₂₋₄=0,04; P₂₋₅=0,00003; P₁₋₆=0,006; P₃₋₆=0,004; P₄₋₆=0,03 Во всех остальных случаях p>0,05					
Порог ВМО (%)	25,83±2,12	40,50±2,23	25,00±1,76	25,50±3,19	19,38±1,58	42,89±2,68
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =25,15339 p =0,00001 P₁₋₂=0,01; P₂₋₃=0,01; P₂₋₄=0,007; P₂₋₅=0,00003; P₁₋₆=0,008; P₃₋₆=0,01; P₄₋₆=0,006; P₅₋₆=0,00002 всех остальных случаях p>0,05					
Амплитуда ВМО (мВ)	6,91±1,77	3,12±0,05	2,27±0,26	3,57±0,32	7,30±1,47	2,20±0,23
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =32,63700 p =0,00001 P₁₋₃=0,00001; P₃₋₄=0,03; P₃₋₅=0,00004; P₁₋₆=0,00001; P₄₋₆=0,02; P₅₋₆=0,00004 Во всех остальных случаях p>0,05					
Латентность ВМО (мс)	3,80±0,25	3,57±0,10	3,09±0,10	3,74±0,1	4,04±0,26	4,13±0,22
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =12,75904 p =0,0125 P₃₋₅=0,01; P₃₋₆=0,01 Во всех остальных случаях p>0,05					
Длительность ВМО (мс)	13,02±0,77	10,86±0,69	9,92±1,04	12,23±0,75	17,28±1,80	18,09±1,74
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =18,93504 p =0,0008 P₂₋₅=0,01; P₃₋₅=0,004; P₂₋₆=0,01; P₃₋₆=0,003 Во всех остальных случаях p>0,05					
Камбаловидная мышца						
Порог ВМО (Т)	0,52±0,05	0,91±0,09	0,55±0,04	0,44±0,04	0,42±0,07	0,98±0,08
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =18,00340 p =0,0012 P₂₋₄=0,002; P₂₋₅=0,008; P₄₋₆=0,001; P₅₋₆=0,007 Во всех остальных случаях p>0,05					
Порог ВМО (%)	20,00±1,82	35,50±3,28	21,00±1,72	16,88±2,24	16,00±1,72	38,34±3,72
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =20,24263 p =0,0004 P₁₋₂=0,04; P₂₋₄=0,005; P₂₋₅=0,00006; P₁₋₆=0,02; P₄₋₆=0,003; P₅₋₆=0,0004 Во всех остальных случаях p>0,05					
Амплитуда ВМО (мВ)	3,51±0,17	2,84±0,16	2,64±0,11	3,17±0,15	3,57±0,19	2,80±0,17
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =24,89836 p =0,0001 P₁₋₂=0,004; P₁₋₃=0,0004; P₂₋₅=0,001; P₃₋₅=0,0008; P₁₋₆=0,004; P₅₋₆=0,001 Во всех остальных случаях p>0,05					
Латентность ВМО (мс)	6,95±0,19	6,95±0,14	6,78±0,09	7,01±0,09	7,08±0,25	7,17±0,23
Достоверность различий	One-way ANOVA: F(5, 58)=2,6384, p=0,35572					
Длительность ВМО (мс)	12,53±0,84	10,38±0,72	10,98±0,82	12,03±0,77	14,25±1,29	15,14±1,37
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =16,48667 p =0,0024 P₁₋₂=0,04; P₂₋₅=0,005; P₂₋₆=0,003 Во всех остальных случаях p>0,05					

Передняя большеберцовая мышца						
Порог ВМО (Т)	0,56±0,05	0,91±0,10	0,56±0,06	0,53±0,14	0,36±0,04	0,99±0,10
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =15,43811 p =0,0039 P₂₋₅=0,003; P₅₋₆=0,003 Во всех остальных случаях p>0,05					
Порог ВМО (%)	21,67±1,74	35,00±4,08	21,50±2,14	20,50±2,84	13,75±1,68	37,23±4,16
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =18,92381 p =0,0008 P₂₋₅=0,0003; P₅₋₆=0,0002 Во всех остальных случаях p>0,05					
Амплитуда ВМО (мВ)	3,76±0,31	2,73±0,28	2,63±0,20	3,61±0,37	3,47±0,20	2,42±0,18
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64)=16,38173 p =0,0025 P₁₋₂=0,003; P₁₋₃=0,003; P₁₋₆=0,001; P₄₋₆=0,01 Во всех остальных случаях p>0,05					
Латентность ВМО (мс)	6,31±0,45	6,15±0,52	6,29±0,59	6,39±0,48	6,45±0,47	7,03±0,38
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =,4230829 p =0,9805					
Длительность ВМО (мс)	13,81±0,79	10,86±0,78	9,86±0,57	12,74±0,86	14,17±1,22	15,19±1,26
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =15,13590 p =0,0044 P₁₋₃=0,007; P₃₋₅=0,04; P₃₋₆=0,02 Во всех остальных случаях p>0,05					
Короткий сгибатель пальцев						
Порог ВМО (Т)	0,63±0,07	0,98±0,15	0,72±0,06	0,61±0,12	0,42±0,06	1,13±0,14
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =11,35143 p =0,0229 P₂₋₅=0,02; P₂₋₆=0,01 Во всех остальных случаях p>0,05					
Порог ВМО (%)	24,17±2,56	37,50±4,81	27,50±2,26	23,50±3,69	16,25±2,62	39,23±4,67
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =16,40038 p =0,0025 P₂₋₅=0,002; P₅₋₆=0,001 Во всех остальных случаях p>0,05					
Амплитуда ВМО (мВ)	3,56±0,25	3,49±0,21	2,73±0,21	3,22±0,19	3,84±0,56	2,52±0,22
Достоверность различий	One-way ANOVA: F(5, 58)=3,1284, p=0,30886					
Латентность ВМО (мс)	9,24±0,40	9,32±0,52	9,20±0,48	9,32±0,58	9,44±0,52	10,02±0,53
Достоверность различий	One-way ANOVA: F(5, 58)=1,9551, p=0,15452					
Длительность ВМО	12,4±1,15	11,19±0,19	9,03±0,40	12,77±0,86	13,89±1,24	14,43±1,55

(мс)						
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =21,74014 p =0,0002 P₁₋₃=0,04; P_{3,4}=0,005; P_{3,5}=0,0001 Во всех остальных случаях p>0,05					
Короткий разгибатель пальцев						
Порог ВМО (Т)	0,51±0,03	0,89±0,17	0,49±0,05	0,52±0,07	0,37±0,03	0,95±0,14
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =8,225678 p =0,0837					
Порог ВМО (%)	19,58±1,20	34,50±6,06	19,00±2,05	20,00±2,22	14,38±1,21	35,67±5,94
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =10,38218 p =0,0345 P₂₋₅=0,03; P₅₋₆=0,02 Во всех остальных случаях p>0,05					
Амплитуда ВМО (мВ)	3,40±0,31	2,96±0,06	2,40±0,16	3,39±0,50	3,53±0,32	2,28±0,14
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =18,97647 p =0,0008 P₁₋₃=0,001; P₃₋₅=0,005; P₃₋₆=0,001; P₅₋₆=0,004 Во всех остальных случаях p>0,05					
Латентность ВМО (мс)	9,08±0,63	9,02±0,79	8,98±0,68	9,1±0,74	9,44±0,68	10,48±0,88
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =9,796918 p =0,0440 P₃₋₅=0,04; P₃₋₅=0,04 P₃₋₆=0,03 Во всех остальных случаях p>0,05					
Длительность ВМО (мс)	14,57±1,49	12,91±0,77	9,82±0,51	12,19±1,14	13,06±1,26	16,67±1,67
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =12,75307 p =0,0125 P₁₋₃=0,01; P₃₋₆=0,01 Во всех остальных случаях p>0,05					

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Параметры ВМО и М-ответов мышц верхней конечности у представителей различных видов спорта и лиц, не занимающихся спортом, при электрической стимуляции нервных структур, $M \pm SD$

Параметры	Чрескожная электрическая стимуляция шейного утолщения спинного мозга					
	1. Баскетболисты	2. Пауэрлифтеры	3. Бегуны на короткие дистанции	4. Бегуны на средние дистанции	5. Бегуны на длинные дистанции	6. Лица, не занимающиеся спортом
Двуглавая мышца плеча						
Порог ВМО (мА)	22,50±2,84	39,00±2,38	24,00±2,05	18,00±2,38	15,63±2,56	42,56±2,40
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: $H(5, N=64) = 24,75383$ $p=0,0001$ $P_{1-2}=0,01$; $P_{2-4}=0,0006$; $P_{2-5}=0,0001$; $P_{1-6}=0,007$; $P_{4-6}=0,001$; $P_{5-6}=0,0001$ Во всех остальных случаях $p>0,05$					
Амплитуда ВМО (мВ)	2,52±0,17	0,85±0,14	1,37±0,55	1,46±0,22	2,54±0,67	0,80±0,23
Достоверность различий	One-way ANOVA: $F(5, 58)=2,3095$, $p=0,07513$					
Латентность ВМО (мс)	4,44±0,12	4,08±0,19	4,33±0,13	4,57±0,15	5,17±0,27	6,01±0,30
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: $H(5, N=64) = 13,13002$ $p=0,0107$ $P_{2-5}=0,0007$; $P_{2-6}=0,004$ Во всех остальных случаях $p>0,05$					
Длительность ВМО (мс)	13,54±1,42	10,76±1,02	11,61±0,90	11,83±1,32	13,66±1,00	14,24±1,23
Достоверность различий	One-way ANOVA: $F(5, 58)=1,9691$, $p=0,15758$					
Трехглавая мышца плеча						
Порог ВМО (мА)	15,50±1,46	37,50±2,39	22,00±1,79	21,42±2,41	13,75±1,96	40,12±2,89
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: $H(5, N=64) = 28,78645$ $p=0,00001$ $P_{1-2}=0,0001$; $P_{2-4}=0,03$; $P_{2-5}=0,00003$; $P_{1-6}=0,0001$; $P_{4-6}=0,02$; $P_{5-6}=0,00002$ Во всех остальных случаях $p>0,05$					
Амплитуда ВМО (мВ)	2,86±0,48	0,74±0,12	1,25±0,26	1,75±0,64	2,84±1,03	0,65±0,13
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: $H(5, N=64) = 12,30171$ $p=0,0152$ $P_{1-2}=0,0008$; $P_{1-6}=0,006$ Во всех остальных случаях $p>0,05$					
Латентность ВМО (мс)	4,64±0,10	4,38±0,11	4,40±0,07	4,75±0,12	5,10±0,30	5,96±0,41

Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: $H(5, N=64) = 10,69107$ $p = 0,0503$					
Длительность ВМО (мс)	12,14±0,97	11,04±0,80	11,94±1,19	12,75±0,95	12,78±0,91	13,43±1,01
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: $H(5, N=64) = 6,338470$ $p = 0,1753$					
Лучевой сгибатель кисти						
Порог ВМО (мА)	24,17±2,12	37,50±2,28	26,00±2,33	21,50±0,81	20,63±1,87	39,05±2,36
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: $H(5, N=64) = 21,75912$ $p = 0,0002$ $P_{1-2} = 0,03$; $P_{2-4} = 0,001$; $P_{2-5} = 0,001$; $P_{1-6} = 0,02$; $P_{4-6} = 0,0009$; $P_{5-6} = 0,0008$ Во всех остальных случаях $p > 0,05$					
Амплитуда ВМО (мВ)	3,21±0,75	0,96±0,23	1,99±0,61	3,12±0,39	6,05±0,79	0,94±0,19
Достоверность различий	One-way ANOVA: $F(5, 58) = 5,4098$, $p = 0,00130$ $P_{1-2} = 0,01$; $P_{2-4} = 0,01$; $P_{2-5} = 0,0009$; $P_{3-5} = 0,001$; $P_{1-6} = 0,01$; $P_{4-6} = 0,01$; $P_{5-6} = 0,0009$ Во всех остальных случаях $p > 0,05$					
Латентность ВМО (мс)	5,96±0,20	5,76±0,11	5,86±0,19	6,02±0,16	6,56±0,25	7,17±0,23
Достоверность различий	One-way ANOVA: $F(5, 58) = 5,0051$, $p = 0,01135$ $P_{2-5} = 0,009$; $P_{3-5} = 0,01$; $P_{2-6} = 0,007$; $P_{3-6} = 0,01$ Во всех остальных случаях $p > 0,05$					
Длительность ВМО (мс)	13,50±0,86	13,33±0,91	13,10±1,04	13,40±0,96	13,91±0,92	14,03±1,01
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: $H(5, N=64) = 5,5377063$ $p = 0,9697$					
Локтевой разгибатель кисти						
Порог ВМО (мА)	25,58±2,73	37,50±3,20	26,00±3,58	25,63±2,75	21,00±1,05	39,02±3,15
Достоверность различий	One-way ANOVA: $F(5, 58) = 5,3083$, $p = 0,00130$ $P_{2-5} = 0,0009$; $P_{5-6} = 0,0007$ Во всех остальных случаях $p > 0,05$					
Амплитуда ВМО (мВ)	3,20±0,68	0,51±0,05	1,54±0,30	2,86±0,48	4,22±1,39	0,41±0,07
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: $H(5, N=64) = 15,72413$ $p = 0,0034$ $P_{1-2} = 0,003$; $P_{2-4} = 0,04$; $P_{2-5} = 0,03$; $P_{1-6} = 0,002$; $P_{4-6} = 0,02$; $P_{5-6} = 0,01$ Во всех остальных случаях $p > 0,05$					
Латентность ВМО (мс)	6,97±0,47	6,63±0,37	6,68±0,56	6,81±0,41	7,09±0,63	7,25±0,58
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: $H(5, N=64) = 3,973000$ $p = 0,4097$					
Длительность ВМО (мс)	14,43±1,63	11,20±0,81	13,78±0,91	14,34±1,32	15,14±1,74	16,73±1,79

Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =18,67495 p =0,0009 P₁₋₂=0,03; P₂₋₃=0,04; P₂₋₄=0,02; P₂₋₅=0,002; P₂₋₆=0,001 Во всех остальных случаях p>0,05					
Короткий сгибатель большого пальца						
Порог ВМО (мА)	23,75±3,31	37,50±3,17	29,00±1,37	27,67±3,58	23,50±1,40	39,35±3,65
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =12,88197 p =0,0119 P₁₋₂=0,04; P₂₋₅=0,01; P₁₋₆=0,02; P₅₋₆=0,01 Во всех остальных случаях p>0,05					
Амплитуда ВМО (мВ)	4,43±0,67	0,73±0,18	2,33±0,41	4,04±0,77	4,94±0,69	0,63±0,17
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =22,91801 p =0,0001 P₁₋₂=0,002; P₂₋₄=0,004; P₂₋₅=0,0005; P₁₋₆=0,001; P₄₋₆=0,003; P₅₋₆=0,0003 Во всех остальных случаях p>0,05					
Латентность ВМО (мс)	9,24±0,50	9,09±0,60	9,14±0,67	9,39±0,50	9,78±0,65	10,16±0,85
Достоверность различий	One-way ANOVA: F(5, 58)=0,76480, p=0,47195					
Длительность ВМО (мс)	14,72±1,47	13,85±1,63	14,09±1,49	14,26±1,52	15,06±1,58	15,78±1,63
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =1,615671 p =0,8060					
Мышца, отводящая большой палец кисти						
Порог ВМО (мА)	26,00±4,07	33,50±2,09	27,00±2,84	26,25±2,20	24,50±1,66	34,04±2,11
Достоверность различий	One-way ANOVA: F(5, 58)=4,7168, p=0,01433 P ₂₋₅ =0,005; P ₅₋₆ =0,004 Во всех остальных случаях p>0,05					
Амплитуда ВМО (мВ)	3,79±1,22	0,48±0,13	1,80±0,60	3,67±1,07	4,17±0,75	0,40±0,10
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =20,44401 p =0,0004 P₁₋₂=0,02; P₂₋₄=0,01; P₂₋₅=0,0005; P₁₋₆=0,01; P₄₋₆=0,01; P₅₋₆=0,0004 Во всех остальных случаях p>0,05					
Латентность ВМО (мс)	8,72±0,56	8,30±0,64	8,43±0,43	8,78±0,67	8,75±0,59	9,12±0,74
Достоверность различий	One-way ANOVA: F(5, 58)=0,28000, p=0,75722					
Длительность ВМО (мс)	14,57±1,65	13,84±1,64	13,73±1,84	14,87±1,72	15,70±1,44	16,00±1,38
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =7,232682 p =0,1241					

Параметры	Электрическая стимуляция периферических нервов плечевого сплетения (точка Эрба)					
	1. Баскетболисты	2. Пауэрлифтеры	3. Бегуны на короткие дистанции	4. Бегуны на средние дистанции	5. Бегуны на длинные дистанции	6. Лица, не занимающиеся спортом
Двуглавая мышца плеча						
Порог (мА)	9,17±0,59	16,50±2,73	9,38±1,65	9,00±0,70	9,00±1,31	16,67±2,56
Достоверность различий	One-way ANOVA: F(5, 58)=3,0352, p=0,05897					
Амплитуда (мВ)	6,74±1,41	3,78±0,63	5,30±0,28	6,05±1,69	6,85±1,12	3,15±0,21
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =16,45320 p =0,0025 P₁₋₂=0,0002; P₂₋₄=0,0006; P₂₋₅=0,0001; P₁₋₆=0,0002; P₄₋₆=0,0005; P₅₋₆=0,0001 Во всех остальных случаях p>0,05					
Латентность (мс)	4,08±0,08	4,00±0,22	3,92±0,18	4,04±0,07	4,19±0,12	4,36±0,12
Достоверность различий	One-way ANOVA: F(5, 58)=1,6249, p=0,20936					
Длительность (мс)	11,98±0,85	8,74±0,41	10,24±0,62	10,86±0,76	12,01±1,56	12,56±1,50
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =12,78989 p =0,0124 P₂₋₅=0,01; P₂₋₆=0,007 Во всех остальных случаях p>0,05					
Трехглавая мышца плеча						
Порог (мА)	9,58±0,78	14,50±2,00	10,50±1,23	9,50±1,23	8,50±0,81	15,04±2,01
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =9,297661 p =0,0541					
Амплитуда (мВ)	11,07±1,48	7,53±1,05	9,06±1,58	10,65±1,13	11,59±1,51	6,43±1,06
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =5,543699 p =0,2359					
Латентность (мс)	4,16±0,08	4,17±0,16	4,04±0,15	4,21±0,11	4,32±0,13	4,45±0,16
Достоверность различий	One-way ANOVA: F(5, 58)=1,1888, p=0,31485					
Длительность (мс)	13,27±0,74	11,08±0,50	9,08±0,47	13,27±0,64	13,59±1,29	14,23±1,45
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =32,22769 p =0,00001 P₃₋₄=0,00001; P₃₋₅=0,00006; P₃₋₆=0,00004 Во всех остальных случаях p>0,05					
Лучевой сгибатель кисти						
Порог (мА)	10,00±1,57	15,50±1,46	10,00±1,11	8,75±0,77	8,50±1,02	16,12±1,39
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =15,03191 p =0,0046 P₂₋₅=0,02; P₅₋₆=0,01 Во всех остальных случаях p>0,05					
Амплитуда (мВ)	11,07±1,97	5,62±1,06	7,18±1,04	9,33±0,93	12,15±1,78	5,25±1,05

Достоверность различий	One-way ANOVA: F(5, 58)=10,354, p=0,00026 P_{1,2}=0,0006; P_{2,5}=0,0001; P_{3,5}=0,001; P_{2,4}=0,01; P_{1,6}=0,0006; P_{4,6}=0,01; P_{5,6}=0,0001 Во всех остальных случаях p>0,05					
Латентность (мс)	5,64±0,10	5,21±0,23	5,24±0,06	5,98±0,06	6,18±0,11	6,89±0,10
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =20,94010 p =0,0001 P_{2,5}=0,003; P_{3,5}=0,002; P_{2,6}=0,002; P_{3,6}=0,001 Во всех остальных случаях p>0,05					
Длительность (мс)	13,35±1,16	10,53±0,62	11,80±0,78	12,99±0,73	14,26±1,28	15,56±1,33
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =10,78334 p =0,0291 P_{2,5}=0,03; P_{2,6}=0,02 Во всех остальных случаях p>0,05					
Локтевой разгибатель кисти						
Порог (мА)	9,38±0,59	13,00±1,96	10,83±1,55	10,00±1,11	9,00±0,70	13,23±1,89
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =4,484407 p =0,3444					
Амплитуда (мВ)	5,84±0,55	4,30±0,45	5,24±0,51	6,03±0,60	7,19±1,64	4,02±0,35
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =16,93510 p =0,0020 P_{2,5}=0,0006; P_{5,6}=0,0004 Во всех остальных случаях p>0,05					
Латентность (мс)	6,35±0,15	6,31±0,25	6,43±0,06	6,56±0,22	6,78±0,11	7,04±0,16
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =7,517674 p =0,1109					
Длительность (мс)	13,12±0,99	12,35±0,72	12,57±0,87	13,25±0,96	13,57±0,92	14,11±1,02
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =3,134834 p =0,5355					
Короткий сгибатель большого пальца						
Порог (мА)	10,63±1,39	15,00±2,61	11,67±1,48	11,00±1,53	9,50±1,23	15,56±2,21
Достоверность различий	One-way ANOVA: F(5, 58)=0,28000, p=0,75722					
Амплитуда (мВ)	8,14±0,92	4,35±0,54	7,61±1,23	7,96±1,96	12,02±1,31	4,15±0,45
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =19,12595 p =0,0007 P_{1,2}=0,01; P_{2,4}=0,01; P_{2,5}=0,0008; P_{1,6}=0,01; P_{4,6}=0,01; P_{5,6}=0,0008 Во всех остальных случаях p>0,05					
Латентность (мс)	8,58±0,47	8,62±0,42	9,16±0,43	9,21±0,48	9,33±0,65	9,78±0,67
Достоверность различий	One-way ANOVA: F(5, 58)=2,3197, p=0,11206					
Длительность (мс)	13,07±1,73	13,37±1,82	13,66±1,49	14,26±1,54	14,64±1,24	15,13±1,35
Достоверность различий	One-way ANOVA: F(5, 58)=3,0352, p=0,05886					

Мышца, отводящая большой палец кисти						
Порог (мА)	8,50±0,81	15,50±2,14	11,67±1,48	10,50±1,23	8,13±0,86	16,63±2,05
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =13,40092 p =0,0095 P₂₋₅=0,04; P₅₋₆=0,02 Во всех остальных случаях p>0,05					
Амплитуда (мВ)	7,00±1,27	5,36±0,79	7,82±1,44	8,38±1,00	8,56±1,54	5,02±0,65
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =9,200981 p =0,0563 P₂₋₅=0,04; P₅₋₆=0,03 Во всех остальных случаях p>0,05					
Латентность (мс)	8,34±0,73	7,71±0,64	7,64±0,67	8,38±0,85	8,58±0,69	9,23±0,78
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =22,81687 p =0,0001 P₂₋₅=0,006; P₃₋₄=0,04; P₃₋₅=0,002; P₂₋₆=0,004; P₃₋₆=0,001 Во всех остальных случаях p>0,05					
Длительность (мс)	13,68±1,77	13,62±1,44	13,12±1,56	13,96±1,44	14,85±1,28	15,52±1,48
Достоверность различий	One-way ANOVA: F(5, 58)=3,4856, p=0,04075 P₂₋₅=0,03; P₃₋₅=0,02; P₂₋₆=0,02; P₃₋₆=0,02 Во всех остальных случаях p>0,05					

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Параметры ВМО и М-ответов мышц нижней конечности у представителей различных видов спорта и лиц, не занимающихся спортом, при электрической стимуляции нервных структур, $M \pm SD$

Параметры	Чрескожная электрическая стимуляция поясничного утолщения спинного мозга					
	1. Баскетболисты	2. Пауэрлифтеры	3. Бегуны на короткие дистанции	4. Бегуны на средние дистанции	5. Бегуны на длинные дистанции	6. Лица, не занимающиеся спортом
Двуглавая мышца бедра						
Порог ВМО (мА)	40,00±3,82	49,00±4,43	41,00±3,41	41,00±3,29	30,63±2,68	52,58±3,96
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =8,410839 p =0,0476 P₂₋₅=0,04; P₅₋₆=0,03 Во всех остальных случаях p>0,05					
Амплитуда ВМО (мВ)	3,54±0,49	1,60±0,39	3,31±0,59	3,62±0,47	5,23±0,30	1,55±0,22
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =14,07553 p =0,0071 P₂₋₅=0,002; P₅₋₆=0,002 Во всех остальных случаях p>0,05					
Латентность ВМО (мс)	8,96±0,20	8,72±0,61	6,56±0,36	8,92±0,45	9,41±0,37	10,04±0,54
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =17,97007 p =0,0013 P₁₋₃=0,02; P₂₋₃=0,03; P₃₋₄=0,04; P₃₋₅=0,002; P₃₋₆=0,001 Во всех остальных случаях p>0,05					
Длительность ВМО (мс)	16,09±1,73	12,93±1,15	12,73±0,91	14,03±1,73	16,26±1,68	16,89±1,64
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =14,68598 p =0,0054 P₁₋₃=0,04; P₃₋₅=0,02; P₃₋₆=0,01 Во всех остальных случаях p>0,05					
Прямая мышца бедра						
Порог ВМО (мА)	38,75±3,02	50,50±3,46	40,00±4,97	38,00±3,35	25,63±2,42	52,15±3,89
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =15,40783 p =0,0039 P₂₋₅=0,002; P₅₋₆=0,001 Во всех остальных случаях p>0,05					
Амплитуда ВМО (мВ)	2,66±0,43	1,23±0,22	2,68±0,63	2,45±0,51	3,91±0,40	1,18±0,20
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =10,79991 p =0,0289 P₂₋₅=0,02; P₅₋₆=0,01 Во всех остальных случаях p>0,05					
Латентность ВМО (мс)	8,64±0,72	8,51±0,88	6,67±0,76	8,72±0,89	8,98±0,85	9,11±0,83

Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =15,63859 p =0,0035 P_{3.4}=0,02; P_{3.5}=0,009; P_{3.6}=0,008 Во всех остальных случаях p>0,05					
Длительность ВМО (мс)	15,43±1,95	13,96±1,72	12,16±1,17	14,89±1,56	15,43±1,68	16,00±1,67
Достоверность различий	One-way ANOVA: F(5, 58)=3,1284, p=0,30886					
Камбаловидная мышца						
Порог ВМО (мА)	37,50±3,95	52,50±2,45	43,50±3,14	40,00±4,24	31,88±3,24	53,98±4,07
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =11,33855 p =0,0230 P_{2.5}=0,02; P_{5.6}=0,01 Во всех остальных случаях p>0,05					
Амплитуда ВМО (мВ)	4,73±0,59	2,20±0,88	4,33±0,80	5,26±0,61	7,03±0,53	2,05±0,54
Достоверность различий	One-way ANOVA: F(5, 58)=10,529 p=0,00020 P_{2.5}=0,00009; P_{3.5}=0,001; P_{1.5}=0,008; P_{5.6}=0,00007 Во всех остальных случаях p>0,05					
Латентность ВМО (мс)	18,32±1,40	17,66±1,39	16,33±1,55	18,33±1,37	19,01±1,48	19,78±1,86
Достоверность различий	One-way ANOVA: F(5, 58)=3,8897, p=0,03698 P_{3.5}=0,03; P_{3.6}=0,02 Во всех остальных случаях p>0,05					
Длительность ВМО (мс)	13,71±0,90	13,04±1,00	12,61±0,91	14,39±1,18	16,22±1,77	16,89±1,80
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =3,554376 p =0,4697					
Передняя большеберцовая мышца						
Порог ВМО (мА)	45,00±2,49	56,50±4,31	46,50±5,45	45,00±4,44	36,25±2,99	58,26±4,86
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =11,56188 p =0,0209 P_{2.5}=0,009; P_{5.6}=0,007 Во всех остальных случаях p>0,05					
Амплитуда ВМО (мВ)	2,48±0,36	0,88±0,09	2,66±0,70	2,70±0,57	3,86±0,88	0,80±0,07
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =11,67529 p =0,0199 P_{2.5}=0,02; P_{5.6}=0,01 Во всех остальных случаях p>0,05					
Латентность ВМО (мс)	16,11±1,54	16,04±1,37	14,43±0,82	16,48±1,34	17,31±1,47	17,98±1,86
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =18,37804 p =0,0010 P_{3.4}=0,02; P_{3.5}=0,0006; P_{3.6}=0,0005 Во всех остальных случаях p>0,05					
Длительность ВМО (мс)	15,45±1,29	14,09±0,99	13,24±1,12	14,70±1,29	16,26±1,69	16,96±1,71

Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: $H(5, N=64) = 5,693161$ $p = 0,2233$					
Короткий сгибатель пальцев						
Порог ВМО (мА)	50,83±4,80	55,50±4,62	51,50±3,84	52,50±2,94	48,00±3,79	56,41±4,77
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: $H(5, N=64) = 9,304500$ $p = 0,9202$					
Амплитуда ВМО (мВ)	2,09±0,08	1,17±0,28	1,27±0,15	1,93±0,34	2,18±0,56	1,12±0,25
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: $H(5, N=64) = 5,010042$ $p = 0,2863$					
Латентность ВМО (мс)	26,25±2,70	27,41±2,85	24,76±2,52	27,54±1,80	27,38±1,78	27,96±2,15
Достоверность различий	One-way ANOVA: $F(5, 58) = 1,3744$, $p = 0,26439$					
Длительность ВМО (мс)	12,06±0,89	11,99±0,94	10,59±0,74	12,49±0,81	13,52±1,14	14,02±1,15
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: $H(5, N=64) = 9,41935$ $p = 0,0723$					
Короткий разгибатель пальцев						
Порог ВМО (мА)	50,00±4,38	57,00±5,69	51,25±4,71	52,00±4,02	48,33±3,39	57,59±5,71
Достоверность различий	One-way ANOVA: $F(5, 58) = 3,1264$, $p = 0,30866$					
Амплитуда ВМО (мВ)	0,66±0,15	0,54±0,10	0,51±0,08	0,64±0,12	0,81±0,19	0,50±0,08
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: $H(5, N=64) = 1,297682$ $p = 0,8618$					
Латентность ВМО (мс)	26,30±2,52	25,27±2,33	23,26±2,63	26,76±2,52	27,80±2,48	28,23±2,58
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: $H(5, N=64) = 13,46736$ $p = 0,0092$ $P_{3,5} = 0,003$; $P_{3,6} = 0,003$ Во всех остальных случаях $p > 0,05$					
Длительность ВМО (мс)	12,94±1,49	11,90±0,74	10,96±0,64	13,79±1,73	14,19±1,93	14,24±1,92
Достоверность различий	One-way ANOVA: $F(5, 58) = 3,1490$, $p = 0,05343$					
Параметры	Электрическая стимуляция периферических нервов					
	1. Баскетболисты	2. Пауэрлифтеры	3. Бегуны на	4. Бегуны на	5. Бегуны на	6. Лица, не

			короткие дистанции	средние дистанции	длинные дистанции	занимающиеся спортом
Прямая мышца бедра						
Порог (мА)	11,67±1,96	22,50±3,18	12,00±1,41	12,00±1,43	11,25±1,96	22,73±3,20
Достоверность различий	One-way ANOVA: $F(5, 58)=2,2486, p=0,11941$					
Амплитуда (мВ)	7,94±0,85	5,20±0,74	7,03±1,20	7,14±0,96	12,04±1,34	5,19±0,86
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: $H(5, N=64)=15,35309 p=0,0040$ $P_{2-5}=0,001; P_{5-6}=0,001$ Во всех остальных случаях $p>0,05$					
Латентность (мс)	4,36±0,31	4,48±0,22	4,98±0,23	4,44±0,29	5,07±0,46	5,19±0,50
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: $H(5, N=64)=13,80462 p=0,0079$ $P_{1-5}=0,03; P_{2-5}=0,03; P_{3-5}=0,04; P_{4-5}=0,03; P_{1-6}=0,02; P_{2-6}=0,02; P_{4-6}=0,02$ Во всех остальных случаях $p>0,05$					
Длительность (мс)	14,25±1,20	11,46±0,63	11,26±1,05	14,16±0,86	14,33±0,96	15,05±1,07
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: $H(5, N=64)=20,16881 p=0,0005$ $P_{1-3}=0,007; P_{3-4}=0,03; P_{3-5}=0,005; P_{2-6}=0,004; P_{3-6}=0,003$ Во всех остальных случаях $p>0,05$					
Камбаловидная мышца						
Порог (мА)	9,58±0,83	12,00±1,61	16,00±1,89	11,00±0,80	8,13±0,98	16,78±1,99
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: $H(5, N=64)=16,21364 p=0,0027$ $P_{3-5}=0,03; P_{5-6}=0,02$ Во всех остальных случаях $p>0,05$					
Амплитуда (мВ)	9,30±1,53	8,04±1,16	4,61±1,74	8,15±1,73	9,82±1,10	4,37±1,39
Достоверность различий	One-way ANOVA: $F(5, 58)=9,3665 p=0,00045$ $P_{1-3}=0,0009; P_{2-5}=0,001; P_{3-5}=0,0005; P_{1-6}=0,0007; P_{2-6}=0,003; P_{5-6}=0,0004$ Во всех остальных случаях $p>0,05$					
Латентность (мс)	6,76±0,57	6,58±0,48	6,60±0,68	6,78±0,65	7,53±0,69	7,78±0,73
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: $H(5, N=64)=5,307911 p=0,2571$					
Длительность (мс)	11,88±0,95	12,92±1,40	11,99±0,96	14,17±1,25	15,65±1,70	16,16±1,80
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: $H(5, N=64)=8,15579 p=0,0749$					
Передняя большеберцовая мышца						
Порог (мА)	15,42±1,98	20,50±3,28	30,50±3,68	15,00±1,92	16,88±2,19	31,24±3,27
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: $H(5, N=64)=9,511559 p=0,0495$ $P_{3-4}=0,04; P_{4-6}=0,04$					
Амплитуда (мВ)	7,31±1,69	6,54±1,47	3,61±0,26	7,59±1,73	7,64±1,76	3,36±0,36

Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =9,544497 p =0,0488 P₃₋₅=0,04; P₅₋₆=0,03 Во всех остальных случаях p>0,05					
Латентность (мс)	6,24±0,35	6,08±0,39	6,09±0,37	6,26±0,42	7,24±0,53	7,78±0,69
Достоверность различий	One-way ANOVA: F(5, 58)=4,1588, p=0,02327 P₂₋₅=0,03; P₂₋₆=0,02 Во всех остальных случаях p>0,05					
Длительность (мс)	12,79±1,16	12,11±0,94	12,01±0,99	12,85±0,93	14,13±1,34	14,86±1,56
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =8,036666 p =0,0902					
Короткий сгибатель пальцев						
Порог (мА)	21,50±3,49	21,67±3,03	44,00±3,86	17,00±1,79	13,75±1,99	45,56±4,50
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =12,46033 p =0,0142 P₃₋₅=0,009; P₅₋₆=0,007 Во всех остальных случаях p>0,05					
Амплитуда (мВ)	5,56±0,30	5,43±0,45	3,57±0,25	5,58±0,49	6,57±1,10	3,04±0,22
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =2,125176 p =0,7127					
Латентность (мс)	9,15±0,88	9,15±0,72	9,04±0,60	9,17±0,75	11,07±1,65	12,39±1,94
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =2,900651 p =0,5746					
Длительность (мс)	14,54±1,23	12,77±0,89	12,66±0,93	14,01±1,40	15,41±1,72	16,27±1,84
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =10,00804 p =0,0830					
Короткий разгибатель пальцев						
Порог (мА)	14,58±1,78	44,00±4,57	24,00±3,67	18,00±2,11	13,13±1,73	45,26±4,79
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =23,65250 p =0,0001 P₁₋₂=0,0003; P₂₋₄=0,02; P₂₋₅=0,0005; P₁₋₆=0,0002; P₄₋₆=0,01; P₅₋₆=0,0004 Во всех остальных случаях p>0,05					
Амплитуда (мВ)	5,07±1,49	4,41±0,58	4,69±0,84	4,42±0,64	5,41±1,04	4,12±0,44
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =1,703440 p =0,7901					
Латентность (мс)	8,94±0,38	8,79±0,48	8,61±0,59	9,22±0,72	9,71±0,85	10,23±1,03
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =7,402498 p =0,1161					
Длительность (мс)	14,99±1,80	13,00±1,46	12,81±0,87	14,25±1,54	16,34±1,71	17,48±1,99
Достоверность различий	Kruskal-Wallis test: H (5, N= 64) =8,09249 p =0,0967					