

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

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

кандидата биологических наук

Великие Луки - 2025

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Великолукская государственная академия физической культуры и спорта» (ФГБОУ ВО «ВЛГАФК»)

Научный руководитель: **Городничев Руслан Михайлович**,  
доктор биологических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Мельников Андрей Александрович**,  
доктор биологических наук, профессор,  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
образования «Российский университет спорта  
«ГЦОЛИФК», заведующий кафедрой физиологии  
(г. Москва)

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

**Ведущая организация:** Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования «Казанский  
(Приволжский) федеральный университет» (г. Казань)

Защита диссертации состоится «11» февраля 2026 г. в 10:00 часов на заседании диссертационного совета Д 004.038.01 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Федерального исследовательского центра «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук» (ФИЦ Коми НЦ УрО РАН) по адресу 167982, Республика Коми, г. Сыктывкар, ГСП-2, ул. Первомайская, д. 50, olga-parshukova@mail.ru

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук» по адресу 167982, Республика Коми, г. Сыктывкар, ГСП-2, ул. Коммунистическая, д. 24, и на сайте <http://www.physiol.komisc.ru/> Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 202\_\_ г.

Ученый секретарь диссертационного совета



Паршукова О.И.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**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 (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; Арифалин, 2005; Городничев, Фомин, 2007; Ross et al., 2007; Фомин, Селяев, 2011; Андриянова, Ланская, 2014; Arigliano 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 исследования.** 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, 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 и заключение диссертации, подготовлены научные публикации, 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 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.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

### ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

В главе проведен анализ научных источников, посвященных изучению структурно-функциональной организации КСТ, его роли в регуляции движений, а также особенностей нейропластических изменений на корковом и спинальном уровнях под влиянием двигательной активности.

## ОРГАНИЗАЦИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

**Организация исследования.** Исследования проводились в лаборатории нейрофизиологии научно-исследовательского института проблем спорта и оздоровительной физической культуры на базе ФГБОУ ВО «ВЛГАФК». 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) (табл. 1). Все спортсмены были обследованы на специально-подготовительном этапе подготовительного периода годичного цикла спортивной тренировки.

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

Группы испытуемых	Возраст (лет)	Длина тела (см)	Масса тела (кг)	Индекс массы тела (кг/м <sup>2</sup> )
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 \*\* -  $p < 0,01$ . Статистический анализ с применением критериев One-way ANOVA, Kruskal-Wallis test.

**Методы исследования.** На первом этапе исследований осуществляли регистрацию вызванных моторных ответов (ВМО) с мышц правой верхней конечности (двуглавой и трехглавой плеча, лучевого сгибателя и локтевого разгибателя кисти, короткого сгибателя большого пальца и мышцы, отводящей большой палец кисти) при транскраниальной магнитной стимуляции (ТМС) моторной коры головного мозга, магнитной стимуляции (МС) спинного мозга на уровне позвонков С6-С7 и МС периферических нервов плечевого сплетения в точке Эрба (надключичная область). Для

регистрации ВМО с мышц правой нижней конечности (прямой и двуглавой бедра, камбаловидной и передней большеберцовой, короткого сгибателя и короткого разгибателя пальцев) проводилась ТМС, МС спинного мозга на уровне Т12-L1 позвонков и МС периферических нервов (бедренного, больше- и малоберцового, медиального подошвенного). К исследованию привлекались испытуемые-правши и ограничивались регистрацией ответов с ведущей руки и ноги. Отведение и регистрация ВМО (в состоянии покоя) осуществлялись по методикам А.Т. Barker et al. (1985), Р.Ф. Гимранова (2002), С.С. Никитина, А.Л. Куренкова (2003).

Для вызова ВМО при МС использовался 8-канальный электронейромиограф «Нейро-МВП-8» (ООО «Нейрософт», Россия, 2006). ТМС осуществлялась при помощи магнитного стимулятора «Magstim Rapid» (Magstim Company Ltd, Великобритания, 2007). Для ТМС использовался сдвоенный угловой койл с мощностью магнитного поля 1,4 Т. Для МС шейного и поясничного утолщений спинного мозга и периферических нервов тестируемых мышц использовался плоский одинарный койл диаметром 70 мм с мощностью магнитного поля 2,6 Т. Для регистрации ВМО накожные отводящие электроды с межэлектродным расстоянием 2 см располагали биполярно в области двигательных точек указанных мышц: активный электрод – 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 минут: 1) ТМС моторной зоны коры верхних конечностей, 2) ТМС моторной зоны коры нижних конечностей; 3) МС спинного мозга на уровне позвонков С6-С7; 4) МС периферических нервов верхней конечности; 5) МС спинного мозга на уровне позвонков Т12-L1; 6) МС периферических нервов нижней конечности. Анализировались параметры ВМО: порог возбуждения (измеряли в % от максимальной мощности магнитного стимулятора и в абсолютных значениях – теслах), амплитуда (от пика до пика), латентность, длительность, форма, время центрального моторного проведения (ВЦМП).

*На втором этапе исследований* с тех же мышц в состоянии покоя осуществлялась регистрация ВМО при чрескожной электрической стимуляции спинного мозга (ЧЭССМ), приложенной со стороны остистых отростков на уровнях С6-С7 (G. Abbruzzese et al., 1993; M.A. Sabbahi, Y.S. Sengul, 2012) и Т12-L1 позвонков (K. Minassian et al., 2007; G. Courtine et al., 2007; D. Roy Francois et al., 2012), а также М-ответа при электростимуляции периферических нервов плечевого сплетения, бедра, голени и стопы (Л.Р. Зенков, М.А. Ронкин, 2004).

Для отведения и регистрации ВМО при ЧЭССМ и М-ответов использовался 8-канальный электронейромиограф «Нейро-МВП-8» (000 «Нейрософт», Россия, 2006). При ЧЭССМ активный стимулирующий гибкий дисковый электрод (катод) диаметром 30 мм из самоклеющейся токопроводящей резины располагался поочередно в двух точках по средней линии позвоночника 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). При регистрации М-ответа активный стимулирующий электрод размещался в области проекции раздражаемого нерва, пассивный – на противоположной стороне поверхности.

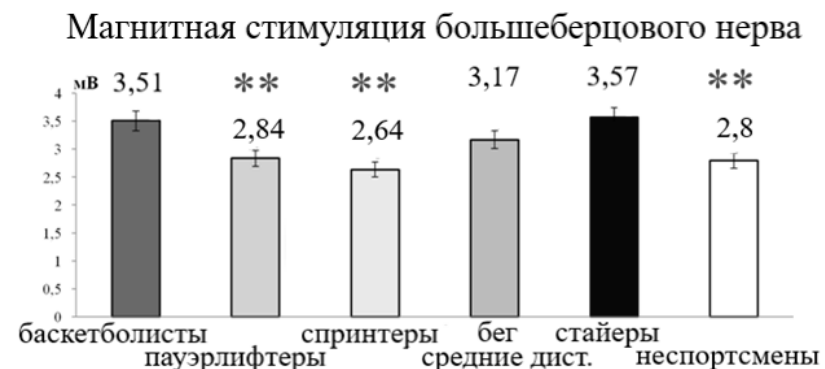
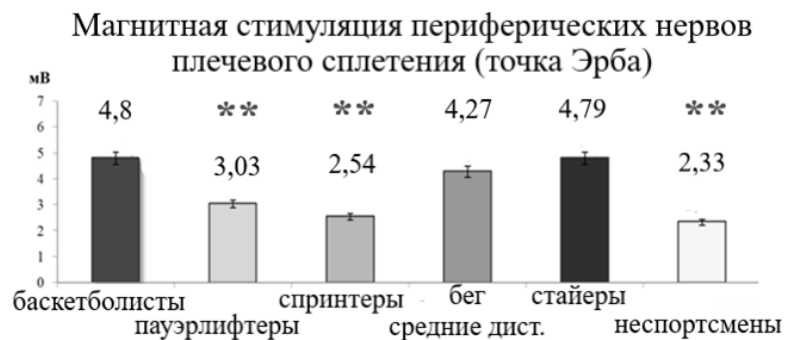
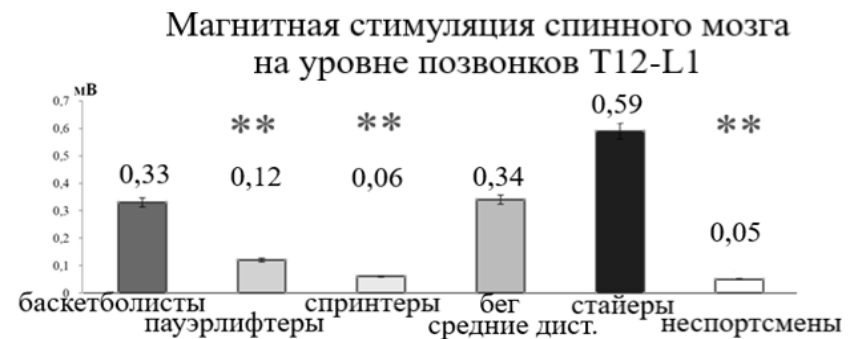
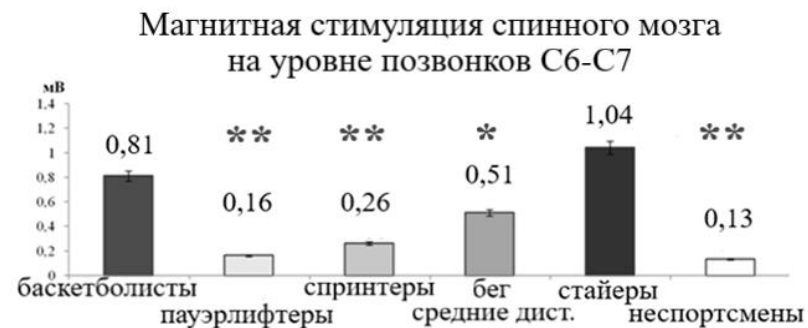
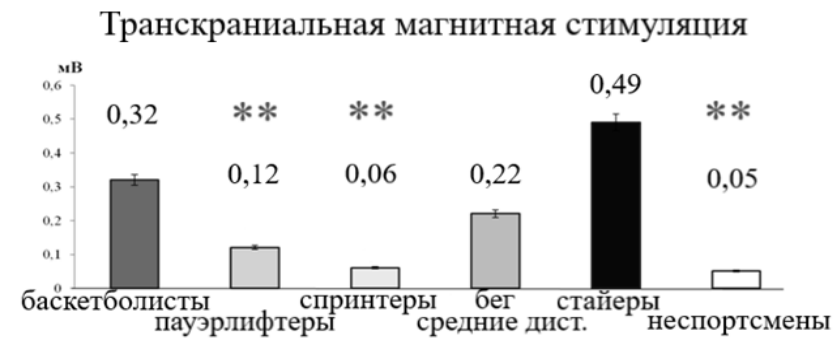
Протокол исследования состоял из 4 последовательных проб с интервалом отдыха между ними в 5 минут: 1) ЧЭССМ на уровне позвонков С6-С7; 2) регистрация М-ответа мышц верхней конечности; 3) ЧЭССМ на уровне позвонков Т12-Л1; 4) регистрация М-ответа мышц нижней конечности. Для регистрации ВМО и М-ответа наносили прямоугольные электрические стимулы длительностью 1 мс и интенсивностью от 0 до 100 миллиампер. 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. Расстояние между отводящими электродами составляло 20 мм.

*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.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследований с применением методов магнитной и электрической стимуляции нервных структур показали, что для стайеров, выполняющих работу на выносливость в режиме большой мощности, характерна самая высокая возбудимость корковых нейронов, мотонейронов СМ и периферических нервов по сравнению с остальными группами обследованных спортсменов. Об этом свидетельствует тот факт, что у стайеров регистрировались самые низкие пороги и самая высокая амплитуда моторных ответов, вызванных магнитной и электрической стимуляцией нервных структур, а у спринтеров и пауэрлифтеров – диаметрально противоположные величины данных параметров, диапазон которых у баскетболистов и бегунов на средние дистанции был примерно одинаковым и занимал промежуточное положение между группами пауэрлифтеров и спринтеров – с одной стороны, и группой стайеров – с другой. У нетренированных лиц по сравнению со спортсменами выявлена меньшая возбудимость корково-спинномозговых двигательных центров и периферических нервов мышц верхней и нижней конечностей, при этом достоверно значимые отличия выявлены в основном от групп стайеров и баскетболистов, в отличие от пауэрлифтеров и спринтеров. На рисунках 1 и 2 в качестве примера представлены показатели амплитуды ВМО лучевого сгибателя кисти и камбаловидной мышцы у представителей обследованных групп при магнитной и электрической видах стимуляции центральных и периферических отделов нервной системы. Похожая картина у всех испытуемых наблюдалась и в отношении других тестируемых мышц, поэтому такие данные не приводятся. Анализ показателей порогов и амплитуды ВМО свидетельствует о том, что среди пяти групп спортсменов у бегунов, адаптированных к длительной малоинтенсивной работе, обнаружена наибольшая, а у пауэрлифтеров и спринтеров, выполняющих мощные кратковременные усилия, - наименьшая возбудимость центральных и периферических структур нервной системы, участвующих в управлении движениями. Это может объясняться:

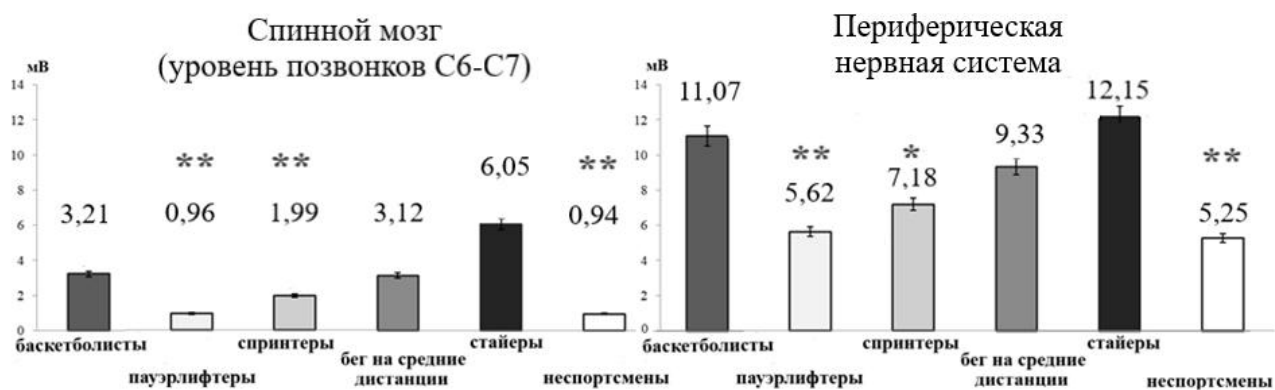
1. Более эффективной синаптической передачей от кортико-спинальных нервных клеток к альфа-мотонейронам ( $\alpha$ -МН) (Duchateau et al., 2006) и уменьшением тормозного влияния интернейронной сети на нисходящие потоки и возбудимость  $\alpha$ -МН (Gruber et al., 2009) под влиянием долговременной адаптации к длительной работе на выносливость.



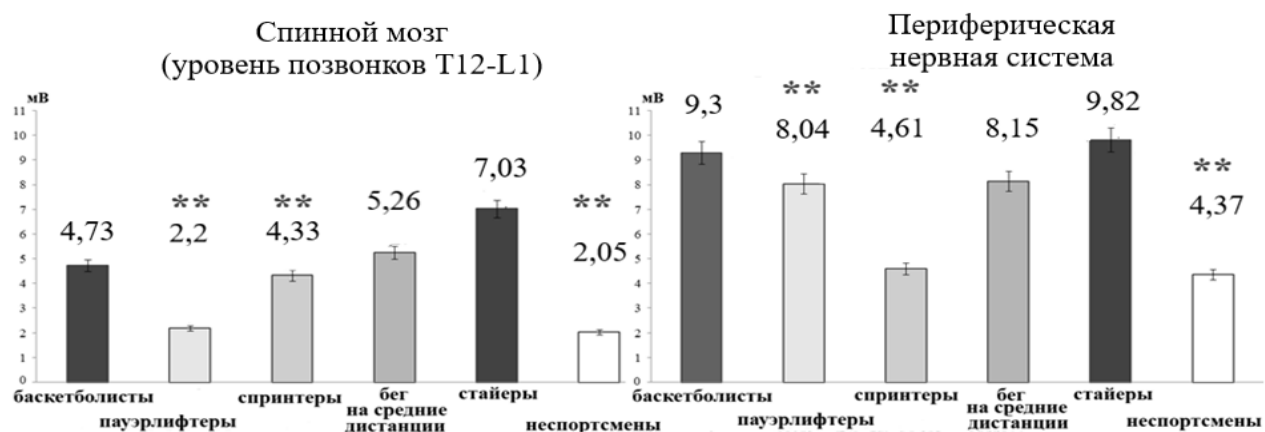
**А**

**Б**

Рисунок 1 – Показатели амплитуды ВМО лучевого сгибателя кисти (А) и камбаловидной мышцы (Б) при магнитной стимуляции нервных структур,  $M \pm SD$  (отличия от группы стайеров при \*  $p \leq 0,01$  и \*\*  $p \leq 0,001$ ; статистический анализ с применением критериев One-way ANOVA, Kruskal-Wallis test)



А



Б

Рисунок 2 – Показатели амплитуды ВМО лучевого сгибателя кисти (А) и камбаловидной мышцы (Б) при электрической стимуляции нервных структур,  $M \pm SD$  (отличия от группы стайеров при \*  $p \leq 0,01$  и \*\*  $p \leq 0,001$ ; статистический анализ с применением критерия *One-way ANOVA*)

2. Соотношением в мышцах спортсменов различных типов двигательных единиц (ДЕ), отличающихся морфофункциональными характеристиками и уровнем возбудимости их мотонейронов (у тяжелоатлетов и спринтеров преобладают быстрые ДЕ, у стайеров – медленные ДЕ, у игроков и бегунов на средние дистанции – относительно равномерное распределение быстрых и медленных ДЕ в рабочих мышцах) (Кизько, 2003).

3. Координированной активностью нейрональных тормозных механизмов спинного мозга: у стайеров в покое выраженность пресинаптического торможения (Городничев, Фомин, 2007), аутогенного (нереципрокного) торможения (Смирнова, 2011), возвратного торможения  $\alpha$ -МН (Earles et al., 2002) меньше, чем у спринтеров. При этом у стайеров выраженность пресинаптического торможения Ia афферентов меньше, чем у

спортсменов силовой тренировки (Earles et al., 2002). У нетренированных лиц активность пресинаптического и аутогенного торможения существенно выше, чем у стайеров (Earles et al., 2002; Челноков, Тюпаев, 2016).

Показателем, отражающим вклад разных типов двигательных единиц (ДЕ) мышцы в ее сокращение, а также степень синхронизации возникновения их потенциалов действия является форма мышечных ответов. На рисунке 3 в качестве примера представлены оригинальные образцы записей ответов лучевого сгибателя кисти и камбаловидной мышцы у спортсменов и нетренированного участника, вызванных магнитной стимуляцией разных отделов нервной системы. Похожая картина наблюдалась и в отношении других тестируемых мышц, как при магнитной, так и электрической стимуляции нервных структур, поэтому примеры таких данных не приводятся. Данные примеры оригинальных записей демонстрируют, что при стимуляции разных нервных структур у нетренированных лиц ВМО отличались меньшей амплитудой в сравнении с группами спортсменов. Анализ оригинальных записей показал, что стайеры отличались от представителей других видов спорта наибольшей амплитудой и выраженной асинхронностью активности ДЕ, о чем свидетельствовало наличие псевдо- и полифаз моторных ответов.

Асинхронность активности ДЕ 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 и способствуя более медленному развитию утомления. 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). У пауэрлифтеров и спринтеров, наоборот, наблюдалась самая низкая амплитуда и относительно синхронный режим активации ДЕ.

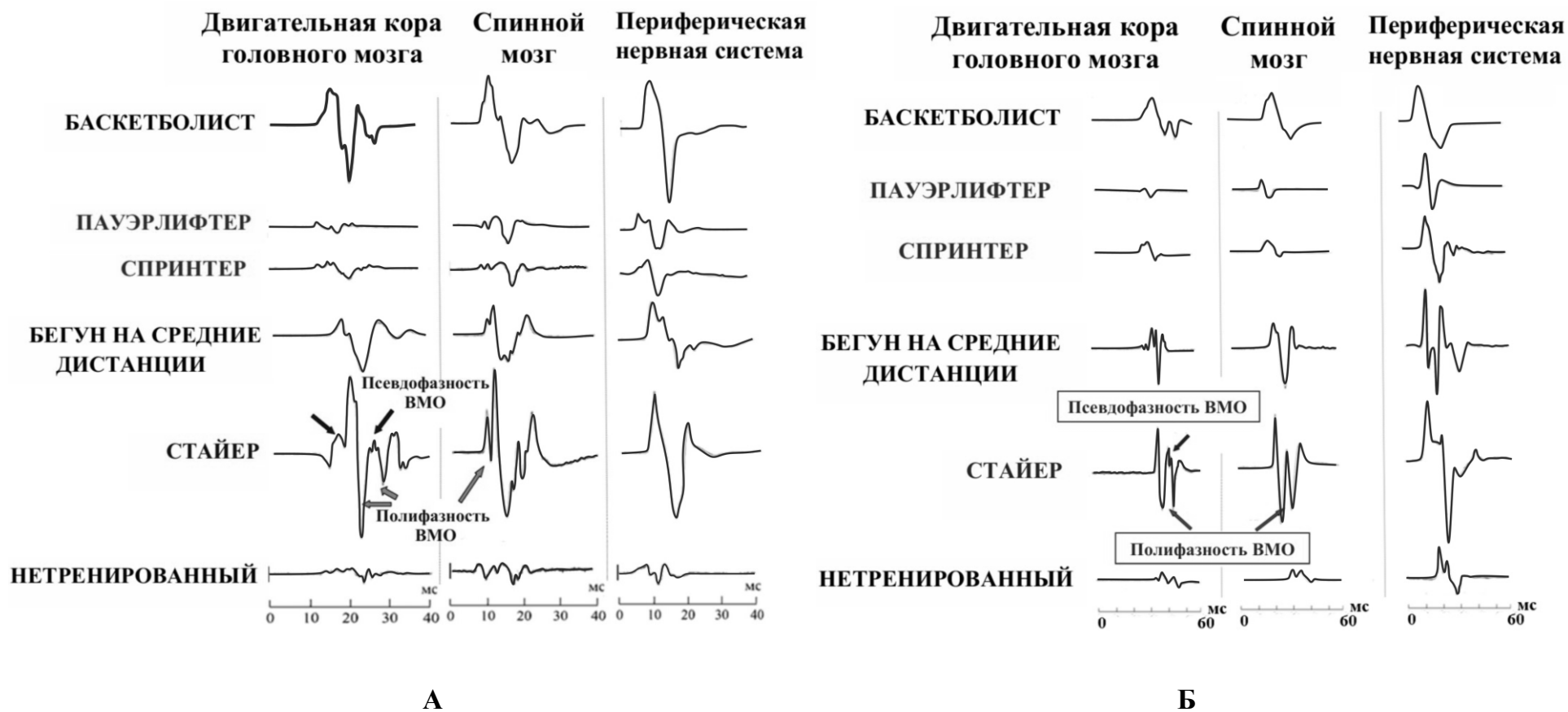


Рисунок 3 – Форма ВМО лучевого сгибателя кисти (А) и камбаловидной мышцы (Б) при магнитной стимуляции

Далее в ходе исследования было установлено, что среди пяти групп спортсменов у стайеров обнаружена наименьшая, а у спринтеров и пауэрлифтеров наибольшая проводящая способность центральных и периферических нервных структур, о чем свидетельствуют показатели латентности, длительности и ВЦМП. В таблице 2 и на рисунке 4 в качестве примера представлены показатели ВЦМП и латентности ВМО лучевого сгибателя кисти у обследованных лиц при разных видах стимуляции.

Баскетболисты и бегуны на средние дистанции занимали промежуточное положение между группой стайеров – с одной стороны, и группами пауэрлифтеров и спринтеров – с другой. У нетренированных лиц по сравнению со спортсменами выявлена более низкая проводящая способность КСТ и аксонов периферических нервов мышц верхней и нижней конечностей. Похожая картина у представителей всех групп наблюдалась и в отношении других тестируемых мышц при магнитной и электрической стимуляции нервных структур, поэтому примеры таких данных не приводятся.

Таблица 2 – Показатели ВМО лучевого сгибателя кисти при магнитной стимуляции,  $M \pm SD$

баскетболисты	пауэрлифтеры	спринтеры	бегуны на средние дистанции	стайеры	неспортсмены
ВЦМП					
8,15± 0,41	7,60± 0,34 *	8,11± 0,56	8,32± 0,65	8,78± 0,81	8,90± 0,74
Латентность ВМО при магнитной стимуляции периферии (точка Эрба)					
6,42± 0,05	6,28± 0,2	5,62± 0,18 *	6,73± 0,13	6,76± 0,17	6,8± 0,19

Примечание: достоверные отличия от баскетболистов при \* -  $p < 0,05$ . Статистический анализ с применением критериев One-way ANOVA, Kruskal-Wallis test.

Полученные данные могут 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). При этом, чем выше содержание миелина, тем лучше аксональная передача в КСТ (Kirby et al., 2022). 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.

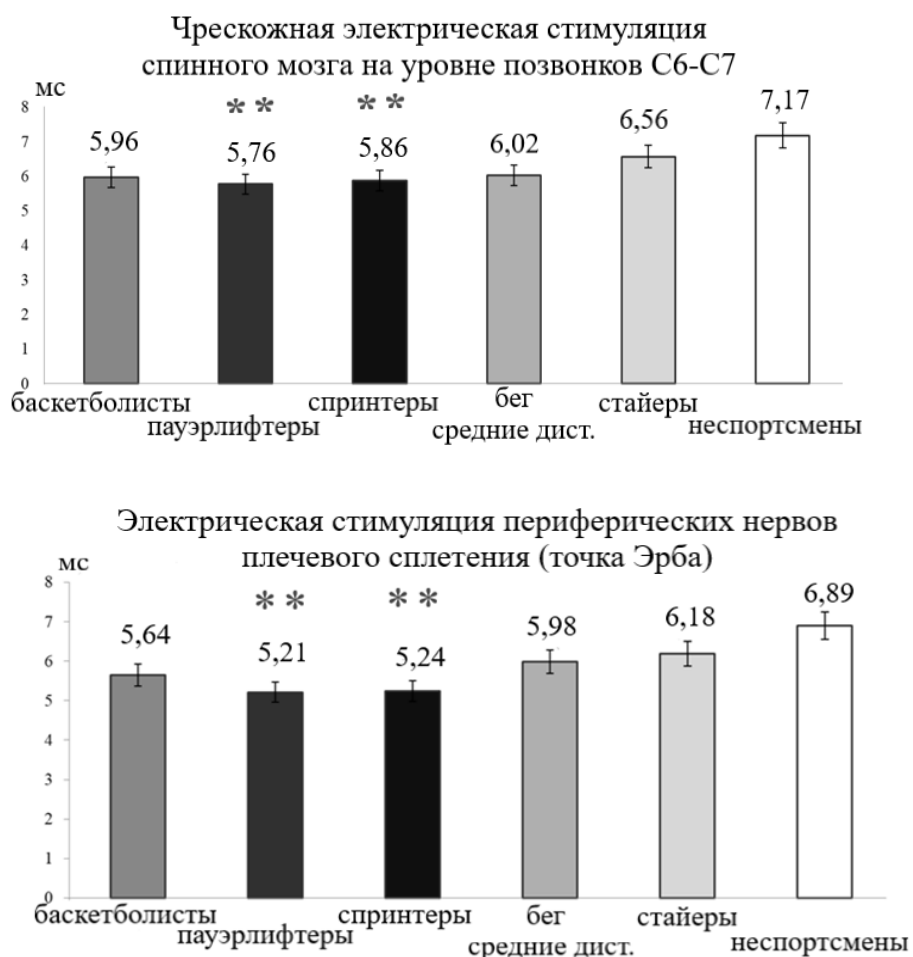
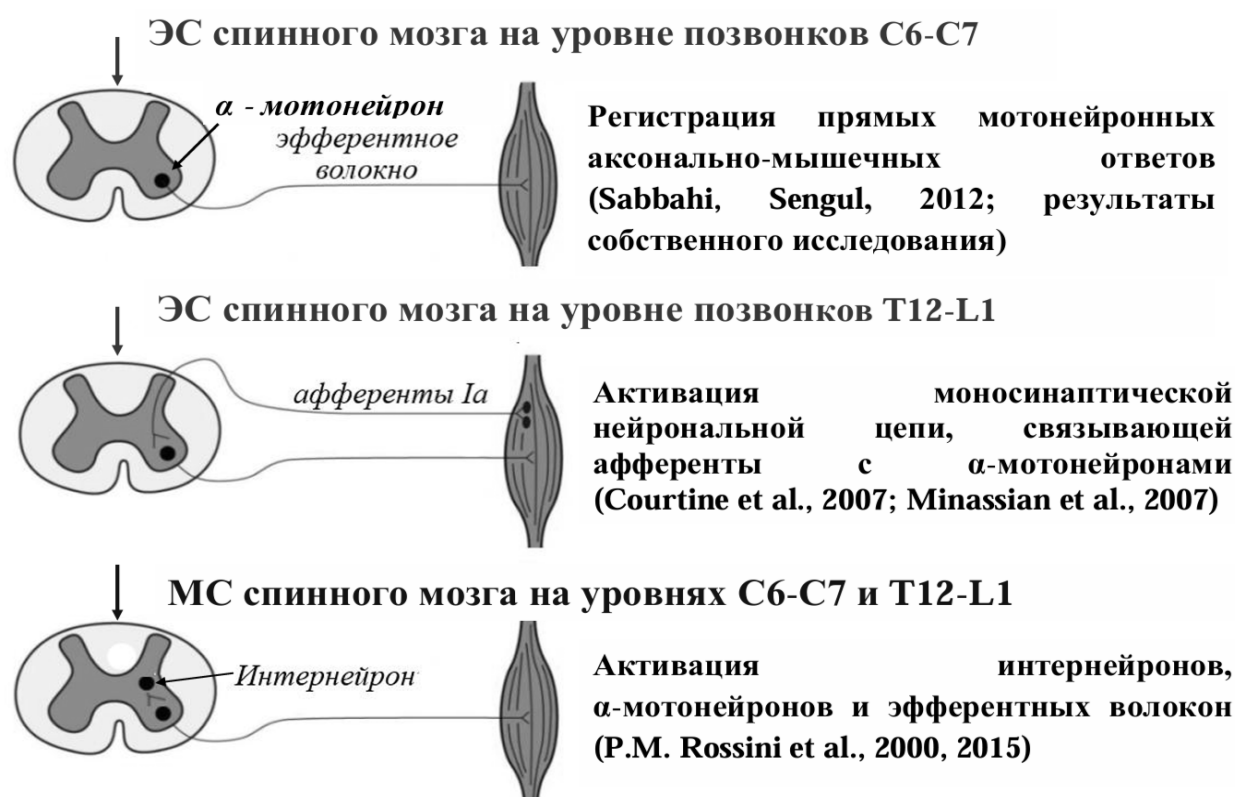


Рисунок 4 – Показатели латентности ВМО лучевого сгибателя кисти при электрической стимуляции нервных структур,  $M \pm SD$  (отличия от стайеров и неспортсменов при  $** p \leq 0,01$ ; статистический анализ с применением критериев *One-way ANOVA, Kruskal-Wallis test*)

С другой стороны, в условиях выбранных видов стимуляции происходит активация корковых нейронов, а затем рекрутирование соответствующих ДЕ, соотношение которых в мышцах у представителей изучаемых видов спорта различное, о чем упоминалось выше. 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.

Важным результатом наших исследований является обнаружение более высокой амплитуды моторных ответов, вызванных ЧЭССМ на уровнях позвонков С6-С7 и Т12-Л1 и электростимуляцией соответствующих периферических нервов, в сравнении с МС. Можно предположить, что МС вызывает активацию меньшего количества ДЕ, входящих в мотонейронные пулы мышц верхней и нижней конечностей, чем электрическая. Вероятно, это связано с локализацией процессов возбуждения в определенных спинальных нейронных сетях, инициируемых разными видами стимуляции (рис. 5).



**Примечание:** ЭС - электрическая стимуляция; МС - магнитная стимуляция

Рисунок 5 – Физиологические особенности формирования ВМО при электрической и магнитной стимуляции разных отделов спинного мозга

Литературные данные (Sabbahi, Sengul, 2012) и результаты собственного исследования 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).

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.

## 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.

### **СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ в рецензируемых научных журналах и изданиях, входящих в международные реферативные базы данных и системы цитирования:**

1. Ланская, О.В. Пластичность шейных и пояснично-крестцовых спинальных нейрональных сетей двигательного контроля при занятиях спортом / О.В. Ланская, Е.Ю. Андриянова, **Е.В. Ланская** // Теория и практика физической культуры. – 2015. - №6. – С. 14-16. (**Scopus, ВАК**)
2. **Ланская, Е.В.** Пластичность спинальных и соответствующих нервно-мышечных структур под влиянием долговременной спортивной деятельности разной направленности / **Е.В. Ланская**, О.В. Ланская // Лечебная физкультура и спортивная медицина. – 2015. - №5(131). – С. 22-26. (**ВАК**)

3. **Ланская, Е.В.** Механизмы нейропластичности кортико-спинального тракта при занятиях спортом / **Е.В. Ланская**, О.В. Ланская, Е.Ю. Андриянова // Ульяновский медико-биологический журнал. – 2016. - №1. – С. 127-136. **(ВАК)**
4. Ланская, О.В. Анализ изменений нейрофизиологических характеристик баскетболистов под влиянием спортивных и реабилитационных тренировок / О.В. Ланская, **Е.В. Ланская** // Журнал медико-биологических исследований. – 2020. – Т. 8. - №2. – С. 139-148. **(ВАК)**
5. Lanskaya, O.V. Functional state of the cortical-spinal tract and motor-cognitive reactions of athletes who train speed, endurance, and coordination of movement / O.V. Lanskaya, **E.V. Lanskaya** // Human Physiology. – 2023. – Vol. 49, № 1. – P. 55–64. **(Scopus)**
6. **Ланская, Е.В.** Изучение параметров произвольной и вызванной активности мышц у представителей разных видов спорта / **Е.В. Ланская**, Р.М. Городничев // Современные вопросы биомедицины. – 2025. – Том 9, №1(31). – С. 67-73. **(ВАК)**

### **Монография**

1. Ланская, О.В. Механизмы пластичности кортико-спинальных и нервно-мышечных структур при занятиях различными видами спорта: Монография / О.В. Ланская, **Е.В. Ланская**. - Москва: РУСАЙНС, 2019. – 190 с.

### **Список сокращений**

ЦНС – центральная нервная система  
 КСТ – кортико-спинальный тракт  
 ВМО - вызванный моторный ответ  
 ТМС - транскраниальная магнитная стимуляция  
 МС - магнитная стимуляция  
 ВЦМП - время центрального моторного проведения  
 ЧЭССМ - чрескожная электрическая стимуляция спинного мозга  
 $\alpha$ -МН – альфа-мотонейрон  
 ДЕ - двигательная единица