

На правах рукописи

С.Нопин

**НОПИН СЕРГЕЙ ВИКТОРОВИЧ**

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ РЕЗЕРВНЫЕ  
ВОЗМОЖНОСТИ АДАПТАЦИИ ДВИГАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ЧЕЛОВЕКА  
К СПЕЦИФИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В СПОРТЕ ВЫСШИХ  
ДОСТИЖЕНИЙ**

1.5.5 – Физиология человека и животных

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
доктора биологических наук

Челябинск – 2025

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном учреждении «Северо-Кавказский федеральный научно-клинический центр Федерального медико-биологического агентства» (ФГБУ СКФНКЦ ФМБА России)

Научный консультант: **Корягина Юлия Владиславовна**, доктор биологических наук, профессор, руководитель центра медико-биологических технологий ФГБУ «Северо-Кавказский федеральный научно-клинический центр Федерального медико-биологического агентства», г. Ессентуки.

Официальные оппоненты: **Мельников Андрей Александрович**, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой физиологии ФГБОУ ВО «Российский университет спорта «ГЦОЛИФК», г. Москва.

**Городничев Руслан Михайлович**, доктор биологических наук, профессор, директор научно-исследовательского института проблем спорта и оздоровительной физической культуры, профессор кафедры физиологии и спортивной медицины ФГБОУ ВО «Великолукская государственная академия физической культуры и спорта», г. Великие Луки.

**Калинина Ирина Николаевна**, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой анатомии и спортивной медицины ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет физической культуры, спорта и туризма», г. Краснодар.

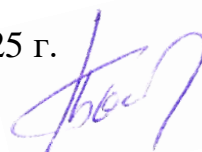
Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет физической культуры, спорта и туризма», г. Казань.

Защита диссертации состоится 18 июня 2025 года в 11:00 часов, на заседании диссертационного совета 24.2.437.08, созданного на базе ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (НИУ)», по адресу: 454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 87 (учебный корпус 3бв), ауд. 130.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (НИУ)»: <https://www.susu.ru/ru/dissertation/24243708/nopin-sergey-viktorovich>

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 г.

Ученый секретарь диссертационного совета



П.А. Байгужин

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность.** В физиологической науке, в частности в физиологии спорта, одной из важнейших задач является изучение особенностей и закономерностей процессов адаптации организма человека и его систем к спортивной (мышечной) деятельности (Ørtenblad et al., 2018; Karlsson et al., 2022; Valenzuela et al., 2022). Новые знания о процессах адаптации организма человека позволяют более обоснованно подходить к планированию и реализации спортивной подготовки и восстановительных мероприятий как в спорте высших достижений, так и при подготовке спортивного резерва (Clemente et al., 2022; Weberru et al., 2022).

Рассматривая динамический адаптационный процесс с точки зрения формирования новой программы реагирования системы, ученые отмечают, что «приспособительные изменения, их динамика и физиологические механизмы определяются состоянием и соотношением внешних и внутренних условий деятельности и среды» (Солодков, 2013). Данные изменения с одной стороны лимитируются, а с другой повышают функциональные резервы органов и систем организма в целях совершения большой работы, выполняемой при специфической спортивной деятельности (Мозжухин, 1984; Jagim et al., 2022; Weiss et al., 2022).

Спортивные движения и упражнения разнообразны и классифицируются по мощности выполняемой мышечной работы, количеству задействованных при активности мышц, величине и скорости проявляемых мышечных усилий, значительно отличаются биомеханической структурой (Фарфель, 2011; Платонов, 2015). Еще ранее в своей концепции физиологии движений Н.А. Бернштейн отмечает значимую роль внешних биомеханических факторов и внутреннего состояния мышц в управлении движениями (Бернштейн, 1966, 2017). В современных исследовательских работах в отдельных спортивных движениях показаны специфические физиологические адаптационные изменения двигательной системы человека в соответствии с биомеханическими (кинематическими и динамическими) характеристиками спортивных движений (Поповская и др., 2019; Капилевич и др., 2019, 2020; Mersmann et al., 2017; Trowell et al., 2020). Несмотря на то, что известны общие механизмы адаптации организма человека к мышечной деятельности, функциональные резервы двигательной системы могут определяться гено- и фенотипическими факторами, режимами и мощностью работы (Давиденко, 2005; Vanrenterghem et al., 2017; Thompson, 2017; Эрлих В.В. с соавт., 2020; Романов Ю.Н. с соавт., 2022).

Следовательно, остаются не до конца изученными вопросы, касающиеся закономерностей совершенствования физиологических механизмов, лежащих в основе адаптации двигательной системы человека к проявлению больших и максимальных функциональных возможностей при специфических видах спортивных упражнений, имеющих существенные различия по биомеханике движений (Cipryan et al., 2017; Murlasits et al., 2018; Бахарева А.С. с соавт., 2022). Исследователи отмечают, что проблема резервных возможностей

двигательной системы относится к одной из слабо изученных и трудно исследуемых проблем системной физиологии (Фудин, Классина, 2017; Gibson et al., 2018; Приймаков, 2020).

В связи с этим физиолого-биомеханический подход, применяемый при изучении функционирования двигательной системы человека в процессе спортивной деятельности, должен строиться на выявлении специфических особенностей деятельности нервной системы (НС), нервно-мышечного аппарата (НМА), биомеханических характеристик движений и их эффективности, а также качественной и количественной связи между ними.

Для этих целей используется комплекс методик – реакциометрия (Озеров, 2002; Ильин, 2003; Krenn et al., 2018), тензодинамометрия (Сивохин и др., 2017; Dobbin et al., 2018), стабиллография (Быков и др., 2012; Мельников и др., 2017; Marcolin et al., 2018; Sarto et al., 2020), электромиография (ЭМГ) (Калинникова и др., 2013; Городничев, Шляхтов, 2016; Serefoglu, 2017; Lynn et al., 2018; Felici, Vecchio, 2020), анализ кинематических характеристик движений спортсмена (Тюпа, 2019; Шалманов и др., 2020; Knudson, 2017; Encarnación-Martínez et al., 2021), цифровизация технологий оперативной диагностики функциональных резервов и оценки готовности организма спортсменов к соревновательной деятельности, многомерный анализ динамической структуры мобилизуемых резервов организма (Иорданская Ф.А. с соавт., 2018; Эрлих В.В. с соавт., 2020). Комплексный мультидисциплинарный подход в использовании данных методов функциональной диагностики в физиологии спорта позволит дать объективную характеристику функциональных возможностей процесса адаптации двигательной системы человека.

**Степень разработанности.** Вопросы адаптации к мышечной деятельности и управления движениями всегда являются наиболее актуальными в физиологии спорта, они неотъемлемо связаны с направлениями формирования и проявления двигательных навыков. Еще в работах В.С. Фарфеля (1969) и Н.А. Бернштейна (1966) отмечалось, что двигательные функции и работа нервно-мышечного аппарата связаны с биомеханикой и кибернетикой. Формирование двигательных навыков и процессы адаптации часто рассматривают через призму формирования функциональной системы П.К. Анохина (1975, 1998).

В современной физиологии спорта, рассматривая центральные и периферические механизмы адаптации к специфической спортивной деятельности, ученые используют комплекс современных диагностических методик, позволяющих выявлять изменения как на уровне отдельных клеток и тканей (Мирошников, Смоленский, 2017; Винничук, Чикина, 2019; Zügel M. et al., 2018), так и на уровне функциональных систем организма спортсмена (Фудин, Вагин, 2016; Платонов, 2017; Cunanán A.J. et al., 2018). По данным различных авторов, адаптация двигательной системы человека к специфической спортивной деятельности проявляется в изменении сенсомоторных реакций (Ильин, 2011; Тришин и др., 2017; Zaferanieh et al., 2021), пластических функциональных перестройках нервно-мышечного аппарата и нейронных структур двигательного контроля (Городничев,

Шляхтов, 2016; Бердичевская, Тришин, 2018; Faude et al., 2017; Ланская и др., 2015; Judge L. et al., 2003), статокINETической устойчивости (Мельников и др., 2016; Gauchard et al., 2018). Проводятся исследования, характеризующие особенности суммарной электрической активности мышц спортсменов при выполнении отдельных спортивных упражнений (Поповская и др., 2018; Капилевич и др., 2020; Felici, Vecchio, 2018; Vigotsky et al., 2018, 2022), характер проявления и взаимодействия вегетативных функций и статокINETической устойчивости при различных позах и движениях (Мельников и др., 2016; Саакян, Гронская, 2021).

В то же время не представлено комплексных исследований, показывающих сравнительные данные особенностей адаптации всех составляющих двигательных функций спортсменов (сенсомоторные реакции, темп движений, вестибулярная устойчивость, биомеханические и электромиографические характеристики). Отсутствуют научные данные, характеризующие особенности адаптации в относительно «новых» Олимпийских видах спорта (сумо, керлинг, женская тяжелая атлетика, женский бокс и др.).

Многопараметричность одновременно со специализированностью адаптационных реакций двигательной системы в спорте актуализирует необходимость формирования целостной концепции функционирования двигательной системы человека при спортивной деятельности, а, следовательно, и современных представлений о функциональных резервах срочной и долговременной адаптации двигательной системы к специфической спортивной деятельности. Соответственно, основная проблема, на решение которой направлено данное исследование, связана с выяснением физиологических и биомеханических механизмов и функциональных резервов адаптации двигательной системы человека к специфической спортивной деятельности.

**Гипотеза исследования:** предполагаем, что изучение процессов адаптации и функциональных резервных возможностей двигательной системы спортсменов (высокой квалификации и имеющих большой стаж занятий спортом), включающее определение особенностей нейродинамических процессов, оценку статокINETической устойчивости, электромиографических и биомеханических показателей при выполнении функциональных проб с нагрузкой субмаксимальной и максимальной мощности, позволит выявить системные физиологические и биомеханические закономерности, функциональные резервы адаптации двигательной системы у высококвалифицированных спортсменов различных видов спорта и обосновать концепцию функционирования двигательной системы человека при спортивной деятельности.

**Цель исследования:** Выявление и анализ системных физиологических и биомеханических закономерностей, функциональных резервов двигательной системы у высококвалифицированных спортсменов различных видов спорта.

**Задачи исследования:**

1) Разработать комплекс диагностических методов в виде автоматизированных информационно-аналитических систем, реализующих новые авторские методики оценки времени двигательных реакций и свойств нервной системы, электромиографических и биомеханических параметров движений при выполнении функциональных проб и спортивных упражнений у высококвалифицированных спортсменов.

2) Определить особенности нейродинамических процессов у высококвалифицированных спортсменов разного пола и различных видов спорта.

3) Оценить статокINETическую устойчивость и выявить ее особенности у квалифицированных спортсменов в видах спорта с различной структурой движений.

4) Дать комплексную оценку функционального состояния двигательной системы спортсменов разного пола по электромиографическим и биомеханическим показателям при выполнении функциональных проб с нагрузкой субмаксимальной и максимальной мощности.

5) Оценить изменения функционального состояния нервно-мышечного аппарата по амплитудно-частотным показателям электромиографии в разные фазы функциональных нагрузочных проб у высококвалифицированных спортсменов.

6) Дать оценку системным взаимосвязям физиологических и биомеханических параметров двигательной системы высококвалифицированных спортсменов-тяжелоатлетов при выполнении функциональных проб с нагрузкой максимальной мощности.

7) Обосновать концепцию функционирования двигательной системы человека при спортивной деятельности, раскрывающую элементы системы, принципы их организации и взаимодействия для обеспечения высокого спортивного результата.

**Научная новизна исследования.** Впервые проведено комплексное исследование функционального состояния двигательной системы спортсменов различных видов спорта в процессе срочной (непосредственно при выполнении функциональных проб субмаксимальной и максимальной мощности) и долговременной адаптации к специфической спортивной деятельности, включающее одновременно оценку биомеханических параметров движений и сопровождающих их физиологических процессов в нервно-мышечном аппарате.

Установлены закономерности адаптации двигательной системы человека к специфической деятельности в спорте высших достижений, проявляющиеся изменением управления на уровне высших отделов нервной системы в виде совершенствования нейродинамических процессов и свойств нервной системы, а также увеличения функциональных возможностей и резервов на уровне периферического нервно-мышечного аппарата и вестибулярной системы в виде специализации постуральной устойчивости, оптимизации кинематики и

увеличения динамики движений, пропорциональности увеличения частотных и амплитудных параметров электромиографии.

На выборке высококвалифицированных спортсменов различных по структуре видов спорта впервые показана разная направленность долговременных адаптационных изменений сенсомоторных реакций, свойств нервной системы (Свидетельство о регистрации базы данных № 2022620362 от 28.02.2022; № 2024620701 от 14.02.2024).

Выявленные новые закономерности в проявлении сенсомоторных реакций спортсменов обосновали модифицированную физиологическую классификацию видов спорта, отличающуюся одновременным учетом структуры двигательных действий и обеспечивающих их физиологических процессов (как основ физических качеств силы, быстроты выносливости) (патент на промышленный образец №136767 от 23.05.2023).

Доказано, что меньшие величины простых сенсомоторных реакций проявляются у спортсменов в циклических и ситуационных видах спорта, не требующих значительного мышечного напряжения, а, следовательно, не требующих существенного задействования резервов нервной системы для обработки сенсорно-моторной информации в двигательных центрах.

Впервые получены данные, дополняющие физиологическую характеристику о свойствах нервной системы и сенсомоторных реакциях спортсменов-представителей новых для России видов спорта: керлинг и сумо, женский бокс, бейсбол.

Представленные новые данные о статокINETической устойчивости спортсменов различных видов спорта позволили раскрыть механизмы долговременной адаптации к специфической спортивной деятельности, определяемые особенностями рабочей позы и характером передвижений спортсменов в соревновательных упражнениях.

Впервые установлены особенности кинематических, динамических и электромиографических параметров функционального состояния двигательной системы спортсменов и механизмы их взаимосвязи, обеспечивающие полезный результат функциональной системы при выполнении функциональной пробы «Спортивный нагрузочный тест повторных прыжков Bosco» и соревновательных тяжелоатлетических упражнений рывок и толчок (Свидетельство о регистрации базы данных №2021621916, 09.09.2021).

Получены новые данные о половых различиях в параметрах электрофизиологической активности у мужчин и женщин, проявляющиеся в большей амплитуде ЭМГ у мужчин. Электроактивность наиболее задействованных в специфической физической работе мышц женщин характеризуется более высокими частотными характеристиками, а вследствие этого – меньшей латентностью и большей скоростью проведения по моторным волокнам.

Впервые разработаны математические модели функциональных системных взаимодействий при выполнении конкретных двигательных действий на примере спортсменов-тяжелоатлетов, которые заключаются в корреляционных и линейных взаимосвязях между результативностью подъема

штанги, мощностью выполняемой работы, кинематикой движения суставов, электрической активностью работающих мышц.

Впервые разработаны математические модели функциональных системных взаимодействий при выполнении конкретных двигательных действий на примере спортсменов-тяжелотлетов, которые заключаются во взаимосвязях между результативностью подъема штанги, мощностью выполняемой работы, кинематикой движения суставов, электрической активностью работающих мышц.

Разработана авторская концепция функционирования двигательной системы человека при спортивной деятельности, раскрывающая составляющие элементы данной системы, а также принципы их организации и взаимодействия для обеспечения эффективного выполнения движений в спорте.

**Теоретическая и практическая значимость исследования.** Данные исследования дополняют знания по физиологии человека в разделах: нервная система – особенностями свойств и характеристик типов высшей нервной деятельности у спортсменов различных видов спорта; нервно-мышечный аппарат – электрофизиологическими характеристиками функционального состояния спортсменов в покое и при выполнении спортивных движений; вестибулярная и двигательная сенсорные системы – характеристиками статокINETической устойчивости у спортсменов различных видов спорта; произвольные движения – данными об особенностях электронапряжения мышц при различных режимах работы.

Знания по спортивной физиологии дополнены в разделах: срочная и долговременная адаптация к физическим нагрузкам; физиологическая характеристика силовых и скоростно-силовых упражнений; физиологические механизмы формирования двигательных навыков; методы исследований, применяемые в спортивной физиологии.

Концепция функционирования двигательной системы человека при спортивной деятельности дополняется закономерностями, выявленными при изучении на примерах спорта высших достижений, существующие представления, наиболее полно сформулированные в концепциях Н.А. Бернштейна и Д. Дудела.

Разработаны новый способ биомеханической и электромиографической оценки тяжелоатлетических упражнений (патент на изобретение RU 2756567 C1, 01.10.2021) и схема медицинского контроля функционального состояния нервно-мышечного аппарата (патент на промышленный образец 134705, 23.12.2022), позволившие установить особенности срочных адаптационных изменений и определить функциональные резервы процессов адаптации нервно-мышечного аппарата к работе субмаксимальной и максимальной мощности, выражающиеся в увеличении силы и скорости мышечных сокращений с возрастанием амплитудных и частотных характеристик электроактивности мышц, а также выявлено снижение данных характеристик при утомлении.



Результаты работы более полно раскрывают научную проблему изучения механизмов срочных и долговременных адаптационных изменений двигательной системы человека при физических нагрузках и упражнениях с разной биомеханикой движений.

**Полученные данные о механизмах адаптации двигательной системы** человека могут применяться физиологами и врачами по спортивной медицине для оценки функционального состояния спортсменов при проведении этапных и комплексных обследований, врачебно-педагогических наблюдений.

Разработанные автоматизированные информационно-аналитические системы, реализующие физиолого-биомеханические методы исследований: АПК «Спортивный психофизиолог» (Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ №2010617789, 24.11.2010), «Определитель индивидуальной единицы времени» (Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ №2005611543, 23.06.2005), «Спортивный нагрузочный тест повторных прыжков Bosco» (Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ №2021619879, 18.06.2021), «Биомеханическая и электромиографическая экспресс-оценка тяжелоатлетического рывка» (Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2020660142, 28.08.2020), «Биомеханическая и электромиографическая экспресс-оценка тяжелоатлетического толчка» (Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2020660143, 28.08.2020) используются в практике физиологов, тренеров и врачей по спортивной медицине в качестве функциональных методов исследования, в научно-исследовательских лабораториях для физиологических, психофизиологических и биомеханических исследований.

На основе полученных данных были разработаны базы данных, сформированы модельные характеристики техники тяжелоатлетических упражнений для спортсменов разного пола и весовых категорий, используемые в подготовке национальной сборной команды по тяжелой атлетике (Свидетельство о регистрации базы данных №2021621916, 09.09.2021).

**Настоящее исследование выполнено** в соответствии с государственными контрактами (ГК) и государственным заданием (ГЗ) ФГБУ СКФНКЦ ФМБА России: ГК № 129.014.19.14 от 01.04.2019 на выполнение НИР «Разработка методик диагностики и моделей функционального состояния опорно-двигательного аппарата и динамических (биомеханических, тензодинамометрических, электронейромиографических) характеристик движения спортсменов в условиях среднегорья» (шифр: «Движение-19»); ГК № 0173100014420000023 от 15.06.2020 на выполнение НИР «Разработка методики экспресс-контроля за техникой выполнения тяжелоатлетических упражнений спортсменами высокой квалификации в условиях тренировочной деятельности»; ГЗ на выполнение НИР «Разработка и внедрение современных биотехнологий и аппаратно-программных комплексов для скрининг-экспресс диагностики и санаторно-курортного лечения на территории Северо-Кавказского региона контингента, подлежащего медико-санитарному обеспечению ФМБА России, в том числе и населения, проживающего в промышленных зонах» (шифр: «Перспектива-НИЦКиР 17/19»); ГЗ на выполнение НИР «Разработка технологий сочетанного применения природных

лечебных ресурсов Кавказских Минеральных Вод и преформированных физических факторов для восстановления и медицинской реабилитации спортсменов» (шифр: «Горы 21/25»).

**Положения, выносимые на защиту:**

1. Разработанный комплекс методов для диагностики высококвалифицированных спортсменов, реализованный в виде автоматизированных информационно-аналитических систем, включает новые физиологические методы определения времени двигательных реакций и свойств нервной системы, биомеханической и электромиографической оценки параметров движений, в том числе в виде реализованных функциональных проб непосредственно при выполнении спортивных упражнений.

2. Функциональные резервы адаптации двигательной системы человека, определяющие достижение наивысшей квалификации в спортивной деятельности, связаны с возможностями к проявлению:

- максимальных функциональных свойств нервных процессов: силы, лабильности и уравновешенности, что проявляется преобладанием сангвинического темперамента у 70% высококвалифицированных спортсменов;

- специализированных свойств сенсомоторных процессов (наименьшими показателями времени простых реакций в видах спорта с циклической структурой движений и ведущими двигательными качествами – быстрота и выносливость; сложных реакций – в ситуационных видах спорта с ведущими скоростно-силовыми качествами) и статокINETической устойчивости, определяемой сформированными двигательными стереотипами спортивных упражнений;

- максимальных и соразмерных нагрузке амплитудно-частотных и скоростных свойств и процессов нервно-мышечного аппарата, проявляемых в электрофизиологических, динамических и кинематических показателях при выполнении специальных нагрузочных проб.

3. Максимальные функциональные резервы срочной адаптации двигательной системы спортсменов при функциональных пробах субмаксимальной и максимальной мощности проявляются в увеличении силы и скорости мышечных сокращений с возрастанием амплитудных и частотных характеристик электроактивности мышц, уровень которых определяется мощностью силовых или скоростных упражнений и полом. При утомлении амплитудные и частотные характеристики снижаются.

4. Двигательные системы спортсменов специализируются и адаптируются к конкретным видам спортивной деятельности за счет имеющихся и развиваемых функциональных резервов сенсорных систем и нервно-мышечного аппарата. Соразмерное увеличение функций и количества взаимосвязей между структурными элементами системы позволяет проявлять спортсменам максимум двигательных качеств, что отражено в схеме функциональной двигательной системы стандартного ациклического спортивного движения.

5. Концепция функционирования двигательной системы человека при спортивной деятельности раскрывает составляющие элементы данной системы,

а также принципы их организации и взаимодействия для обеспечения наиболее эффективного выполнения движений в спорте.

**Внедрение.** Материалы внедрены в медико-биологическое сопровождение подготовки сборных команд России по тяжелой атлетике, боксу, самбо, сборной команды по боксу Московской области, в отделении спортивной медицины МЦ Юность ФФГБУ СКФНКЦ ФМБА России, что отражено в 8 актах внедрения.

Результаты работы в виде теоретических и методических материалов также реализованы в образовательных программах кафедр спортивной медицины и физиологии ФГБОУ ВО КГУФКСТ и ФГБОУ ВО УралГУФК, кафедры естественно-научных дисциплин ФГБОУ ВО СибГУФК.

### **Степень достоверности и апробация работы.**

Достоверность результатов исследования обеспечивается необходимым количеством данных обследования, репрезентативностью комплексного, всестороннего обследования спортсменов, обусловленного поставленными целями и задачами исследования, а также применением современных физиологических методов, кинематических и динамических методов анализа движений, методов математической и статистической обработки. Диссертация апробирована и рекомендована к защите на расширенном заседании Ученого совета ФГБУ СКФНКЦ ФМБА России, протокол №6 от 26 сентября 2024 года.

Материалы диссертации были доложены и обсуждены на XXII, XXV и XXVI Международных научных конгрессах «Олимпийский спорт и спорт для всех» (25-28.10.2018, Тбилиси; 15-17.10.2020, Минск; 8-10.09.2021, Казань); 2021 International Symposium on Biomedical Engineering and Computational Biology (BECB 2021) (13-15.08.2021); Международной конференции «Актуальные вопросы и поиск инновационных подходов в спортивной медицине и реабилитации» (10-11.11.2021, Ташкент); I Международной научно-практической (НП) конференции «Стратегия развития физического воспитания, спортивной тренировки, оздоровительной и адаптивной физической культуры» (15-17.11.2021, ТГУ имени Г.Р. Державина, Тамбов); Международной НП конференции «ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России: 75 лет на страже здоровья людей» (16-17.11.2021, Москва); VI и VIII Международных НП конференциях «Инновации в спорте, туризме и образовании» (Южно-Уральский ГУ, 2-3.12.2021 и 7-8.12.2023, Челябинск); IX и X Международных научно-практических конференциях «Безопасный спорт – 2022», «Безопасный спорт – 2023» (12-13.05.2022, Санкт-Петербург; 13.07.2023, Москва); IX Всероссийской с международным участием конференции по физиологии мышц и мышечной деятельности «Новые подходы к изучению классических проблем» (18-21.03.2019, Москва); IX и XI Всероссийских конгрессах с международным участием «Медицина для спорта 2019» и «Медицина для спорта – 2022» (25-26.04.2019, Москва; 9.06.2022, Москва); «СпортМед-2019» (5-6.12.2019, Москва); XII Всероссийской НП конференции с международным участием; «Физическая реабилитация и спортивная медицина: теория и практика» (23-24.05.2024, РУС «ГЦОЛИФК», Москва); VII НП конференции «Новые технологии в рекреации здоровья населения» (7-

8.10.2021, Владикавказ), V НП конференции «Достижения, проблемы и перспективы физической реабилитации» (Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского, 23.12.2021); Всероссийских НП конференциях «Спортивная медицина и реабилитация: традиции, опыт и инновации» (11.04.2023; 25.04.2024, Краснодар), Всероссийской НП конференции «Актуальные вопросы спортивной медицины, санаторно-курортного лечения и медицинской реабилитации социально значимых и профессионально обусловленных заболеваний» (16-19.10.2019, Сочи); 4-й и 5-й Всероссийских НП конференциях «День спортивной информатики» (4-5.12.2020, 3-4.12.2021, Москва); 4-ом конгрессе VitaRehabWeek-2020 «Современные технологии и оборудование для медицинской реабилитации, санаторно-курортного лечения и спортивной медицины» (13-14.10.2020, Челябинск); Всероссийской НП конференции с международным участием «Актуальные вопросы научно-методического обеспечения подготовки спортивного резерва в Российской Федерации» (19-20.11.2020, Казань); Всероссийской НП конференции, посвященной 50-летию УралГУФК (27-28.10.2020, Челябинск); IV, V и VII Всероссийских НП конференциях «Современные аспекты санаторно-курортного лечения, медицинской реабилитации и спортивной медицины» (27-28.10.2020; 7-8.10.2021; 16-17.11.2023, Ессентуки); Всероссийской с международным участием НП конференции «Цифровая трансформация физкультурного образования и сферы физической культуры и спорта» (19-20.10.2023, Ижевск).

**Личное участие автора в получении научных результатов.** Личный вклад соискателя заключается в непосредственном участии на всех этапах планирования и выполнения работы. Диссертантом были определены цель и задачи исследования, объем и методы исследования, проведен сбор и анализ научных публикаций по теме исследования, разработана концепция. В ходе выполнения работы диссертантом лично были разработаны автоматизированные информационно-аналитические системы. При реализации исследования соискатель осуществлял научное сопровождение обследований спортсменов, проводил сбор, систематизацию и анализ полученных данных.

**Соответствие содержания диссертации паспорту научной специальности.** Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 1.5.5 – Физиология человека и животных (биологические науки) по области исследования «Исследование закономерностей функционирования основных систем организма» (п. 3), «Исследование механизмов сенсорного восприятия и организации движений» (п. 4), «Изучение физиологических механизмов адаптации человека к различным географическим, экологическим, трудовым и социальным условиям» (п. 8), «Разработка новых методов исследований функций животных и человека» (п. 10).

**Легитимность исследования.** Все участники исследования дали информированное согласие на их включение в группы обследования в соответствии с Хельсинкской декларацией Всемирной медицинской ассоциации (WMA Declaration of Helsinki, 2013), а также письменное разрешение на обработку персональных данных. Исследование было комплексным, поэтому одобрено несколькими отдельными протоколами локального этического комитета ФГБУ СКФНКЦ ФМБА России по

выполняемым НИР в 2017-2023 г., представленный в работе дизайн исследования утвержден протоколом № 2 от 29.01.2021 г.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 47 работ, в том числе 14 статей, входящих в Scopus, 14 – в журналах, включённых в Перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК Российской Федерации по специальности 1.5.5, 2 монографии, 6 патентов, 11 свидетельств на интеллектуальную собственность.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация имеет традиционную структуру, состоит из разделов: общая характеристика работы, обзор литературы, главы методов и организации исследования, пяти глав результатов исследований, главы обсуждения, выводов, практических рекомендаций, списка литературы, приложений. Работа изложена на 339 страницах, содержание работы иллюстрируют 80 рисунков и 97 таблиц. Список литературы включает 340 источников, из которых 140 – иностранных.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

### **Материалы и методы исследования**

На базе Центра медико-биологических технологий ФГБУ СКФНКЦ ФМБА России были проведены комплексные исследования двигательной системы спортсменов, включающие 5 этапов: теоретико-методологический, организационно-методический, научно-технический, научно-исследовательский, аналитико-синтетический. Схема дизайна исследования представлена на рисунке 1.

В исследовании приняли участие спортсмены различных видов спорта высокой квалификации (члены сборных и клубных команд России) в подготовительный период подготовки, мужчины и женщины, занимающиеся физической культурой (не занимающиеся спортом – в качестве контрольной группы). Совокупная выборка включала 761 представителя мужского пола и 519 женского пола. Исследования проводились в рамках НИР с 2017 по 2023 год у всех спортсменов в подготовительный период тренировочного процесса и не были привязаны к сезону года, в первую половину дня на территории ФГБУ «Юг Спорт» г. Кисловодска.

Состав групп спортсменов и методики их обследования соответствовали целям и задачам выполняемых НИР ФМБА России и Министерства спорта России, номера и наименования которых представлены выше. Указанные условия определяли выборку обследованных, а задачи и методы настоящего исследования определялись самостоятельно.

Критериями для включения спортсменов в исследование являлись специализация спортсмена, допуск к тренировкам, систематические занятия спортом, высокая квалификация, добровольное информированное согласие на включение в группы обследования в соответствии с Хельсинкской декларацией Всемирной медицинской ассоциации, письменное разрешение на обработку персональных данных. Критерии невключения: острые патологические состояния и травмы, прием медицинских препаратов и БАДов во время эксперимента, отказ испытуемого от участия в исследовании, повреждение кожных покровов в местах наложения электродов при ЭМГ-исследовании.

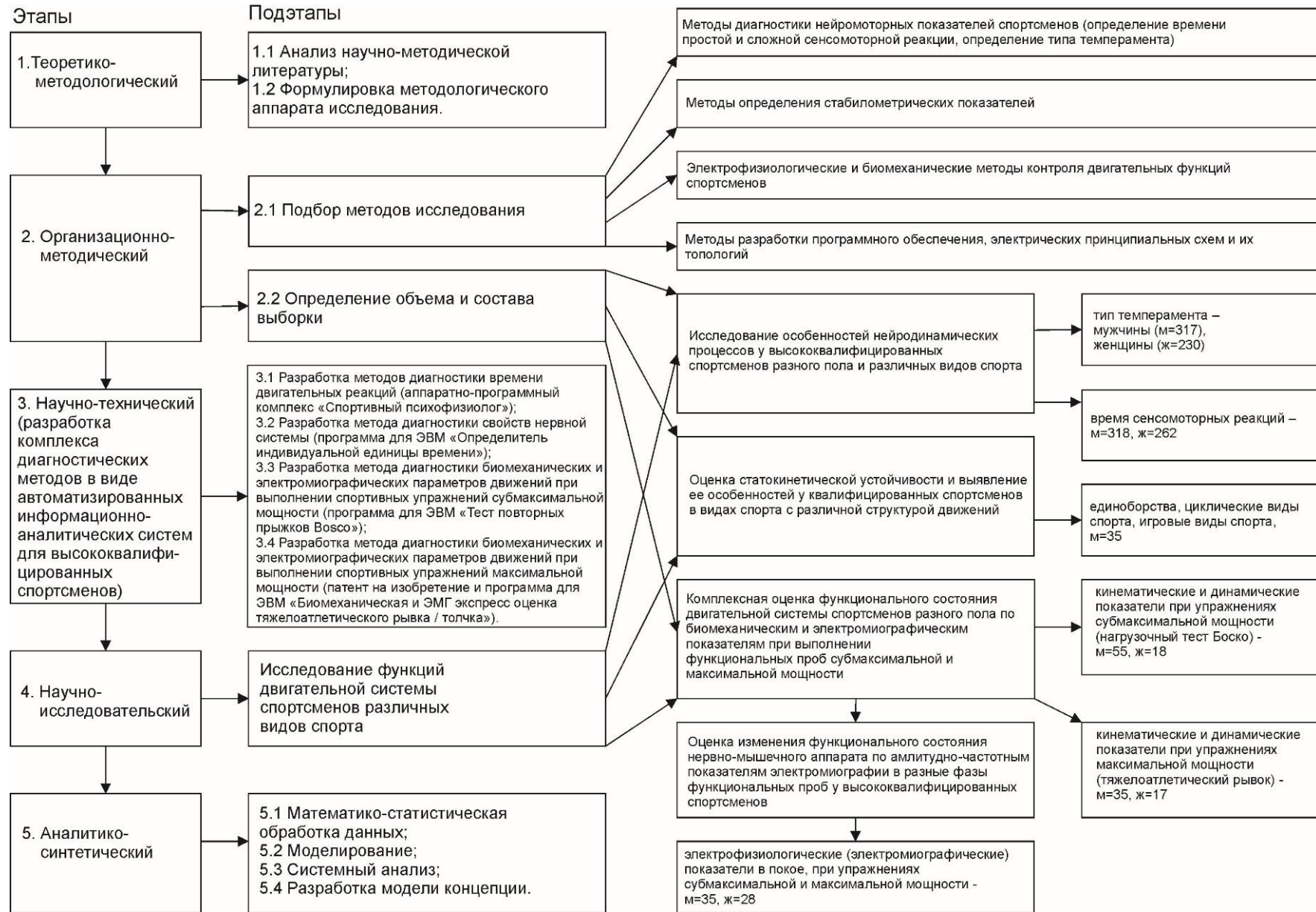


Рисунок 1 – Схема дизайна исследования

**Нейродинамические характеристики (реакционные способности и свойства нервной системы (НС))** определяли с помощью аппаратно-программных комплексов (АПК) «Спортивный психофизиолог» и «Vienna Test System» (Schuhfried company, Австрия), программы для ЭВМ «Определитель индивидуальной единицы времени». Использовались тесты простой и сложной зрительно-моторной реакции, в том числе с определением их компонентов, тест на определение индивидуальной единицы времени (ИЕВ).

**Исследование стабилметрических показателей** выполнялось с помощью тензодинамометрических платформ на системе «Smart BTS Motion System» (BTS S.p.A., Милан, Италия), применялся протокол «Static analysis». Определялись мышечный баланс левой и правой половины тела при стоянии, распределение веса тела, перемещение центра тяжести тела в сагиттальном и фронтальном направлении, распределение веса тела на каждую стопу.

**Особенности долговременной адаптации НМА спортсменов** определяли с использованием методики стимуляционной электронейромиографии (ЭНМГ) с помощью 4-х канального АПК «Нейро-МВП», («Нейрософт», г. Иваново). Методика заключалась в регистрации моторных ответов (М-ответов) с короткого разгибателя пальцев стопы (*Extensor digitorum brevis*), иннервируемой глубоким малоберцовым нервом (n. *Peroneus*) (Николаев, 2010).

**Электрофизиологический и биомеханический контроль движений** проводили на системе «Smart BTS Motion System» (BTS S.p.A., Милан, Италия) – это система видеоанализа, работающая в комплексе с ЭМГ-устройствами и силовыми платформами. В целях анализа движений для системы «Smart BTS Motion System» нами разработаны физиологические методы диагностики биомеханических и электромиографических (ЭМГ) параметров движений при выполнении функциональных проб субмаксимальной и максимальной мощности в виде программ для электронно-вычислительных машин (ЭВМ).

**Статистический анализ экспериментальных данных** производился с помощью программы «Statistica 13.0». Для характеристики показателей вычислялись средняя арифметическая ( $M$ ) и среднее квадратичное отклонение ( $\delta$ ), медиана и квартили. Для сравнения и анализа данных применялись непараметрические критерии: Краскела-Уоллиса, Фридмана, Ньюмена-Кейлса и Данна для межгрупповых сравнений, U-критерий Манна-Уитни. Для оценки взаимосвязей использовали корреляционный анализ Спирмена. Критический уровень значимости ( $P$ ) при проверке статистических гипотез принимался за 0,05. Для описания связей между биомеханическими и электрофизиологическими параметрами использовали регрессионный анализ (простые одномерные линейные модели и метод наименьших квадратов).

## Результаты собственных исследований и их обсуждение

**1. Разработка комплекса физиолого-биомеханических методов для функциональной диагностики высококвалифицированных спортсменов. Разработка физиологических методов диагностики времени двигательных реакций.** Для функциональной диагностики спортсменов разработан АПК «Спортивный психофизиолог», который включает аппаратную и программную части (свидетельство на программу для ЭВМ №2010617789; 24.11.2010). Аппаратная часть представляет собой пульт с датчиками и светодиодами, устройство для выполнения тестов, осуществляемых через зрительную сенсорную систему в виде трубы со светодиодами, педаль и наушники. Всего АПК включает 20 психофизиологических и 18 психологических тестов. Отличительной особенностью АПК является: 1) критерии оценки нейромоторных способностей (время сенсомоторной реакции, теппинг-тест) как верхних, так и нижних конечностей спортсменов, 2) способы реализации тестов (форма предъявляемых сигналов, последовательность их предъявления, формат представления результатов); 3) точность определения результатов и скорость их получения по сравнению с аналогами; 4) наличие совокупности авторских тестов на определение способности оценивать пространственные параметры.

**Разработка физиологического метода диагностики свойств НС.** Программа для ЭВМ в авторской интерпретации «Определитель индивидуальной единицы времени» позволяет определить ИЕВ, тип темперамента, свойства НС, особенности поведения (свидетельство о регистрации программы для ЭВМ №2015615543; 23.06.2005). Тест построен на запоминании одновременно светового и звукового стимула длительностью от 2000 до 6000 мс, появляющихся в случайном порядке. Испытуемый воспроизводит интервалы, заполненные стимулом, с помощью нажатий кнопок на клавиатуре компьютера. Отличительными особенностями данной методики являются способ реализации в виде программы для ЭВМ, форма предъявляемых к запоминанию и воспроизведению сигналов, точность определения результатов и скорость их получения по сравнению с аналогами, простота применения (ранее при определении ИЕВ использовали методику с использованием ручного механического секундомера (Цуканов, 2000)). Критерии оценки:  $0,69 < \tau < 0,79$  – холерический темперамент;  $0,79 < \tau < 0,87$  – сангвинический темперамент;  $0,87 < \tau < 0,94$  – равновесный сангвинический темперамент;  $0,94 < \tau < 1,01$  – меланхолический темперамент;  $1,01 < \tau < 1,11$  – флегматический темперамент.

**Физиологический метод диагностики биомеханических и ЭМГ параметров движений при выполнении спортивных упражнений субмаксимальной мощности.** Функциональная проба в авторской интерпретации «Спортивный нагрузочный тест повторных прыжков Bosco» (ФПВ) использует в качестве прототипа тест Repeat Jump (максимальные выпрыгивания вверх с отталкиванием 2-х ног в течение 60 с) (Bosco, 1983; Altavilla, 2019; Kheiredine et al., 2021). Данный тест в оригинальной версии прототипа не использует никаких технических средств, кроме секундомера, что



не позволяет получить физиологические данные. Разработанная нами ФПВ выполняется на двух тензодинамометрических платформах с записью восьми электрофизиологических сигналов с помощью беспроводной ЭМГ с дальнейшим автоматизированным анализом тензодинамометрических и ЭМГ-данных (внешних параметров прыжка и внутренних физиологических процессов, характеризующих работу НМА) (свидетельство о регистрации программы для ЭВМ №2021619879, 18.06.2021). В программе ФПВ регистрируются и анализируются следующие показатели: максимальная сила отталкивания перед прыжком для каждого 15-секундного интервала прыжков, средняя удельная мощность, средняя высота прыжка, максимальная высота прыжка, количество прыжков за период, электрофизиологические параметры (средняя и максимальная амплитуда, доминирующая (пиковая), средняя и медианная частота ЭМГ) прямой мышцы бедра, двуглавой мышцы бедра, длинной малоберцовой мышцы, икроножной мышцы (на каждой ноге) за периоды 0-15 с, 15-30 с, 30-45 с, 45-60 с. При необходимости возможен анализ других мышц (до 8 шт.). Рассчитываются индекс утомления, максимальная и средняя сила отталкивания, максимальная мощность и силовая выносливость. Аналоги данной методики отсутствуют.

**Физиологический метод диагностики биомеханических и ЭМГ-параметров движений при выполнении спортивных упражнений максимальной мощности.** Для проведения тестирования и высокоточной синхронной регистрации и обработки кинематических, динамических, ЭМГ-параметров движений при выполнении функциональных проб максимальной мощности (тяжелоатлетических упражнений) нами разработаны программы для ЭВМ: «Биомеханическая и электромиографическая экспресс-оценка тяжелоатлетического рывка» и «Биомеханическая и электромиографическая экспресс-оценка тяжелоатлетического толчка». Они позволяют осуществить экспресс-оценку биомеханических и ЭМГ-параметров соревновательных тяжелоатлетических упражнений (патент на изобретение №2756567 С1, 01.10.2021; свидетельства о регистрации программ для ЭВМ №2020660143, 28.08.2020 и № 2020660142, 28.08.2020). Программы регистрируют и отражают в протоколах временные, силовые, скоростные показатели, показатели расстояния, кинематики, мощности, а также электрофизиологические параметры (средняя и максимальная амплитуда ЭМГ мышцы, доминирующая (пиковая), средняя и медианная частота ЭМГ мышцы) левой и правой трапецевидной мышцы, левой и правой четырёхглавой мышцы бедра, левой и правой двуглавой мышцы бедра, левой и правой икроножной мышцы. Возможен анализ других мышц (до 8 шт.). Аналоги данной методики отсутствуют.

## **2. Нейродинамические характеристики высококвалифицированных спортсменов разного пола и различных видов спорта**

Исследования свойств НС спортсменов высокой квалификации показывают, что по средним значениям ИЕВ все спортсмены принадлежали к одному типу темперамента – сангвиническому (сангвиник и равновесный сангвиник) и характеризовались следующими характеристиками НС: высокой

экстраверсией и нейротизмом, высоким уровнем возбуждения и торможения, уравновешенностью возбуждения и торможения. Между всеми группами спортсменов величины ИЕВ статистически значимо различались ( $P < 0,01$ ). При анализе распределения высококвалифицированных спортсменов по принадлежности к типу НС без разделения по полу, используя классификацию движений в спорте по В.С. Фарфелю, выявлено, что доля сангвиников в циклических видах спорта ( $n=44$ ) составила 70,5%, в ациклических видах количественного значения ( $n=147$ ) – 66,0%, в ситуационных видах ( $n=258$ ) – 69,8%, в ациклических видах качественного значения ( $n=93$ ) – 73,1%. Представленные данные дополняют физиологическую характеристику спортсменов высших достижений (уровня сборной России) как лиц с сильной уравновешенной и подвижной НС. Использование для оценки типа темперамента спортсменов теста, основанного на физиологических процессах восприятия, в основе которых лежат рецепторные механизмы звукового и слухового восприятия, динамика процессов возбуждения и торможения, открывает новые возможности для физиологов по определению совокупности психодинамических задатков спортсменов.

Время сенсомоторной реакции является фактором, лимитирующим результативность во многих видах спорта. Показатели времени простой ( $P < 0,05$ ) и сложной ( $P < 0,01$ ) сенсомоторных реакций различались между всеми группами спортсменов. Анализ полученных данных в аспекте физиологической классификации спортивных упражнений, учитывающей структуру движений и проявляемое физическое качество, позволил выделить уровни проявления простой сенсомоторной реакции, а, следовательно, и нейродинамических характеристик у высококвалифицированных спортсменов, представленные на рисунке 2. По величинам и уровню сложной реакции выбора определены другие физиологические характеристики видов спорта (рисунок 3). Наилучшие показатели сенсомоторных реакций среди всех спортсменов проявляют каратисты. Мужчины от женщин отличаются лучшими величинами простой сенсомоторной реакции (м. 0,260 (0,237; 0,280) с, ж. 0,266 (0,247; 0,288) с).

Спортсмены различных видов спорта по показателям сенсорного компонента статистически значимо не различались. Различия выявлены во всех группах по величинам моторного компонента времени как простой, так и сложной сенсомоторной реакции (таблица 1). Наилучшие (наименьшие) значения моторного времени реакции выявлены у каратистов.

Структура движений	Стандартные					Ситуационные (нестандартные)			
	Циклические		Ациклические			Скоростные качества	Точность	Скоростно-силовые качества	Сила
Проявляемое качество	Выносливость, быстрота	Сила	Точность	Скоростно-силовые качества	Сила				
Виды спорта	плавание м. 0,220 (0,198; 0,230), ж. 0,287 (0,260; 0,292), лыжные гонки м. 0,233 (0,228; 0,241) ж. 0,247 (0,223; 0,328), шорт-трек м. 0,233 (0,198; 0,237), легкая атлетика м. 0,233 (0,220; 0,260) ж. 0,253 (0,229; 0,278), триатлон м. 0,256 (0,251; 0,265) ж. 0,260 (0,232; 0,274)	гиревой спорт м. 0,244 (0,220; 0,276), гребля на байдарках и каноэ м. 0,284 (0,259; 0,308)	стендовая стрельба м. 0,268 (0,245; 0,280), ж. 0,258 (0,250; 0,290), пулевая стрельба м. 0,267 (0,256; 0,281), ж. 0,276 (0,260; 0,284), стрельба из арбалета м. 0,261 (0,245; 0,285), худ. гимнастика ж. 0,272 (0,258; 0,290), тяжелая атлетика ж. 0,258 (0,234; 0,274)	пауэрлифтинг м. 0,263 (0,240; 0,285), тяжелая атлетика м. 0,310 (0,280; 0,330)		карате м. 0,221 (0,212; 0,241), ж. 0,218 (0,210; 0,246)	керлинг м. 0,274 (0,272; 0,279), ж. 0,283 (0,257; 0,314)	хоккей 0,240 (0,223; 0,272), футбол 0,238 (0,218; 0,288), бокс м. 0,251 (0,235; 0,276), ж. 0,266 (0,249; 0,289), бадминтон м. 0,268 (0,264; 0,276) ж. 0,279 (0,249; 0,319), кикбоксинг м. 0,266 (0,258; 0,277) с. ж. 0,273 (0,262; 0,285), борьба м. 0,262 (0,242; 0,284), настольный теннис м. 0,269 (0,265; 0,287), сумо ж. 0,278 (0,271; 0,299)	сумо м. 0,283 (0,272; 0,311)
Уровень	1	2	2	2	3	1	2	2	3

Рисунок 2 – Схема классификация видов спорта по величинам времени простой сенсомоторной реакции, уровню 1 соответствуют минимальные значения времени простой сенсомоторной реакции, уровню 2 – средние, уровню 3 – максимальные, м. – мужчины, ж. – женщины (патент на промышленный образец №136767, 23.05.2023)

Таблица 1 – Показатели компонентов и характеристик времени сложной сенсомоторной реакции для мужчин-спортсменов, с, Me (Q1; Q3)

№ п/п	Группы (n)	Общее время реакции	Сенсорное время	Моторное время*
1	Вольная борьба (11)	0,391 (0,327; 0,413)	0,246 (0,228; 0,295)	0,109 (0,097; 0,139)
2	Карате (17)	0,332 (0,291; 0,364)	0,230 (0,205; 0,265)	0,093 (0,082; 0,109)
3	Триатлон (5)	0,418 (0,351; 0,434)	0,244 (0,220; 0,278)	0,152 (0,107; 0,156)
4	Футбол (10)	0,401 (0,346; 0,420)	0,264 (0,232; 0,279)	0,127 (0,102; 0,157)
5	Гребля на байд-х и каноэ (8)	0,393 (0,351; 0,415)	0,258 (0,233; 0,285)	0,125 (0,110; 0,131)
6	Стендовая стрельба (11)	0,381 (0,298; 0,437)	0,271 (0,210; 0,311)	0,104 (0,078; 0,126)
7	Кикбоксинг (20)	0,382 (0,345; 0,412)	0,258 (0,202; 0,284)	0,136 (0,112; 0,154)
№ групп, различающихся по критерию Данна, $P < 0,05$		-	-	2-7
Различия U-критерию Манна-Уитни, $P < 0,05$		1-2**, 2-4**, 2-5**, 2-7**	-	2-5**, 2-7**

Примечание: Значимость различий рассчитана критериями Краскела-Уоллиса (\* –  $P < 0,03$ ) и Данна. \*\* –  $P < 0,05$  по U-критерию Манна-Уитни (различия статистически значимы между группами).

Структура движений	Стандартные					Ситуационные (нестандартные)		
	Циклические		Ациклические			Скоростно-силовые качества	Точность	Сила
Проявляемое качество	Быстрота, сила	Выносливость	Скоростно-силовые качества	Точность	Сила			
Виды спорта	плавание м. 0,345 (0,274; 0,416), ж. 0,390 (0,368; 0,430), шорт-трек м. 0,388 (0,330; 0,423), легкая атлетика м. 0,403 (0,296; 0,445), ж. 0,359 (0,309; 0,399), гиревой спорт м. 0,406 (0,328; 0,438), гребля на байдарках и каноэ м. 0,364 (0,339; 0,384), лыжные гонки м. 0,375 (0,330; 0,418) ж. 0,414 (0,384; 0,440), триатлон м. 0,418 (0,351; 0,434) ж. 0,374 (0,343; 0,400)	худ. гимнастика ж. 0,272 (0,258; 0,290), тяжелая атлетика ж. 0,382 (0,342; 0,408)	стендовая стрельба м. 0,370 (0,329; 0,402) ж. 0,376 (0,349; 0,430), пулевая стрельба м. 0,382 (0,359; 0,400) ж. 0,362 (0,347; 0,383), стрельба из арбалета м. 0,393 (0,384; 0,403) ж.	пауэрлифтинг м. 0,380 (0,360; 0,390), тяжелая атлетика м. 0,437 (0,383; 0,465)	карате м. 0,332 (0,291; 0,364) ж. 0,325 (0,305; 0,371), бадминтон м. 0,315 (0,309; 0,341) ж. 0,320 (0,300; 0,342), кикбоксинг м. 0,347 (0,331; 0,378) ж. 0,376 (0,337; 0,410), хоккей м. 0,357 (0,313; 0,385), футбол м. 0,371 (0,363; 0,386), бокс м. 0,376 (0,335; 0,424) ж. 0,389 (0,358; 0,418), греко-римская борьба м. 0,370 (0,308; 0,396), настольный теннис м. 0,367 (0,352; 0,389), сумо ж. 0,374 (0,329; 0,415)	керлинг м. 0,385 (0,376; 0,392) ж. 0,362 (0,345; 0,403)	сумо м. 0,450 (0,399; 0,466)	
Уровень	2	3	2	2	3	1	2	3

Рисунок 3 – Схема классификации видов спорта по величинам времени сложной сенсомоторной реакции выбора, уровню 1 соответствуют минимальные значения времени простой сенсомоторной реакции, уровню 2 – средние, уровню 3 – максимальные, м. – мужчины, ж. – женщины

**3. Исследование статокINETической устойчивости у квалифицированных спортсменов в видах спорта с различной структурой движений:** легкая атлетика (бег: средние дистанции), единоборства и футбол – выявило значимые различия, показывающие лучшие результаты у легкоатлетов (наклон вектора силы реакции опоры во фронтальной проекции, левая нога -3,95 (-5,40; -3,10), правая -3,65 (-5,10; -2,80) °), по сравнению с единоборцами по показателям наклона вектора силы реакции опоры в фронтальной проекции (левая нога -5,30 (-5,50; -4,30), правая нога -5,00 (-5,60; -4,40) °). Показатели расстояния между центрами стоп были больше у единоборцев – 360,1 (318,9; 386,0) мм; у легкоатлетов – 318,85 (283,10; 369,00) мм, футболистов – 318,6 (301,3; 328,8) мм. Показатели смещения центра тяжести были наоборот лучше у легкоатлетов (общая длина траектории проекции центра тяжести у единоборцев – 365,1 (329,6; 439,5) мм; у легкоатлетов – 263,5 (211,6; 301,6) мм, у футболистов – 394,7 (239,6; 538,1) мм) (рисунок 4). Таким образом, лучшие показатели статокINETической устойчивости отмечаются у легкоатлетов, что связано с совершенствованием процессов поддержания устойчивой рабочей

позы, лежащей в основе двигательного динамического стереотипа двигательного навыка. Большие смещения центра тяжести отмечаются у единоборцев, что можно объяснить большей его динамикой и формированием вариативных и лабильных механизмов, направленных на удержание позы. Показатели углового отклонения лучше у футболистов, что связано с тренировкой вестибулярной системы в процессе игры. Следовательно, статокINETические характеристики спортсменов определяются спецификой и динамикой двигательных действий.



Рисунок 4 – Некоторые показатели статокINETической устойчивости у легкоатлетов, единоборцев и футболистов мужского пола

**4. Биомеханические характеристики функционального состояния двигательной системы спортсменов разного пола при выполнении функциональной пробы субмаксимальной мощности.** Исследование кинематических и динамических параметров многократных прыжковых движений с помощью ФПВ выявило, что среди спортсменов с различной структурой движений наибольшая скоростно-силовая выносливость по индексу утомления ( $P < 0,05$ ) выявлена у спортсменов-фехтовальщиков (1,35 (1,33; 1,61) у.е.) и единоборцев (1,52 (1,29; 2,23) у.е.), затем следуют легкоатлеты (1,56 (1,38; 1,81) у.е.) и футболисты (1,69 (1,38; 2,15) у.е.), меньшие характеристики скоростно-силовой выносливости у занимающихся кроссфитом (1,98 (1,50; 2,59) у.е.) и волейболом (2,26 (2,01; 2,64) у.е.). Выявлены половые различия параметров: мужчины имеют более высокие показатели максимальной силы отталкивания перед прыжком (мужчины – 1971,0 (1729,1; 2261,1) Н, женщины – 1410,9 (1262,7; 1556,7) Н,  $P < 0,05$ ) и максимальной высоты прыжка в третьем периоде пробы (19 (16; 26) см, 14 (11; 17) см,  $P < 0,05$ ), меньший индекс утомления (мужчины – 1,56 (1,38; 1,81) у.е., женщины – 2,15 (1,53; 2,83) у.е.).

**5. Биомеханические характеристики функционального состояния двигательной системы спортсменов разного пола при выполнении функциональной пробы максимальной мощности.** Анализ кинематических и динамических характеристик двигательных действий при выполнении тяжелоатлетических упражнений выявил различия, связанные с полом и весовыми категориями. Например, амплитуда сгибания правого коленного сустава у мужчин- и женщин-тяжелоатлетов была схожа, но в фазу тяги 1.2 статистически значимо была больше у мужчин, а в фазу подседа 3.2 – у женщин (рисунок 5).

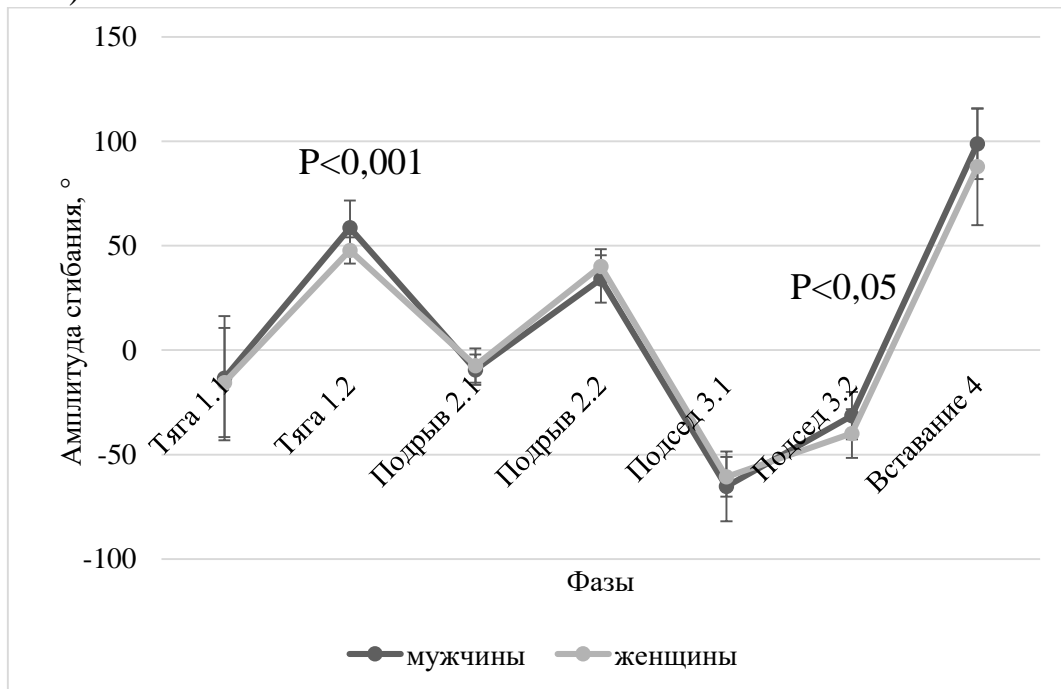


Рисунок 5 – Амплитуда сгибания правого коленного сустава в рывке у мужчин- и женщин-тяжелоатлетов, P – по U-критерию Манна-Уитни.

По показателям вертикальной составляющей усилия на опору двумя ногами в граничный момент между фазами движения в рывке мужчины превосходят женщин по всем фазам. Это же выявлено при анализе показателей максимального, среднего и минимального значения вертикальной составляющей усилия на опору.

По скоростно-силовым показателям – максимальной скорости увеличения вертикальной составляющей усилия на опору – мужчины превосходили женщин во всех фазах рывка (таблица 2).

Таблица 2 – Максимальная скорость увеличения вертикальной составляющей усилия на опору двумя ногами в рывке у тяжелоатлетов, кг/с

№ п/п	Фазы	Мужчины (n=25)	Женщины (n=16)	P<
1	Тяга 1.1	609,1 (483,0; 833,0)	409,3 (248,0; 508,5)	0,007
2	Тяга 1.2	257,5 (194,4; 513,6)	132,0 (81,1; 276,5)	0,005
3	Подрыв 2.1	1461,0 (967,0; 1807,0)	822,1 (746,0; 947,6)	0,007
4	Подрыв 2.2	691,0 (303,0; 810,0)	496,2 (348,5; 593,3)	-
5	Подсед 3.1	5625,0 (5011,0; 8878,0)	4499,5 (4089,5; 6974,0)	-
6	Подсед 3.2	908,0 (609,3; 2189,0)	425,0 (369,1; 585,3)	0,001
7	Вставание 4	485,2 (328,0; 632,7)	255,6 (207,5; 362,0)	0,001

Примечание: Различия (P) по U-критерию Манна-Уитни достоверны между группами (мужчинами и женщинами). Данные описаны в виде медиан и квартилей.

**6. Электрофизиологические характеристики мышц нижних конечностей спортсменов при выполнении функциональной пробы субмаксимальной мощности.** Исследование показателей электроактивности мышц при выполнении ФПВ у женщин, занимающихся боксом, показало, что наибольшие кинетические и кинематические параметры ФПВ были в 1 период, в этот же период выявлена наибольшая электроактивность мышц (как максимальные, так и средние амплитуды ЭМГ): прямой мышцы бедра, длинной малоберцовой и икроножной мышцы (таблица 3), что свидетельствует о максимальной активации и синхронизации двигательных единиц (ДЕ) исследуемых мышц ног. От периода к периоду, к окончанию ФПВ величины данных показателей снижались, по-видимому вследствие развития утомления. Одновременно с этим на протяжении теста снижение электрической активности в мышцах левой ноги наблюдалось в меньшей степени, чем в правой. Следовательно, по мере развития утомления в правой ноге для обеспечения требуемого уровня мощности и количества повторений берет на себя нагрузку другая конечность – левая нога, что является проявлением физиологического эффекта компенсированного утомления. Снижение частотных характеристик ЭМГ (доминирующая пиковая частота, средняя и медианная частоты) имело такую же тенденцию, как и амплитудных.

Динамика показателей электроактивности ведущих мышц нижних конечностей, обеспечивающих прыжковые движения в период выполнения теста многократных прыжков, позволяет охарактеризовать локальные физиологические процессы, обуславливающие проявление функциональных возможностей и состояния утомления.

Таблица 3 – Физические и электрофизиологические показатели (средние значения амплитуд) женщин-боксеров (n=9) при выполнении функциональной пробы «Спортивный нагрузочный тест повторных прыжков Bosco»

Показатели теста по 15-секундным периодам	Показатели теста				Средние по модулю величины электроактивности, мВ							
					Прямая мышца бедра		Двуглавая мышца бедра		Длинная малоберцовая мышца		Икроножная мышца	
	Мощность, Вт/кг	Высота прыжка средняя, м	Высота прыжка макс., м	Кол-во прыжков	П	Л	П	Л	П	Л	П	Л
Перед тестом (в покое)	-	-	-	-	0,002 (0,002; 0,003)	0,002 (0,002; 0,008)	0,003 (0,002; 0,003)	0,004 (0,002; 0,008)	0,008 (0,007; 0,013)	0,009 (0,007; 0,011)	0,01 (0,007; 0,013)	0,005 (0,004; 0,01)
1 период	13,76 (12,80; 13,96)	0,179 (0,164; 0,183)	0,196 (0,186; 0,196)	13 (13; 14)	0,173 (0,143; 0,178)	0,133 (0,123; 0,154)	0,071 (0,06; 0,078)	0,069 (0,054; 0,087)	0,086 (0,079; 0,113)	0,111 (0,083; 0,139)	0,081 (0,065; 0,111)	0,095 (0,083; 0,096)
2 период	11,64 (11,55; 11,9)	0,147 (0,135; 0,160)	0,168 (0,159; 0,177)	13 (12; 14)	0,158 (0,142; 0,174)	0,131 (0,121; 0,141)	0,063 (0,054; 0,071)	0,063 (0,052; 0,079)	0,086 (0,069; 0,096)	0,1 (0,074; 0,146)	0,073 (0,063; 0,1)	0,083 (0,079; 0,09)
3 период	9,89 (9,2; 10,59)	0,135 (0,103; 0,136)	0,142 (0,118; 0,168)	14 (11; 16)	0,144 (0,122; 0,147)	0,121 (0,093; 0,125)	0,051 (0,049; 0,057)	0,052 (0,04; 0,077)	0,077 (0,072; 0,093)	0,105 (0,078; 0,13)	0,075 (0,066; 0,098)	0,079 (0,075; 0,109)
4 период	9,11 (7,73; 9,29)	0,108 (0,083; 0,120)	0,118 (0,096; 0,133)	11 (11; 12)	0,15 (0,11; 0,156)	0,135 (0,084; 0,143)	0,051 (0,046; 0,054)	0,052 (0,045; 0,066)	0,074 (0,065; 0,097)	0,096 (0,07; 0,12)	0,072 (0,069; 0,085)	0,075 (0,07; 0,092)
P<	0,001** (-)	0,001** (1-3, 1-4)	0,001** (1-4)	-	0,001* (0- 1,2,3,4; 1-4) 0,001** (-)	0,001* (0- 1,2,3,4)	0,001* (0- 1,2,3,4) 0,001**(-)	0,001* (0- 1,2,3,4) 0,001**(-)	0,001* (0- 1,2,3,4)	0,001* (0- 1,2,3,4)	0,001* (0- 1,2,3,4)	0,001* (0- 1,2,3,4)

Примечание: П – правая нога, Л – левая нога. Значимость различий рассчитана критериями Фридмана (\* – между покоем и периодами пробы, \*\* – между периодами пробы) и Ньюмена-Кейлса (достоверные различия между группами с P<0,05). Различия (P) по U-критерию Манна-Уитни не достоверны между правыми и левыми мышцами. Данные описаны в виде медиан и квартилей. Электрофизиологические показатели определялись непосредственно во время прыжка (перед отрывом от поверхности), электрофизиологические показатели перед тестом (в покое) определялись при стоянии на тензоплатформе за несколько секунд до серии прыжков.



**7. Электрофизиологические характеристики мышц у тяжелоатлетов при выполнении функциональной пробы максимальной мощности (упражнение рывок).** Сравнение показателей поверхностной ЭМГ (частот и амплитуд) трапециевидной мышцы, латеральной широкой мышцы бедра, двуглавой мышцы бедра в состоянии относительного покоя (перед упражнением) не выявило статистически значимые различия между мужчинами и женщинами-тяжелоатлетами. Анализ динамики в разные фазы и сравнение показателей значений амплитудных и частотных характеристик ЭМГ при выполнении тяжелоатлетического рывка выявили, что показатели амплитуды ЭМГ левой трапециевидной мышцы у мужчин-тяжелоатлетов по сравнению с женщинами были больше (соответственно мужчины-женщины максимальная амплитуда, мВ: в фазе тяги 1.1 – 1,45 (0,855; 1,884), 0,807 (0,572; 1,185),  $P < 0,05$ ; в фазе тяги 1.2 – 1,95 (1,093; 2,499), 1,194 (0,986; 1,574),  $P < 0,05$ ; в фазе подрыва 2.1 – 1,701 (1,179; 2,207), 1,181 (0,707; 1,385),  $P < 0,05$ ; подрыва 2.2 – 1,864 (1,23; 2,447), 1,084 (0,757; 1,467),  $P < 0,05$ ), средней амплитуды ЭМГ правой трапециевидной мышцы – в фазы тяги 1.1 и 1.2 (соответственно мужчины-женщины, мВ: тяга 1.1 – 0,172 (0,09; 0,263), 0,074 (0,054; 0,115),  $P < 0,01$ ; тяга 1.2 – 0,465 (0,33; 0,578), 0,199 (0,128; 0,244),  $P < 0,001$ ). Максимальная амплитуда ЭМГ правой трапециевидной мышцы была выше у мужчин в фазы тяги 1.1 и 1.2 и подседа 3.1 (таблица 4).

Таблица 4 – Максимальная амплитуда ЭМГ правой трапециевидной мышцы в рывке у мужчин- и женщин-тяжелоатлетов, мВ

№ п/п	Фазы	Мужчины (n=19)	Женщины (n=13)	P<
1	Подготовка (принятие позы)	0,134 (0,049; 0,467)	0,072 (0,059; 0,101)	-
2	Тяга 1.1	1,448 (1,024; 2,303)	0,627 (0,527; 0,951)	0,01
3	Тяга 1.2	1,895 (1,502; 2,415)	0,975 (0,647; 1,109)	0,01
4	Подрыв 2.1	1,277 (0,666; 1,872)	1,156 (0,8; 1,402)	-
5	Подрыв 2.2	1,554 (0,979; 2,318)	1,098 (0,871; 2,12)	-
6	Подсед 3.1	2,489 (2,106; 2,955)	1,792 (1,588; 2,149)	0,01
7	Подсед 3.2	3,052 (2,144; 3,858)	2,465 (2,063; 3,246)	-
8	Вставание 4	3,06 (1,635; 3,951)	3,143 (1,936; 3,237)	-

Примечание: Различия (P) по U-критерию Манна-Уитни достоверны между группами (мужчинами и женщинами). Данные описаны в виде медиан и квартилей.

По показателям частоты ЭМГ в фазу подседа 3.2 у женщин были выявлены статистически значимые большие значения доминирующей (пиковой) частоты (соответственно мужчины-женщины, Гц: слева – 58,01 (45,18; 71,43), 71,14 (67,14; 79,88),  $P < 0,05$ ; справа – 50,97 (34,16; 74,53), 72,03 (69,25; 76,32),  $P < 0,02$ ) и медианной частоты (соответственно мужчины-женщины, Гц: слева – 67,05 (65,22; 74,53), 75,56 (69,18; 80,34),  $P < 0,05$ ) ЭМГ левой и правой трапециевидной мышцы. В фазу вставания у женщин была больше средняя частота ЭМГ правой трапециевидной мышцы (соответственно мужчины-женщины, Гц: 67,26 (60,85; 72,33), 74,28 (72,43; 78,83),  $P < 0,01$ ).

Сравнение показателей средней амплитуды ЭМГ латеральной широкой мышцы бедра у мужчин- и женщин-тяжелоатлетов показало большие величины

у мужчин в фазе подрыва 2.2 (соответственно мужчины-женщины, мВ: слева – 0,234 (0,166; 0,3), 0,141 (0,125; 0,191),  $P < 0,01$ ). Средняя и медианная частота ЭМГ левой латеральной широкой мышцы бедра были выше у мужчин в фазы тяги и вставания (соответственно мужчины-женщины, Гц: средняя частота тяга 1.1 – 72,6 (61,14; 82,72), 59,07 (55,75; 64,19),  $P < 0,01$ ; тяга 1.2 – 84,00 (74,55; 99,38), 70,11 (65,85; 78,48),  $P < 0,03$ ; вставание 4 – 77,14 (70,89; 88,52), 70,25 (66,78; 73,83),  $P < 0,04$ ; медианная частота тяга 1.1 – 61,06 (51,25; 67,07), 47,33 (41,67; 52,45),  $P < 0,01$ ; тяга 1.2 – 73,4 (60,24; 81,84), 62,91 (56,56; 66,3),  $P < 0,05$ ; вставание 4 – 70,52 (66,53; 82,32), 60,98 (60,09; 65,02),  $P < 0,04$ ).

Средняя амплитуда ЭМГ правой двуглавой мышцы бедра была больше у мужчин практически во все фазы рывка (соответственно мужчины-женщины, мВ: тяга 1.2 – 0,337 (0,253; 0,393), 0,19 (0,149; 0,225),  $P < 0,01$ ; подрыв 2.1 – 0,448 (0,347; 0,528), 0,259 (0,222; 0,367),  $P < 0,01$ ; подрыв 2.2 – 0,332 (0,265; 0,447), 0,182 (0,167; 0,21),  $P < 0,002$ ; подсед 3.1 – 0,276 (0,222; 0,354), 0,164 (0,124; 0,2),  $P < 0,01$ ; вставание 4 – 0,227 (0,159; 0,29), 0,126 (0,092; 0,184),  $P < 0,01$ ). Показатели доминирующей (пиковой) частоты ЭМГ правой двуглавой мышцы бедра были выше у женщин в фазу подседа 3.1 и вставания (соответственно мужчины-женщины, Гц: подсед 3.1 – 25,74 (19,8; 27,78), 44,12 (36,76; 55,15),  $P < 0,03$ ; вставание 4 – 38,32 (35,57; 46,51), 48,86 (44,84; 53,65),  $P < 0,02$ ). Следовательно, по показателям ЭМГ двуглавой мышцы бедра отмечены большие показатели амплитуды и меньшие частоты у мужчин.

Показатели доминирующей (пиковой) частоты ЭМГ левой икроножной мышцы в фазу подседа были больше у женщин (соответственно мужчины-женщины, Гц: подсед 3.1 – 34,25 (25,74; 64,89), 15,87 (11,03; 18,38),  $P < 0,003$ ). Показатели средней частоты ЭМГ левой икроножной мышцы в фазу тяги больше у мужчин (соответственно мужчины-женщины, Гц: тяга 1.1 – 84,58 (74,26; 97,76), 73,39 (62,99; 77,44),  $P < 0,05$ ; тяга 1.2 – 92,7 (82,65; 99,16), 80,55 (75,1; 84,87),  $P < 0,01$ ). Показатели средней амплитуды ЭМГ правой икроножной мышцы в фазы подрыва и подседа больше у мужчин (соответственно мужчины-женщины, мВ: подрыв 2.1 – 0,435 (0,238; 0,497), 0,249 (0,221; 0,321),  $P < 0,02$ ; подсед 3.2 – 0,136 (0,084; 0,244), 0,049 (0,046; 0,088),  $P < 0,01$ ).

Таким образом, результаты исследования показывают, что сила и скорость мышечных сокращений увеличиваются с возрастанием амплитудных и частотных характеристик ЭМГ, однако они зависят от половых особенностей. У мужчин-тяжелоатлетов сила сокращения мышц и амплитудно-частотные характеристики ЭМГ намного выше, чем у женщин.

## **8. Адаптация и специализация двигательной системы человека в процессе занятий специфической спортивной деятельностью (обсуждение результатов)**

Расширение резервных возможностей организма, являющееся следствием долговременных адаптационных изменений систем организма, в первую очередь двигательной системы, является основной составляющей роста работоспособности и спортивных результатов, а также стимулирует поиск эффективных физиологических методов диагностики (Горбанева, 2012; Ростовцев, 2008). Адаптация к спортивной деятельности вызывает структурные и функциональные изменения в организме человека, его органах и тканях.

(Меерсон, Пшенникова, 1988). Во всех видах спорта наиболее задействованными являются системы, обеспечивающие движение и поддержание рабочей позы, реагирование на внешние стимулы, т.е. составляющие двигательной функциональной системы человека.

Рассматривая полученные данные с позиций пластичности НС и нейродинамических свойств (Ланская и др., 2019), можно констатировать о больших ее проявлениях соответственно у спортсменов, имеющих более высокий уровень сложной сенсомоторной реакции – в ситуационных видах спорта с ведущими скоростно-силовыми качествами. В исследовании было определено, что среди сенсорной и моторной оставляющей времени реакции спортсмены различных видов спорта значимо отличаются именно моторным компонентом, что еще раз подчеркивает наибольшую роль моторики в функциональном управлении спортивными движениями.

Исследование кинематических и динамических параметров многократных прыжковых движений у спортсменов выявило половые различия: мужчины отличались более высокими показателями максимальной силы отталкивания перед прыжком и максимальной высоты прыжка в третьем периоде теста (с 31 по 45 с), меньшим индексом утомления. Среди спортсменов различных видов спорта наибольшая скоростно-силовая выносливость выявлена у фехтовальщиков и единоборцев, затем по мере снижения индекса утомления следовали футболисты и легкоатлеты, затем – спортсмены, занимающиеся кроссфитом и волейболом.

Наиболее наглядно функциональная пластичность нервной и двигательной систем спортсменов проявляется при анализе параметров поверхностной ЭМГ в состоянии относительного покоя (перед упражнением, принятие позы) и в скоростно-силовых упражнениях каждую фазу ФПВ, а также расчет коэффициентов увеличения данных параметров, которое показало, что наибольшее увеличение амплитуд ЭМГ (медианных значений) у женщин-боксеров происходит в основном в первый период теста, для прямой мышцы бедра – до 98 раз. Для двуглавой мышцы бедра зафиксировано увеличение в 86,5 раз, для длинной малоберцовой мышцы – до 19 раз, для икроножной мышцы – до 67,5 раз. При субмаксимальной ФПВ больше увеличивается максимальная амплитуда ЭМГ. Динамика и связи биомеханических и ЭМГ-показателей в зависимости от фазы упражнения многократных прыжковых движений наглядно отражены на рисунке 6.

Динамика показателей ЭМГ в тяжелоатлетическом рывке в зависимости от кинематических и динамических параметров наглядно отражена на рисунке 7. В упражнениях максимальной мощности средняя амплитуда ЭМГ (медианные значения) в отдельные фазы у женщин увеличивается в 36 раз, у мужчин – в 53 раза. Электроактивность всех мышц у мужчин увеличивается в большей степени, чем у женщин. Больше увеличивается средняя амплитуда ЭМГ, частотные характеристики изменяются не более чем в 2,42 раза.

Анализ литературных и полученных нами данных по ЭМГ при выполнении функциональных нагрузочных проб свидетельствует о том, что сила и скорость мышечных сокращений увеличиваются с возрастанием амплитудных и частотных характеристик ЭМГ, но это также зависит от половых

особенностей. ЭМГ-анализ ведущих мышц в различные фазы тяжелоатлетического рывка показал, что у мужчин-тяжелоатлетов сила сокращения мышц намного выше, чем у женщин. Более низкие показатели амплитудных и высокие показатели частотных характеристик ЭМГ у женщин могут свидетельствовать о высокой частоте импульсации, но из-за более низких функциональных возможностей мышц (меньше мышечных волокон, их толщина, энергозапасы), не приводящих к такому же высокому напряжению как у мужчин.

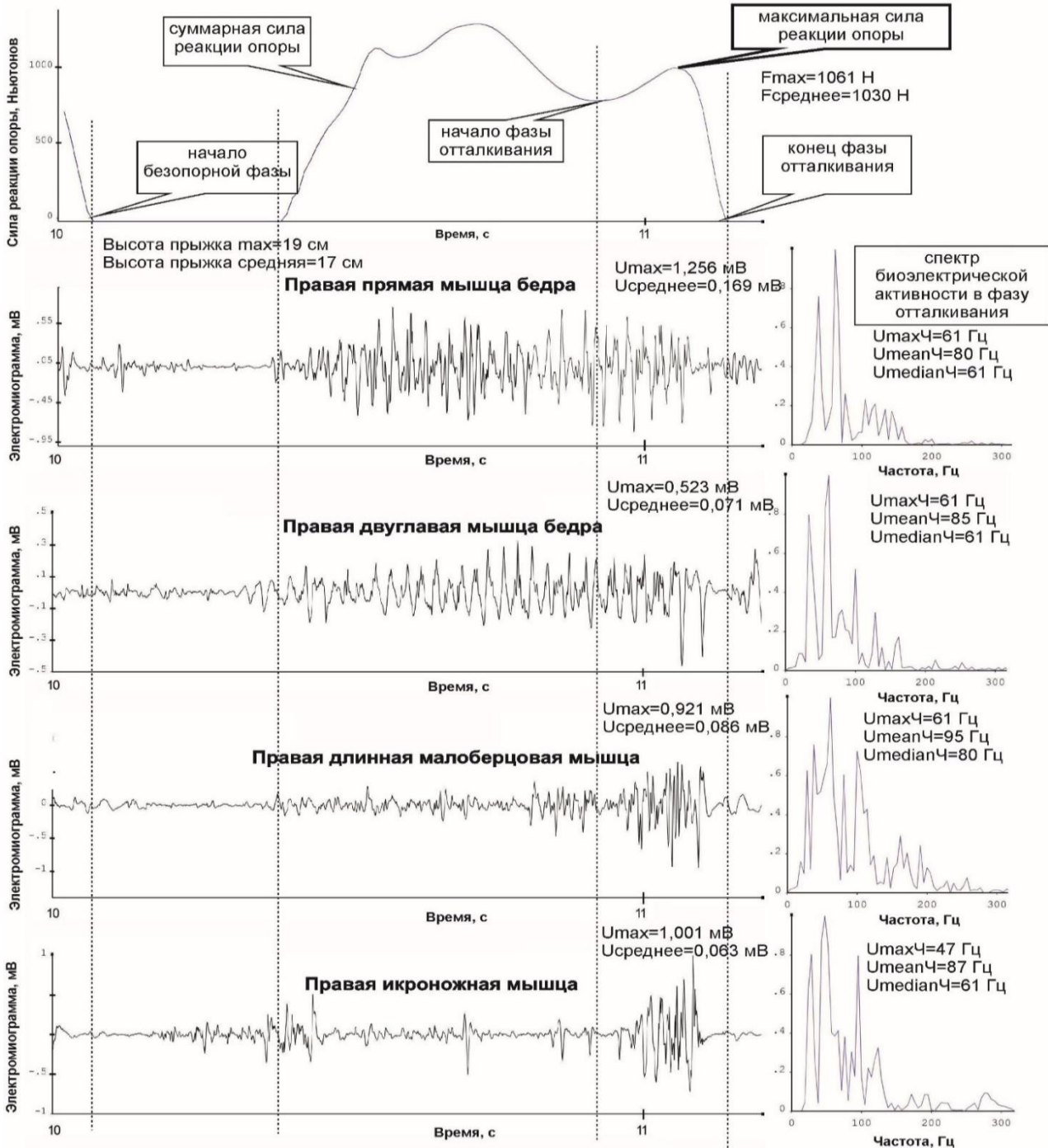


Рисунок 6 – Динамика некоторых биомеханических и ЭМГ-показателей во время выполнения одного из прыжков ФПВ (образец)

Примечание: числовые показатели определялись во время отталкивания перед прыжком: Umax – максимальная амплитуда, мВ; Усреднее – среднее значение, мВ; UmaxЧ – пиковая частота, Гц; UmeanЧ – средняя частота, Гц; UmedianЧ – медианная частота, Гц; Fmax – максимальная сила реакции опоры, Н; Fсреднее – средняя сила реакции опоры, Н.

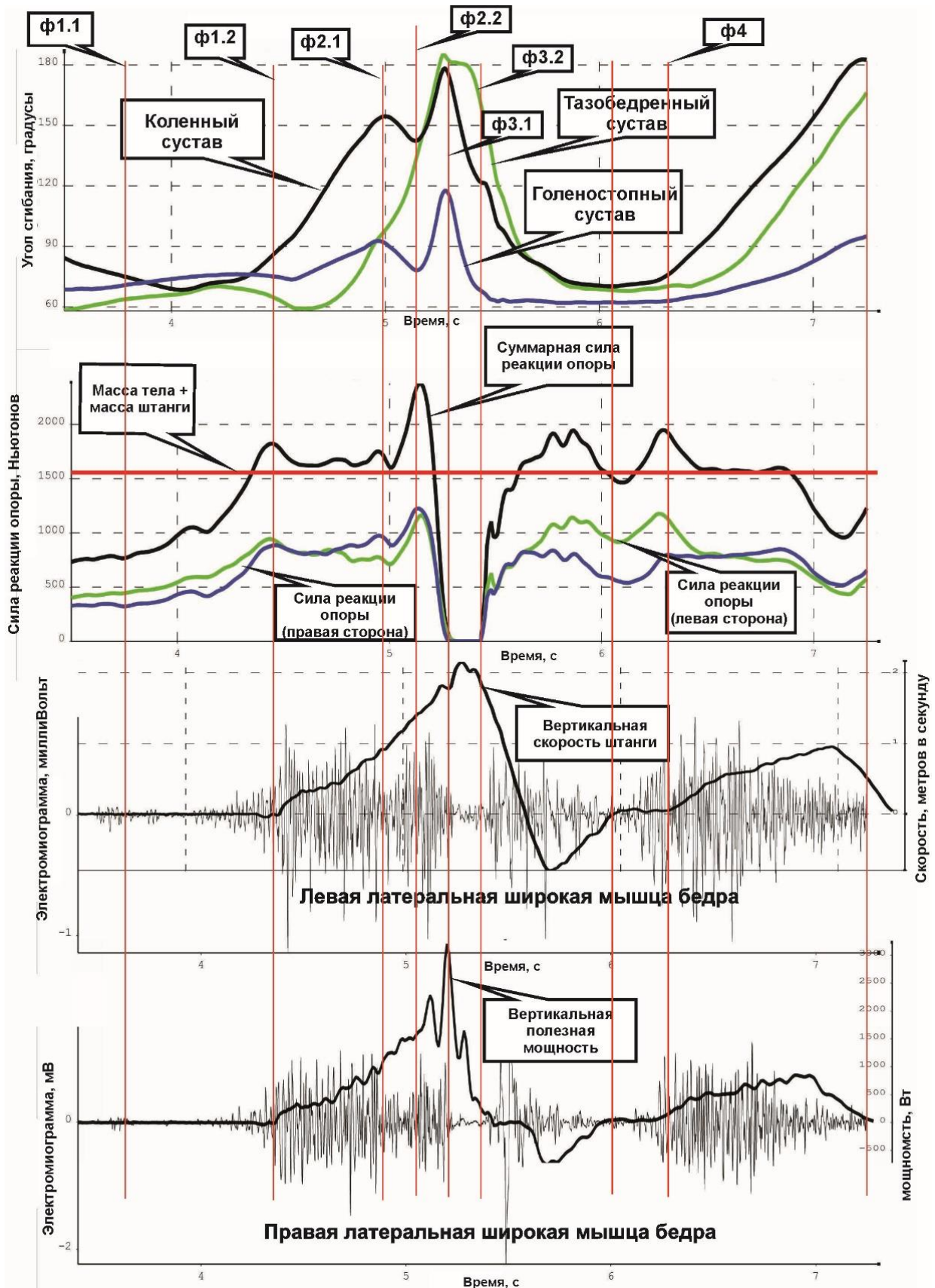


Рисунок 7 – Динамика некоторых биомеханических и ЭМГ-показателей в тяжелоатлетическом рывке (образец)

Примечание: вертикальными линиями обозначены начала фаз: ф.1.1 – тяга 1.1; ф.1.2 – тяга 1.2; ф.2.1 – подрыв 2.1; ф.2.2 – подрыв 2.2; ф.3.1 – безопорный подсед 3.1; ф.3.2 – опорный подсед 3.2; ф.4 – вставание 4.

При рассмотрении полученных результатов в рамках реализации и увеличения физиологических резервов адаптации двигательной системы человека в процессе мышечной деятельности были получены данные, сделаны выводы о наличии корреляционных и линейных взаимосвязей спортивной эффективности, биомеханических параметров движений и электрофизиологических характеристик работы мышц при их выполнении. Наиболее значимые корреляции Спирмена физиологических показателей в разные периоды ФПВ представлены на рисунке 8. Выявленные прямые положительные корреляции показывают, что в организме спортсменов электрофизиологические, кинематические и динамические характеристики движения имеют взаимозависимость, степень выраженности которых изменяется при сдвигах функционального состояния организма в ходе проведения функциональной пробы «Спортивный нагрузочный тест повторных прыжков Bosco».

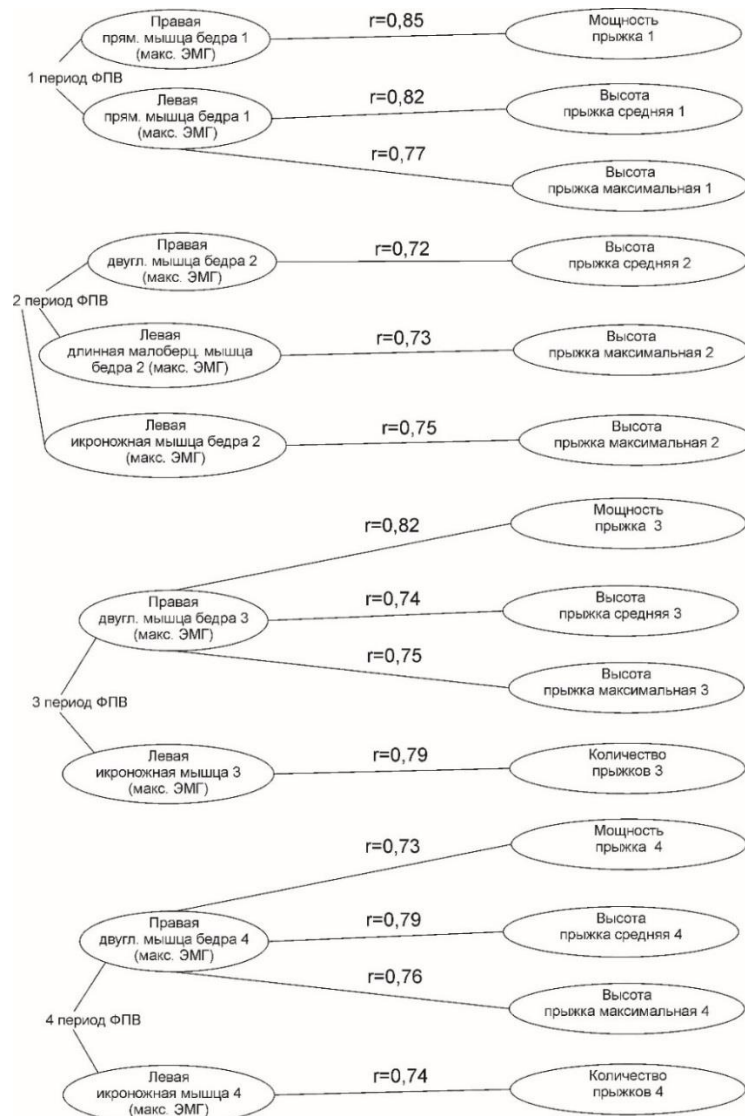


Рисунок 8 – Наиболее выраженные ранговые корреляции Спирмена физиологических показателей (электрофизиологические, кинематические и динамические характеристики движения спортсменов) за четыре периода (0-60 секунды теста) функциональной пробы «Спортивный нагрузочный тест повторных прыжков Bosco» у женщин-боксеров (n=9).  
Примечание: отмеченные корреляции значимы на уровне  $P < 0,05$ .

Корреляционный анализ Спирмена результативности тяжелоатлетов по Синклеру с физиологическими показателями рывка (биомеханикой) (рисунок 9) и электрофизиологических показателей (рисунок 10) выявил значимые корреляции результативности.



Рисунок 9 – Наиболее выраженные ранговые корреляции Спирмена результативности тяжелоатлетов ( $n=13$ ) по Синклеру с физиологическими показателями рывка (кинематика и динамика движения спортсменов).

Примечание: отмеченные корреляции значимы на уровне  $P<0,05$ .

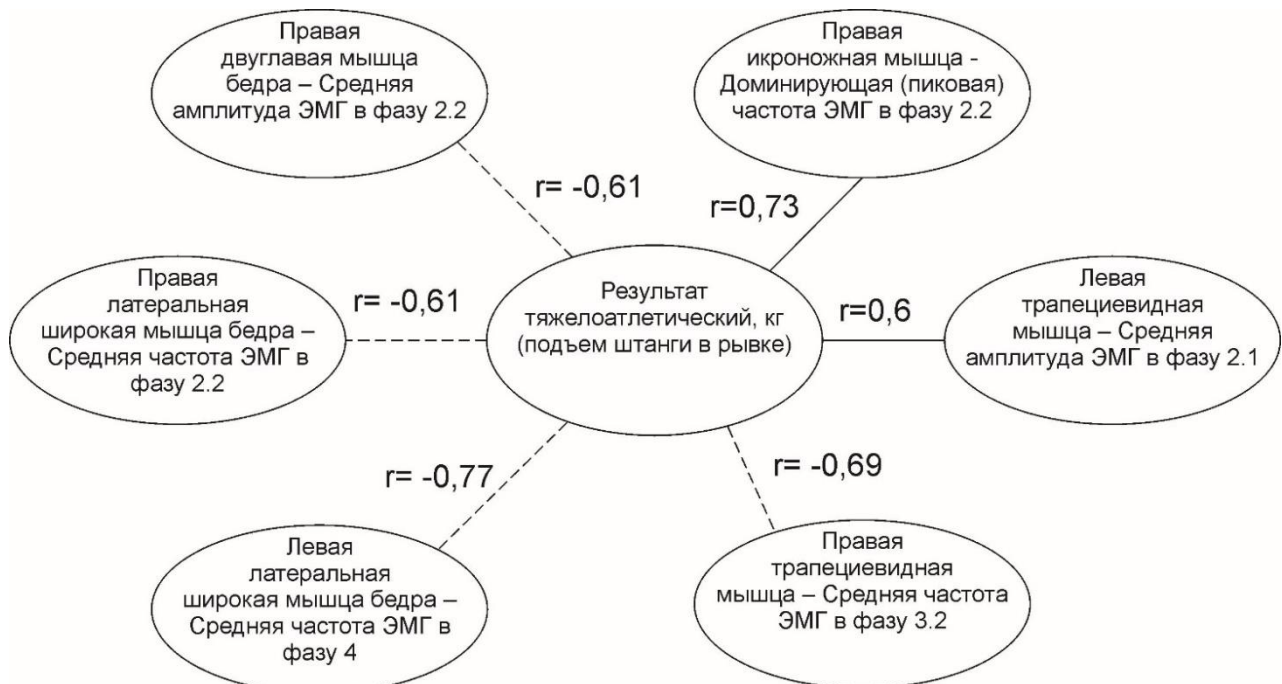


Рисунок 10 – Наиболее выраженные ранговые корреляции Спирмена результата подъема штанги и электрофизиологических показателей у женщин-тяжелоатлетов ( $n=13$ ) при выполнении тяжелоатлетического рывка.

Примечание: отмеченные корреляции значимы на уровне  $P<0,05$ .

Следовательно, результативность тяжелоатлетов в рывке связана с физиологическими показателями двигательной системы: вертикальной составляющей усилия спортсмена в тяге и подрыве, скоростью увеличения вертикальной составляющей усилия на опору в заключительной части тяги и во время вставания после подседа, с динамикой сгибания тазобедренного и коленного сустава в фазы тяги и подрыва, с динамикой сгибания голеностопного сустава между подседом и вставанием, а также с характеристиками электроактивности исследованных мышц. Изменение этих связей является следствием проявления пластичности нервной и двигательной систем в процессе срочной и долговременной адаптации к силовым нагрузкам.

Согласно теории функциональных систем П.К. Анохина, каждый поведенческий акт, приносящий тот или иной результат, формируется по принципу функциональной системы. Имея характеристики внешних и внутренних факторов, а также результата, рассмотрим функциональную двигательную систему спортсмена-тяжелоатлета, формирующуюся для выполнения соревновательного упражнения рывок/толчок (рисунок 11). Центральная архитектура функциональной системы включает в себя: афферентный синтез, принятие решения, акцептор результата действия, эфферентный синтез, формирование действия, оценку результата.

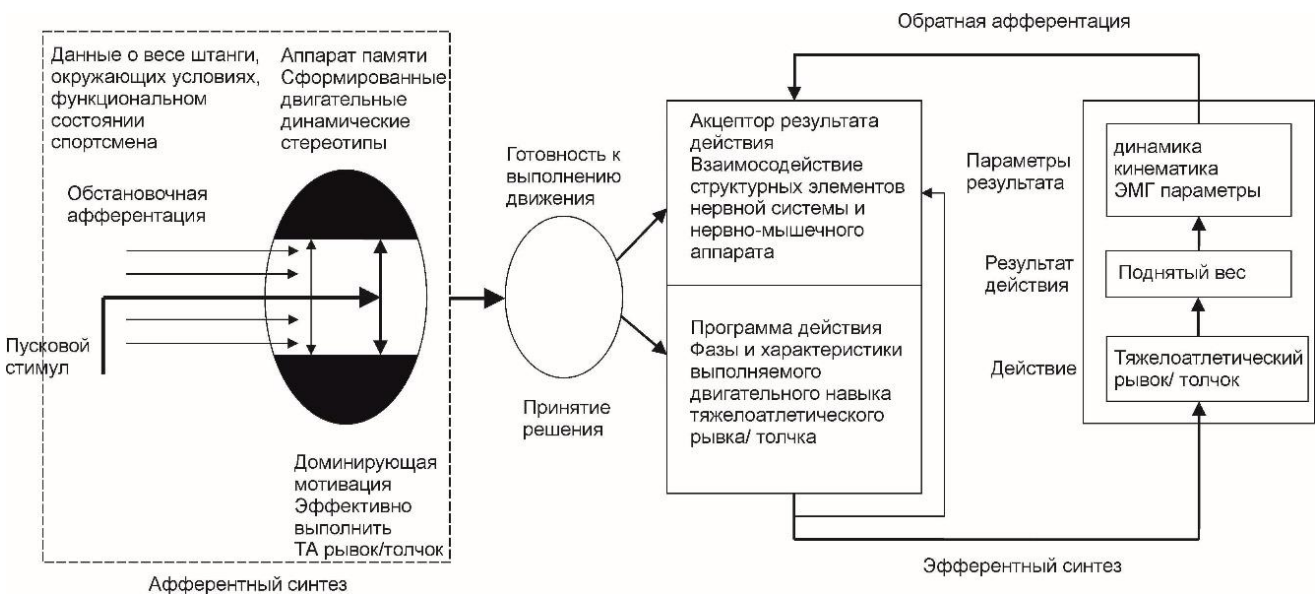


Рисунок 11 – Функциональная двигательная система, формирующаяся для выполнения стандартного ациклического спортивного движения (на примере тяжелоатлетического рывка/толчка)

Составляющими стадии афферентного синтеза данной функциональной системы являются: обстановочная афферентация: данные о весе штанги, окружающих условиях, внутреннем функциональном состоянии спортсмена; эффективное выполнение упражнения рывок/толчок (поднятие установленного веса); - аппараты памяти – сформированный двигательный динамический стереотип; - пусковой стимул – подход к штанге. Все это способствует принятию решения о готовности к выполнению движения и формированию акцептора результата действия. Программой действия является



последовательность фаз выполняемого двигательного навыка, а сформированный акцептор результата действия заключается в взаимодействии структурных элементов НС и НМА.

Полезным результатом данной функциональной системы является поднятый вес штанги по определенным правилам соревнований и техники движения рывок/толчок. Ведущим принципом функциональной системы является саморегуляция, которая осуществляется при помощи обратной афферентации о параметрах опорных реакций, кинематики суставов и ЭМГ-активности мышц. Таким образом, любой спортивный двигательный навык представляет собой функциональную систему, основной целью которой является достижение максимально полезного результата.

### **9. Концепция функционирования двигательной системы человека при спортивной деятельности**

Ученые-физиологи (Бернштейн, 1966; Пьянзин, 2014) рассматривают организацию двигательной системы человека как сложный многоуровневый процесс. Наибольший вклад в понимание физиологии движений внес Н.А. Бернштейн, в его концепции организации движений и действий человека были введены: - принцип сенсорных коррекций; - понятие о влиянии биомеханических внешних и внутренних факторов на ход движения; - представление о влиянии исходного состояния мышцы; - теория уровней построения движений, согласно которой анализируемые нами спортивные движения относятся к уровню «С» – пространственного поля.

В нашей концепции, работы Н.А. Бернштейна (1966) по организации движений и действий человека и модель организации двигательной системы Д. Дудела с соавт. (1985) были дополнены: - реализацией функций в сложных спортивных движениях – в проявлениях двигательных способностей, их специализаций и адаптацией, максимальной реализацией в видах спорта и определенных спортивных движениях; - специализированными современными нейромоторными, электрофизиологическими, биомеханическими методами контроля функций двигательной системы при спортивной деятельности; - полезным результатом функций двигательной системы в спортивных движениях; - максимальными и модельными характеристиками функциональных резервных возможностей; - взаимосвязями функциональных характеристик двигательной системы спортсменов при спортивной деятельности.

Двигательная система спортсмена меняет свои функциональные элементы и свойства в зависимости от предъявляемых требований за счет имеющихся и развиваемых функциональных резервов центральной НС, НМА, сенсорных систем. Соразмерное увеличение функций и взаимосвязей между структурными элементами данных систем позволяют проявлять спортсменам максимум двигательных качеств: быстроты, силы, ловкости и выносливости, которые можно контролировать как с помощью измерения непосредственно физических параметров двигательных действий (силы, скорости, мощности, расстояния и так далее), которые обычно в биологических объектах называют параметрами биомеханики, так и с помощью регистрации внутренних психофизиологических (времени сенсомоторного реагирования, характеристик силы, подвижности и

уравновешенности НС, стабиллометрии) и электрофизиологических процессов. Следовательно, разработанная нами концепция раскрывает составляющие элементы, а также принципы организации и взаимодействия для обеспечения эффективного выполнения движений в спорте, на рисунке 12 она представлена в виде 4 взаимосвязанных блоков.

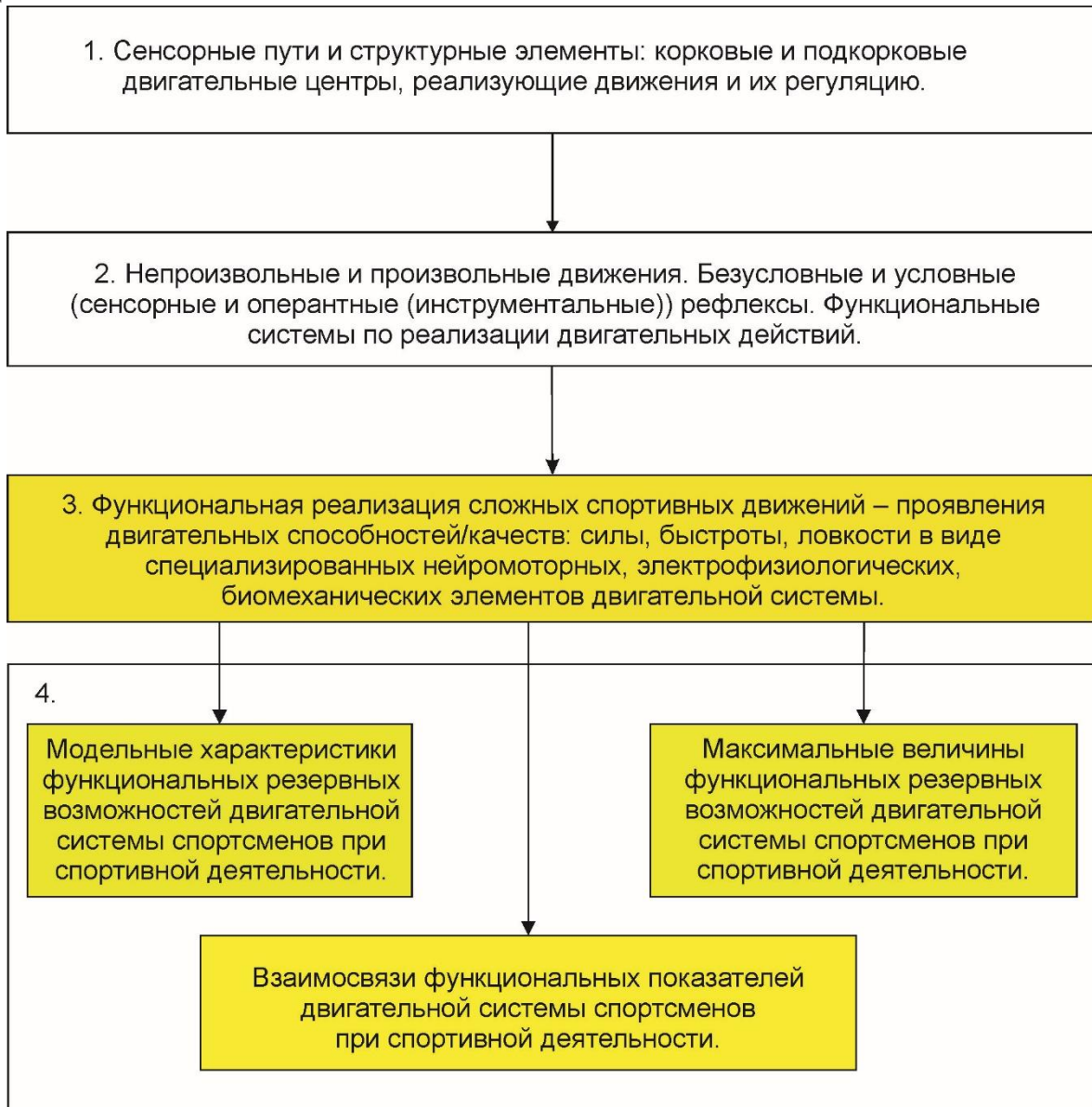


Рисунок 12 – Концепция функционирования двигательной системы человека при спортивной деятельности.

Примечание: нижние 2 блока дополняют существующие концепции и являются авторскими.

Первый блок включает сенсорные пути и структурные элементы: корковые и подкорковые двигательные центры, реализующие движения и их регуляцию. Второй блок определяет функции структурных элементов первого блока: отдельные рефлексy по совершению произвольных движений и поддержанию позы, произвольные движения, сенсорные и оперантные (инструментальные) рефлексy, создание функциональных систем для реализации отдельных двигательных функций (Бернштейн, Дудел). Третий блок концепции (авторский) включает функциональную реализацию совокупности элементов двигательной системы (специализированные нейромоторные

(нейродинамические параметры, свойства нервной системы, вестибулярная устойчивость, электроактивность мышц обеспечивающих движение) и биомеханические элементы двигательной системы (кинематика и динамика двигательного акта)) в проявления двигательных способностей: силы, быстроты, ловкости. Четвертый блок (авторский) определяет результат функций двигательной системы в спортивных движениях – максимальные величины и модельные характеристики функциональных резервных возможностей и результата действия (силы, скорости, мощности, точности действий), взаимосвязи функциональных показателей двигательной системы спортсменов при спортивной деятельности.

Таким образом, представленные блоки концепции позволяют определить возможности, направления и пути повышения функциональных резервов для проявления максимальных функциональных возможностей в спорте.

## ВЫВОДЫ

1. Разработан комплекс диагностических методов в виде автоматизированных информационно-аналитических систем, реализующих новые методики: определения времени двигательных реакций и свойств нервной системы (АПК «Спортивный психофизиолог», «Определитель индивидуальной единицы времени»), функциональных проб с биомеханическим и электрофизиологическим анализом («Спортивный нагрузочный тест повторных прыжков Bosco», «Биомеханическая и электромиографическая экспресс-оценка тяжелоатлетического рывка», «Биомеханическая и электромиографическая экспресс-оценка тяжелоатлетического толчка»).

2. Определены особенности нейродинамических свойств у высококвалифицированных спортсменов разного пола и различных видов спорта, характер которых определяется механизмами долговременной адаптации к физическим упражнениям с различной структурой движений (циклические, ациклические и ситуационные) и проявляемым двигательным качеством (сила, быстрота, выносливость). Лица, занимающиеся физической культурой (неспортсмены), характеризуются средними величинами как простой, так и сложной сенсомоторной реакции. Наименьшее время простых реакций проявляется в видах спорта с циклической структурой движений и ведущими двигательными качествами – быстрота и выносливость (плавание, лыжные гонки, шорт-трек); ситуационных движений и скоростно-силовых качеств (карате); сложных реакций – в ситуационных видах спорта с ведущими скоростно-силовыми качествами (карате). Определено, что высококвалифицированные спортсмены различных видов спорта значительно отличаются моторным компонентом реакции. Успешность в спорте связана с сильной, уравновешенной и подвижной нервной системой (сангвинический темперамент выявлен у 70% высококвалифицированных спортсменов, величина индивидуальной единицы времени составила 0,80-0,91 у.е.).

3. Определены значимые для физиологии спорта свойства нервной системы высококвалифицированных спортсменов-представителей новых для России видов спорта: керлинг (простая и сложная реакция) и сумо, а также для спортсменов с ограниченными возможностями здоровья. Сумоисты и

керлингисты характеризуются сильным уравновешенным типом нервной системы (индивидуальная единица времени – 0,92 (0,87; 1,00) и 0,89 (0,84; 0,92) у.е. соответственно).

4. Выявлены особенности статокINETической устойчивости, являющиеся результатом долговременной адаптации, у квалифицированных спортсменов в видах спорта с различной структурой движений. Меньшие наклоны вектора силы реакции опоры во фронтальной проекции выявлены у бегунов по сравнению с единоборцами, что связано с совершенствованием процессов поддержания рабочей позы, лежащей в основе двигательного динамического стереотипа. Большие смещения центра тяжести (длина траектории проекции центра масс) отмечаются у футболистов и единоборцев по сравнению с бегунами, что можно объяснить большей его динамикой, а также вариативностью и лабильностью физиологических механизмов, направленных на его удержание, а также связано с тренировкой вестибулярной системы к поворотам и изменениям траектории движения.

5. Комплексная оценка биомеханических и электромиографических показателей функционального состояния двигательной системы спортсменов разного пола характеризует срочные механизмы адаптации при выполнении функциональной пробы с нагрузкой субмаксимальной мощности. Определена динамика параметров работы опорно-двигательного аппарата у спортсменов с различной структурой движений и выявлены половые различия биомеханических параметров. Наибольшая скоростно-силовая выносливость по индексу утомления выявлена у спортсменов-фехтовальщиков, затем следуют единоборцы, легкоатлеты, футболисты, занимающиеся кроссфитом и волейболом. Мужчины по сравнению с женщинами имеют более высокие показатели максимальной силы отталкивания перед прыжком и максимальной высоты прыжка в третьем периоде теста, меньший индекс утомления, прыгают выше, но реже.

6. Изменения функционального состояния нервно-мышечного аппарата у высококвалифицированных спортсменов по амплитудно-частотным показателям электромиографии в разные фазы выполнения функциональной пробы с нагрузкой субмаксимальной мощности позволяют охарактеризовать локальные физиологические процессы, обуславливающие проявление срочной адаптации, функциональных возможностей и резервов, состояния утомления. Впервые установлено, что наибольшие биомеханические параметры теста повторных прыжков (мощность, высота прыжка) в первые 15 с обусловлены большим напряжением, а, следовательно, и активацией и синхронизацией ДЕ в первую очередь прямой мышцы бедра. С развитием сначала компенсированного, а затем некомпенсированного утомления снижаются амплитудные и частотные величины ЭМГ работающих мышц, хотя частота ЭМГ-активности при утомлении снижается в большей степени, чем амплитуда.

7. Комплексная оценка биомеханических и электромиографических показателей функционального состояния двигательной системы спортсменов-тяжелоатлетов разного пола характеризует срочные механизмы адаптации при выполнении функциональных проб с нагрузкой максимальной мощности. Выявлены половые различия, заключающиеся в больших показателях силы

опорных реакций, скорости их нарастания, мощности, скорости перемещения штанги у мужчин. Женщины не уступают мужчинам по кинематическим характеристикам, проявляя большую скорость и амплитуду сгибания суставов (сгибание тазобедренного сустава в толчке в фазу подседа). Силовые показатели больше у спортсменов более тяжелых весовых категорий, скоростные и относительные мощностные – у спортсменов более легких весовых категорий. По кинематическим параметрам различий нет. Абсолютные показатели углов суставов, как правило, больше у спортсменов средних весовых категорий.

8. Изменения функционального состояния нервно-мышечного аппарата высококвалифицированных спортсменов-тяжелоатлетов по амплитудно-частотным показателям электромиографии в разные фазы выполнения функциональных проб с нагрузкой максимальной мощности (следовательно, его функциональные резервы) выражаются в увеличении силы и скорости мышечных сокращений с возрастанием амплитудных (до 53 раз) и частотных характеристик (до 2,42 раз) ЭМГ, что определяется половыми особенностями. У мужчин-тяжелоатлетов амплитуда ЭМГ выше, чем у женщин. Более низкие показатели амплитудных и иногда высокие показатели частотных характеристик ЭМГ у женщин могут свидетельствовать о высокой частоте импульсации, но более низкие функциональные возможности мышц (меньше мышечных волокон, их толщина, энергозапасы) не приводят к такому же высокому напряжению мышц, как у мужчин.

9. Долговременные адаптационные изменения функционального состояния нервно-мышечного аппарата высококвалифицированных спортсменов-тяжелоатлетов по амплитудно-частотным и временным показателям электромиографии выражаются в высоких значениях амплитуды моторного ответа (амплитуда ЭМГ с короткого разгибателя пальцев стопы справа в точке стимуляции: предплюсна, головка малоберцовой кости, подколенная ямка), высокой скорости проведения (скорость проведения в точке стимуляции: головка малоберцовой кости, подколенная ямка), что свидетельствует о высоких функциональных возможностях и резервах.

10. Корреляционный и регрессионный анализ выявил взаимосвязи физиологических и биомеханических параметров, способствующие проявлению максимальных функциональных возможностей, а, следовательно, и увеличению физиологических резервов спортсменов в процессе выполнения спортивных упражнений. Как однократное (в аспекте срочной адаптации), так и систематическое (в аспекте долговременной адаптации) выполнение упражнений, в которых проявляется максимум функциональных возможностей, силы, мощности, скорости, способствует активизации соответствующих сенсорных систем, центральной нервной системы и мышечного аппарата, составляющих основу двигательной системы, способствуя повышению ее функциональных возможностей в целом. Увеличение функциональных резервов двигательной системы спортсменов и управляющей его работой нервной системы является проявлением свойства пластичности данных физиологических систем.

11. Предложенная концепция функционирования двигательной системы человека при спортивной деятельности раскрывает составляющие элементы

данной системы, а также принципы их организации и взаимодействия для обеспечения эффективного выполнения движений в спорте. Она дополняет существующие концепции 2 блоками:

- представлениями о реализации двигательных функций в сложных спортивных движениях (в проявлениях двигательных способностей, их специализаций и адаптацией, максимальной реализацией в разных видах спорта и определенных спортивных движениях) в виде специализированных нейромоторных, электрофизиологических, биомеханических элементов двигательной системы человека;

- результатом функций двигательной системы в спортивных движениях: максимальными величинами и модельными характеристиками функциональных резервных возможностей (нейромоторные показатели, электромиографические амплитудно-частотные показатели, биомеханические показатели элитных спортсменов разных видов спорта), взаимосвязями функциональных показателей двигательной системы спортсменов при спортивной деятельности (корреляционными и регрессионными взаимосвязями электромиографических амплитудно-частотных характеристик и биомеханических показателей).

### **Практические рекомендации**

Результаты исследований и данные о срочных и долговременных механизмах адаптации двигательной системы человека к занятиям специфическим видом спортивной деятельности рекомендуется применять для оценки функционального состояния спортсменов различных видов спорта при проведении этапных и комплексных обследований, при проведении врачебно-педагогических наблюдений, в качестве функциональных методов исследования врачей и специалистов комплексных научных групп, а также в научно-исследовательских лабораториях для физиологических, психофизиологических и биомеханических исследований.

Биомеханические (кинематические и динамические) характеристики техники спортивных движений и их модельные характеристики рекомендуются к использованию тренерскому составу, специалистам по спортивной физиологии и биомеханике для определения оптимальных параметров выполнения спортивных движений с целью достижения экономичности и максимальной результативности.

Разработанные методы для функциональной диагностики высококвалифицированных спортсменов, реализованные в виде информационных систем для диагностики сенсомоторных реакций, биомеханической оценки техники спортивных упражнений, предназначены для использования в практике физиологов, тренеров и врачей по спортивной медицине.

### **СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

**Статьи, входящие в перечень рецензируемых научных изданий или приравненные к ним (ВАК, Scopus)**

1. **Нопин, С.В.** Автоматизированная физиологическая проба «Спортивный нагрудный тест повторных прыжков Bosco» для диагностики состояния и

оценки эффективности восстановления спортсменов / **С.В. Нопин**, Ю.В. Корягина, Г. Н. Тер-Акопов // Человек. Спорт. Медицина. – 2024. – Т. 24, № 1. – С. 112-120. – DOI 10.14529/hsm240113. **Scopus**

2. Корягина, Ю.В. Разработка информационной системы морфо-психофункционального тестирования для спортивной ориентации в художественной гимнастике / Ю. В. Корягина, **С.В. Нопин**, Г.Н. Тер-Акопов // Человек. Спорт. Медицина. – 2023. – Т. 23, № S1. – С. 107-112. – DOI 10.14529/hsm23s115. **Scopus**

3. **Нопин, С.В.** Возможности мобилизации двигательного потенциала человека при максимальной физической нагрузке / **С.В. Нопин**, Ю. В. Корягина // Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. – 2023. – Т. 100, № 3-2. – С. 150-151. **Scopus**

4. Корягина, Ю.В. Разработка системы для этапной диагностики психофункционального состояния гимнасток-художниц / Ю. В. Корягина, **С. В. Нопин**, Г. Н. Тер-Акопов // Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. – 2023. – Т. 100, № 3-2. – С. 106-107. **Scopus**

5. **Нопин, С.В.** Функциональные резервы нервно-мышечного аппарата и взаимодействия физиологических и биомеханических параметров при выполнении тяжелоатлетических упражнений / **С.В. Нопин**, Ю.В. Корягина, С.М. Абуталимова, Г.Н. Тер-Акопов // Человек. Спорт. Медицина. – 2022. – Т. 22, № S1. – С. 7-11. – DOI: 10.14529/hsm22s101. **Scopus**

6. Абуталимова, С.М. Биоэлектрическая активность мышц высококвалифицированных тяжелоатлетов при выполнении рывка / С.М. Абуталимова, Ю.В. Корягина, **С.В. Нопин**, Г.Н. Тер-Акопов // Человек. Спорт. Медицина. – 2022. – Т. 22, № 2. – С. 84-91. – DOI: 10.14529/hsm220210. **Scopus**

7. Корягина, Ю.В. Возможности аппаратно-программного комплекса в системе спортивной ориентации, отбора и этапного контроля в дзюдо и самбо / Ю.В. Корягина, **С.В. Нопин**, Г.Н. Тер-Акопов, С.М. Абуталимова // Теория и практика физической культуры. – 2022. – № 3. – С. 3-5. **Scopus**

8. **Нопин, С.В.** Сравнительная характеристика биомеханики тяжелоатлетического толчка у мужчин и женщин / **С.В. Нопин**, Ю.В. Корягина, Г.Н. Тер-Акопов, С.М. Абуталимова // Теория и практика физической культуры. – 2021. – № 7. – С. 10-12. **Scopus**

9. Корягина, Ю. В. Разработка аналитической системы для спортивного отбора и контроля психофункционального состояния при занятиях дзюдо / Ю. В. Корягина, **С. В. Нопин**, Г. Н. Тер-Акопов // Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. – 2021. – Т. 98, № 3-2. – С. 97-98. – DOI 10.17116/kurort20219803221. **Scopus**

10. **Нопин, С.В.** Динамика параметров электрической активности мышц и силовых характеристик в разные фазы выполнения тяжелоатлетического рывка / **С.В. Нопин**, Ю.В. Корягина, Г.Н. Тер-Акопов, С.М. Абуталимова // Российский журнал биомеханики. – 2021. – Т. 25, № 4. – С. 383-392. **Scopus**

11. **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. **Scopus**

12. **Нопин, С. В.** Использование современных технологий биомеханики и электромиографии для тестирования функционального состояния опорно-двигательного аппарата спортсменов тяжелоатлетов / **С.В. Нопин**, Ю.В. Корягина, Г. Н. Тер-Акопов // Медицина экстремальных ситуаций. – 2020. – Т. 22, № 2. – С. 223-230. **Scopus**

13. Корягина, Ю.В. Нейрофизиологические предикторы управления спортивной работоспособностью (анализ инновационных исследований зарубежных лабораторий за 2010-2016 гг.) / Ю.В. Корягина, **С.В. Нопин**, В.А. Блинов, О.А. Блинов // Теория и практика физической культуры. – 2017. – № 1. – С. 102-104. **Scopus**

14. Корягина, Ю.В. Разработка автоматизированных систем диагностики и анализа различных компонентов подготовленности спортсмена / Ю.В. Корягина, **С.В. Нопин**, В.А. Блинов, О.А. Блинов // Теория и практика физической культуры. – 2015. – № 8. – С. 101-104. **Scopus**

### **ВАК К1 и К2**

15. **Нопин, С.В.** Функциональные резервы адаптации двигательной системы спортсменов с позиций физиолого-биомеханического подхода / С.В. Нопин, Ю.В. Корягина // Журнал медико-биологических исследований. – 2024. – Т. 12, № 2. – С. 191-200. – DOI: 10.37482/2687-1491-Z190 (**ВАК 1.5.5. физиология человека и животных (биологические науки)**)

16. **Нопин, С.В.** Модель концепции функционирования двигательной системы человека при спортивной деятельности / **С. В. Нопин** // Современные вопросы биомедицины. – 2024. – Т. 8, № 1. – С. 127-141. – DOI: 10.51871/2588-0500\_2024\_08\_01\_13 (**ВАК 1.5.5. физиология человека и животных (биологические науки)**)

17. **Нопин, С.В.** Типологические особенности свойств нервной системы у высококвалифицированных спортсменов различных видов спорта / **С.В. Нопин**, Ю.В. Корягина // Современные вопросы биомедицины. – 2023. – Т. 7, № 2. – С. 167-176. – DOI 10.51871/2588-0500\_2023\_07\_02\_18 (**ВАК 1.5.5. физиология человека и животных (биологические науки)**)

### **Монографии**

18. **Нопин, С.В.** Физиологический и биомеханический контроль функционального состояния двигательной системы спортсменов / **С.В. Нопин**, Ю.В.Корягина – Ессентуки: ФГБУ СКФНКЦ ФМБА России, 2021. – 176 с. ISBN: 978-5-4492-0240-6

19. **Нопин, С.В.** Разработка технологических систем для научно методического обеспечения спортивной подготовки (на примере спортивных игр) / **С.В. Нопин**, Ю.В.Корягина, В.А. Блинов – Омск: СибГУФК, 2017. - 169 с. ISBN: 978-5-91930-072-4

### **Публикации в других изданиях**

20. **Нопин, С.В.** Характеристики постурального контроля движений спортсменов различных видов спорта с позиции формирования двигательного динамического стереотипа / **С.В. Нопин**, Ю.В. Корягина, Ю.В. Кушнарера // Современные вопросы биомедицины. - 2022. – Т. 6, № 2. – С. 370-375. – DOI:



10.51871/2588-0500\_2022\_06\_02\_47 (**ВАК** 1.5.5. физиология человека и животных (биологические науки))

21. **Нопин, С.В.** Нейродинамические характеристики сенсомоторных процессов спортсменов различных видов спорта / **С.В. Нопин** // Современные вопросы биомедицины. – 2022. – Т.6, № 1. – С. 162-170. – DOI: 10.51871/2588-0500\_2022\_06\_01\_52 (**ВАК** 1.5.5. физиология человека и животных (биологические науки))

22. **Нопин, С.В.** Верификация психофизиологического тестирования на аппаратно-программном комплексе «Спортивный психофизиолог» / **С.В. Нопин, Ю.В. Корягина** // Современные вопросы биомедицины. – 2022. – Т. 6, № 2. – С. 156-161. – DOI: 10.51871/2588-0500\_2022\_06\_02\_20 (**ВАК** 1.5.5. физиология человека и животных (биологические науки))

23. **Нопин, С.В.** Теппинг-тест как показатель эффективности, силы и выносливости нервной системы у спортсменов различных видов спорта / **С.В. Нопин, Ю.В. Корягина** // Современные вопросы биомедицины. – 2022. – Т. 6, № 2. – С. 86-91. – DOI: 10.51871/2588-0500\_2022\_06\_02\_10 (**ВАК** 1.5.5. физиология человека и животных (биологические науки))

24. **Нопин, С.В.** Функциональные асимметрии ЭМГ-активности и динамических характеристик у высококвалифицированных тяжелоатлетов при выполнении соревновательного упражнения «рывок» / **С.В. Нопин, Ю.В. Корягина** // Современные вопросы биомедицины. – 2022. – Т.6, № 1. – С. 152-161. – DOI: 10.51871/2588-0500\_2022\_06\_01\_47 (**ВАК** 1.5.5. физиология человека и животных (биологические науки))

25. **Нопин, С.В.** Физиологические и биомеханические характеристики мышц нижних конечностей у женщин боксеров при выполнении максимального нагрузочного теста повторных прыжков Bosco / **С.В. Нопин** // Современные вопросы биомедицины. – 2021. – Т.5, №3. – С. 119-129. – DOI: 10.51871/2588-0500\_2021\_05\_03\_10 (**ВАК** 03.03.01 - физиология (биологические науки))

26. Корягина, Ю.В. Современные представления о физиологических и морфологических особенностях адаптации организма спортсменов к занятиям тяжелоатлетическими упражнениями / Ю.В.Корягина, **С.В. Нопин, С.М. Абуталимова, Г.Н. Тер-Акопов, И.П. Сивохин** // Современные вопросы биомедицины. 2021. – Т.5, №1. – С. 109-126. – DOI: 10.51871/2588-0500\_2021\_05\_01\_8 (**ВАК** 03.03.01 - физиология (биологические науки))

27. 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. 56-64. (**ВАК** 03.03.01 - физиология (биологические науки))

28. **Нопин, С.В.** Современные системы тестирования и анализа движений человека / **С.В. Нопин, А.Н. Копанев, С.М. Абуталимова** // Современные вопросы биомедицины. - 2020. – Т. 4, № 4. – С. 65-73. (**ВАК** 03.03.01 - физиология (биологические науки))

29. Корягина, Ю.В. Анализ онлайн-систем тестирования для спорта и фитнеса / Ю.В. Корягина, А.Н. Копанев, **С.В. Нопин, С.М. Абуталимова** //

Современные вопросы биомедицины. – 2020. – Т. 4, № 4. – С. 101-106. (ВАК 03.03.01 - физиология (биологические науки))

30. 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. – Т. 5, № 4. – С. 81-88. (ВАК 03.03.01 - физиология (биологические науки))

### **Результаты интеллектуальной деятельности (изобретения, программное обеспечение, базы данных, промышленные образцы)**

31. **Нопин, С.В.** Способ биомеханической и электромиографической оценки тяжелоатлетических упражнений / **С.В. Нопин**, Ю.В.Корягина, Г.Н. Тер-Акопов // Патент на изобретение RU 2756567 С1, 01.10.2021.

32. **Нопин, С.В.** Способ оценки предрасположенности детей к занятиям художественной гимнастикой / **С.В. Нопин**, Ю.В.Корягина, Г.Н. Тер-Акопов // Патент на изобретение RU 2780158 С1, 19.09.2022.

33. **Нопин, С.В.** Способ оценки предрасположенности детей к занятиям дзюдо / **С.В. Нопин**, Ю.В.Корягина, Г.Н. Тер-Акопов // Патент на изобретение RU 2755228 С1, 14.09.2021.

34. **Корягина, Ю.В.** Способ оценки предрасположенности детей к занятиям футболом / Ю.В.Корягина, **С.В. Нопин**, Г.Н. Тер-Акопов // Патент на изобретение RU 2741210 С1, 22.01.2021.

35. **Нопин, С.В.** Психофункциональный контроль состояния при занятиях художественной гимнастикой / **С.В. Нопин**, Ю.В. Корягина, Г.Н. Тер-Акопов // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2023660925, 25.05.2023

36. **Нопин, С.В.** Биомеханическая и электромиографическая экспресс оценка тяжелоатлетического толчка / **С.В. Нопин**, Ю.В. Корягина, Г.Н. Тер-Акопов // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2020660143, 28.08.2020.

37. **Нопин, С.В.** Биомеханическая и электромиографическая экспресс оценка тяжелоатлетического рывка / **С.В. Нопин**, Ю.В. Корягина, Г.Н. Тер-Акопов // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2020660142, 28.08.2020.

38. **Нопин, С.В.** Спортивный нагрузочный тест повторных прыжков BOSCO / **С.В. Нопин**, Ю.В.Корягина, Г.Н. Тер-Акопов // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ №2021619879, 18.06.2021.

39. **Нопин, С.В.** АПК Спортивной ориентации, отбора и контроля в дзюдо и самбо / **С.В. Нопин**, Ю.В.Корягина, Г.Н. Тер-Акопов // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ №2021619474, 10.06.2021.

40. Корягина Ю.В. Аппаратно-программный комплекс «Спортивный психофизиолог» / Ю.В.Корягина, **С.В. Нопин** // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ №2010617789, 24.11.2010.

41. Корягина, Ю.В. Определитель индивидуальной единицы времени / Ю.В. Корягина, **С.В. Нопин** // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ №2005611543, 23.06.2005.

42. Корягина, Ю.В. Психофункциональные и морфологические показатели гимнасток художниц разного возраста (от 4 до 20 лет) / Ю.В. Корягина, **С.В. Нопин**, Г. Н. Тер-Акопов [и др.] // Свидетельство о регистрации базы данных №2023621664, 24.05.2023.

43. Абуталимова, С.М. Показатели функционального состояния нервно-мышечного аппарата спортсменов при выполнении физических упражнений / С.М. Абуталимова, **С.В. Нопин**, Ю.В. Корягина, Г.Н. Тер-Акопов // Свидетельство о регистрации базы данных №2021621916, 09.09.2021.

44. **Нопин, С.В.** Нейромоторные характеристики спортсменов / **С.В. Нопин**, Ю.В. Корягина, Г.Н. Тер-Акопов // Свидетельство о регистрации базы данных № 2022620362, 28.02.2022.

45. **Нопин, С.В.** Показатели индивидуальной единицы времени спортсменов различных видов спорта / **С.В. Нопин**, Ю.В. Корягина, Г.Н. Тер-Акопов // Свидетельство о регистрации базы данных № 2024620701, 14.02.2024.

46. Абуталимова, С.М. Схема медицинского контроля функционального состояния нервно-мышечного аппарата тяжелоатлетов / С.М. Абуталимова, Ю.В. Корягина, **С.В. Нопин**, Г.Н. Тер-Акопов, А.Ш. Абуталимов // Патент на промышленный образец № 134705, 23.12.2022.

47. **Нопин, С.В.** Схема «Классификация видов спорта по нейродинамическим параметрам времени простой сенсомоторной реакции спортсменов» / **С.В. Нопин**, Ю.В. Корягина, Г.Н. Тер-Акопов // Патент на промышленный образец № 136767, 23.05.2023.

## СПИСОК ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ

°	– градус (единица измерения плоских углов)
АПК	– аппаратно-программный комплекс
Вт	– ватт
Гц	– герц
ДЕ	– двигательная единица
ИЕВ	– индивидуальная единица времени
кг	– килограмм
мВ	– милливольт
мм	– миллиметр
М-ответ	– моторный ответ
Н	– ньютон
НМА	– нервно-мышечный аппарат
НС	– нервная система
с	– секунда
у.е.	– условная единица
ФПВ	– функциональная проба «Спортивный нагрузочный тест повторных прыжков Bosco»
ЭНМГ, ЭМГ	– электромиография

Нопин Сергей Викторович

ЗАКОНОМЕРНОСТИ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ РЕЗЕРВНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ  
АДАПТАЦИИ ДВИГАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ЧЕЛОВЕКА  
К СПЕЦИФИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В СПОРТЕ ВЫСШИХ  
ДОСТИЖЕНИЙ

1.5.5 – Физиология человека и животных

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
доктора биологических наук

Подписано к печати 13.03.2025. Формат 60x84 1/16.  
Усл. печ. л. 2,56. Тираж 100 экз. Заказ №

Отпечатано в ООО Издательский дом  
г. Ессентуки, пер. Базарный, 3  
ЛР № ПЛД72-53 от 26.07.1999