

На правах рукописи

АБУТАЛИМОВ АЛИ ШАМИЛЬЕВИЧ

**БИОУПРАВЛЯЕМАЯ МЕХАНОТЕРАПИЯ В  
ВОССТАНОВЛЕНИИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ  
ОПОРНО-ДВИГАТЕЛЬНОГО АППАРАТА НИЖНИХ  
КОНЕЧНОСТЕЙ ЛЕГКОАТЛЕТОВ,  
СПЕЦИАЛИЗИРУЮЩИХСЯ В БЕГОВЫХ ДИСЦИПЛИНАХ**

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата медицинских наук по специальности: 3.1.33  
Восстановительная медицина, спортивная медицина, лечебная  
физкультура, курортология и физиотерапия, медико-социальная  
реабилитация

Ессентуки, 2023

Работа выполнена в Центре медико-биологических технологий Федерального государственного бюджетного учреждения «Северо-Кавказский федеральный научно-клинический центр Федерального медико-биологического агентства» (ЦМБТ ФГБУ СКФНКЦ ФМБА России)

**Научный руководитель:**

**Корягина Юлия Владиславовна**, доктор биологических наук, профессор, руководитель Центра медико-биологических технологий ФГБУ «Северо-Кавказский федеральный научно-клинический центр Федерального медико-биологического агентства»

**Официальные оппоненты:**

**Парастаев Сергей Андреевич**, доктор медицинских наук, профессор, заместитель директора по научной работе Федерального государственного бюджетного учреждения «Федеральный научно-клинический центр спортивной медицины и реабилитации Федерального медико-биологического агентства», член Президиума РАСМИРБИ, эксперт Олимпийского комитета России.

**Быков Евгений Витальевич**, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой спортивной медицины, проректор по научно-исследовательской работе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уральский государственный университет физической культуры»

**Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное учреждение «Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна» Федерального медико-биологического агентства

Защита диссертации состоится «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 г. в \_\_\_\_\_ часов на заседании диссертационного совета Д 999.237.02 при ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный медицинский университет» Минздрава России и ФГБУ «Северо-Кавказский федеральный научно-клинический центр Федерального медико-биологического агентства», по адресу: 357501, г. Пятигорск, проспект Кирова, 30.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБУ СКФНКЦ ФМБА России по адресу г. Пятигорск, проспект Кирова, 30 и на сайте <https://skfmba.ru/>

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 г.

Учёный секретарь

диссертационного совета Д 999.237.02,

кандидат медицинских наук, доцент

Е.Н. Чалая

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы исследования.** Известно, что функциональное состояние нервно-мышечного аппарата спортсменов является одним из основных факторов, определяющих успешность спортивной подготовки (Ю.В. Корягина с соавт., 2022; В.М. Башкин, 2021; И.Е. Попова, А.В. Сысоев, 2020; Т.В. Красноперова, Е.А. Киселева, 2020; Э.Р. Румянцева, Е.В. Тарасова, 2020). Действие однонаправленных нагрузок приводит к увеличению дисбаланса мышц антагонистов и повышению риска развития усталостных травм и деструктивных повреждений в слабых звеньях кинематической цепи (Е.В. Быков с соавт., 2021; Н.Д. Алексеева с соавт., 2019). Но даже при правильно построенной тренировочной программе долговременная адаптация имеет свою цену, проявляющуюся в прямом изнашивании функциональной системы и эффектах отрицательной перекрестной адаптации (Ф.З. Меерсон, М.Г. Пшенникова, 1988). Именно поэтому проблема своевременного восстановления нервно-мышечного аппарата спортсменов особенно актуальна.

В поисках эффективных средств и способов восстановления учеными подробно описано положительное влияние методов вибро- и гидротерапии, термовоздействия (Ю.В. Корягина с соавт., 2022; И.Е. Попова, 2019). Специалисты отмечают, что применение механотерапии у спортсменов менее изучено, однако не менее перспективно (Н.А. Карева, Л.В. Капилевич, 2022). Актуальность темы диссертации обусловлена, в первую очередь, отсутствием эффективной методики восстановления функционального состояния опорно-двигательного аппарата нижних конечностей спортсменов, включающей применение биоуправляемой механотерапии, направленной на оптимизацию мышечного баланса и комплекса физиотерапевтических процедур, в период интенсивной тренировочной деятельности.

**Гипотеза исследования.** Мы предполагаем, что восстановление опорно-двигательного аппарата нижних конечностей спортсменов-бегунов наиболее эффективно при комплексном применении биоуправляемой механотерапии в изокинетическом режиме с элементами активной и пассивной мобилизации, направленной на оптимизацию баланса мышц коленного и голеностопного суставов и физиотерапевтических

процедур в следующей последовательности: низкочастотная магнитотерапия, гидротерапия и прессотерапия нижних конечностей.

**Степень разработанности темы исследования.** Роботизированная механотерапия, как средство лечебной физической культуры, в настоящее время широко применяется в нейрореабилитации у пациентов с двигательными нарушениями (В.Д. Даминов с соавт., 2022). Результаты исследований показали, что применение этого метода в комплексе с физиотерапевтическим воздействием у больных с травмами спинного мозга способствовало увеличению силовых показателей мышц и улучшению нервно-мышечной проводимости (Д.М. Абзалутдинов, 2019).

Опубликованы результаты пилотного исследования, посвященного изучению целесообразности использования роботизированной гимнастики для повышения работоспособности спортсменов за счет формирования более эффективной и биомеханически правильной двигательной активности. Авторы отмечают высокую перспективность дальнейших исследований в этой области (Е.М. Кабаев с соавт., 2020).

Несмотря на высокую эффективность применения механотерапии в реабилитации и восстановлении опорно-двигательного аппарата, в настоящее время механотерапия используется по большей части в качестве тренажера, позволяющего повысить силовые свойства мышечной ткани у больных в период реабилитации или в постоперационный период. Кроме того, отсутствуют данные о влиянии механотерапии на биоэлектрическую активность нервно-мышечной ткани и периферическую гемодинамику.

**Цель исследования:** разработать и научно обосновать методику восстановления опорно-двигательного аппарата нижних конечностей спортсменов с использованием комплекса физиотерапевтических процедур и биоуправляемой механотерапии, направленной на оптимизацию баланса мышечного аппарата коленного и голеностопного суставов.

**Задачи исследования:**

1. Исследовать функциональное состояние опорно-двигательного аппарата нижних конечностей высококвалифицированных легкоатлетов-бегунов, для выявления

особенностей формирования долговременной адаптации к специфической беговой нагрузке.

2. Разработать и обосновать методику применения биоуправляемой механотерапии, направленную на оптимизацию мышечного баланса коленных и голеностопных суставов, для восстановления функционального состояния опорно-двигательного аппарата нижних конечностей высококвалифицированных спортсменов в период интенсивной тренировочной деятельности.

3. Разработать комплекс физиотерапевтических процедур (магнитотерапия, гидротерапия, прессотерапия) и изучить его влияние на динамометрические, электронейромиографические и реовазографические показатели нижних конечностей высококвалифицированных спортсменов.

4. Изучить механизмы влияния одного сеанса механотерапии на роботизированном комплексе с биологической обратной связью, направленного на оптимизацию баланса мышечного аппарата коленного и голеностопного суставов в сочетании с комплексом физиотерапевтических процедур, на динамометрические, электронейромиографические и реовазографические показатели нижних конечностей высококвалифицированных спортсменов.

5. Исследовать влияние курса из 5 процедур механотерапии на роботизированном комплексе с биологической обратной связью, направленных на оптимизацию баланса мышечного аппарата коленного и голеностопного суставов, в комплексе с физиотерапевтическими процедурами (магнитотерапия, гидротерапия, прессотерапия) в сравнении с традиционной методикой (применением только физиотерапевтических процедур) на динамометрические, электронейромиографические и реовазографические показатели нижних конечностей высококвалифицированных спортсменов.

6. Исследовать влияние курса из 10 процедур механотерапии на роботизированном комплексе с биологической обратной связью, направленных на оптимизацию баланса мышечного аппарата коленного и голеностопного суставов, в комплексе с физиотерапевтическими процедурами (магнитотерапия, гидротерапия, прессотерапия) в сравнении с традиционной методикой (применением только физиотерапевтических процедур) на динамометрические, электронейромиографические и

реовазографические показатели нижних конечностей высококвалифицированных спортсменов.

7. Провести сравнительный анализ и оценить влияние биоуправляемой механотерапии, оптимизирующей мышечный баланс, в комплексе физиотерапевтических процедур при восстановлении функционального состояния опорно-двигательного аппарата и периферической гемодинамики спортсменов в период интенсивной тренировочной деятельности по параметрам динамометрического, электромиографического и реовазографического исследований.

**Научная новизна исследования.** Впервые разработана и научно обоснована методика восстановления опорно-двигательного аппарата нижних конечностей легкоатлетов, специализирующихся в беге, включающая применение биоуправляемой механотерапии, направленной на оптимизацию баланса мышц нижних конечностей, и комплекса физиотерапевтических процедур (магнито-, гидро-, прессотерапии).

С помощью клинико-экспериментальных исследований впервые доказано, что применение комплекса физиотерапевтических процедур (магнито-, гидро-, прессотерапии) способствует нормализации показателей артериального притока, венозного оттока и микроциркуляции нижних конечностей у легкоатлетов, специализирующихся в беге, в период интенсивной тренировочной деятельности.

Впервые показано, что комплексное применение роботизированной биоуправляемой механотерапии и физиотерапевтических процедур (магнито-, гидро-, прессотерапии) способствует нормализации баланса силовых параметров мышц-антагонистов, повышению скорости распространения электрического импульса по нервным волокнам, увеличению амплитуды и площади, снижению латентности моторного ответа, нормализации параметров артериального и венозного кровотока нижних конечностей легкоатлетов.

Впервые установлено, что увеличение курса роботизированной биоуправляемой механотерапии (с 5 до 10 процедур) способствует, помимо нормализации баланса силовых параметров мышц-антагонистов, улучшению параметров нервно-мышечной передачи и нормализации артериального и венозного

кровотока, повышению мышечной координации, оптимизации мышечного усилия, нормализации периферической гемодинамики на уровне микроциркуляторного русла и формированию биомеханически правильных движений суставов нижних конечностей легкоатлетов.

На выборке высококвалифицированных спортсменов-бегунов подтверждена эффективность биоуправляемой механотерапии не только в увеличении силовых характеристик мышц, но и в оптимизации баланса мышц сгибателей-разгибателей, повышении координации мышечного аппарата, повышении способности дифференцирования мышечных усилий (развитии «мышечного чувства»).

**Теоретическая значимость работы.** Данные исследования дополняют знания в области восстановительной медицины, спортивной медицины и физиотерапии в аспекте применения биоуправляемой механотерапии с целью восстановления функционального состояния опорно-двигательного аппарата нижних конечностей спортсменов в период интенсивной тренировочной деятельности. Полученные данные позволят расширить современные представления о механизмах восстановления функциональных систем организма спортсменов после физических нагрузок.

**Практическая значимость работы.** На основании данных, полученных в результате исследования, разработана методика восстановления функционального состояния опорно-двигательного аппарата спортсменов, включающая применение биоуправляемой механотерапии, которая может быть внедрена в практическую деятельность отделений и центров спортивной медицины. Полученные данные могут быть использованы в учебном процессе на кафедрах восстановительной медицины, спортивной медицины, физиотерапии медицинских и физкультурных ВУЗов. Кроме того, данные исследования могут быть использованы спортивными врачами и тренерами в тренировочном процессе высококвалифицированных спортсменов.

**Методология и методы исследования.**

Тип исследования: рандомизированное контролируемое слепое исследование.

Диссертационная работа является прикладным научным исследованием, выполненным в соответствии с государственным заданием ФГБУ СКФНКЦ ФМБА России 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»).

Методологическим базисом являются работы отечественных и зарубежных авторов, посвященные восстановлению функционального состояния нервно-мышечного аппарата нижних конечностей высококвалифицированных спортсменов. В России основные работы, посвященные восстановлению и реабилитации опорно-двигательного аппарата спортсменов с применением механо- и физиотерапии, опубликованы В.А. Епифановым, А.В. Епифановым и В.В. Арьковым. В работах иностранных ученых роботизированные биомеханические комплексы применяются чаще всего с диагностической целью – для проведения динамометрии, гораздо реже с терапевтической. Кроме того в работах R.L. Burigo, Zinke, A. Vieira была показана высокая эффективность подобных тренировок для повышения мышечной силы.

Объект исследования: 64 спортсмена специализации легкая атлетика. Для объективизации исследования были использованы следующие диагностические методы: стимуляционная электронейромиография, реовазография нижних конечностей, роботизированная динамометрия.

### **Основные положения, выносимые на защиту:**

1. Восстановление опорно-двигательного аппарата нижних конечностей спортсменов-бегунов наиболее эффективно при комплексном применении биоуправляемой механотерапии в изокинетическом режиме с элементами активной и пассивной мобилизации, направленной на оптимизацию баланса мышц коленного и голеностопного суставов, и физиотерапевтических процедур в следующей последовательности: низкочастотная магнитотерапия, гидротерапия и прессотерапия нижних конечностей.

2. Методика восстановления функционального состояния опорно-двигательного аппарата нижних конечностей высококвалифицированных спортсменов-бегунов в период

интенсивной тренировочной деятельности, включающая применение комплекса физиотерапевтических процедур (гидро-, пресси- и магнитотерапии) способствует нормализации периферической гемодинамики, а ее дополнение биоуправляемой механотерапией, направленной на оптимизацию мышечного баланса, позволяет повысить биоэлектрическую активность нервно-мышечного аппарата и улучшить межмышечную и внутримышечную координацию.

3. Проведение одной процедуры биоуправляемой механотерапии в сочетании с комплексом физиотерапевтических процедур способствует повышению силовых показателей мышц, а также увеличению скорости распространения электрического импульса по терминалям аксонов, не имеющих миелиновой оболочки и нормализации параметров артериального кровотока. Короткий курс (5 процедур) способствует ликвидации силового дисбаланса мышц-антагонистов, улучшению биоэлектрической активности нервно-мышечного аппарата и нормализации артериального, венозного кровотока, а увеличение курса до 10 процедур нормализует кровоток на уровне микроциркуляторного русла и позволяет спортсмену сформировать правильные двигательные стереотипы и оптимизировать мышечное усилие при физической нагрузке.

**Внедрение результатов работы.** Материалы исследования внедрены в учебный процесс кафедры анатомии и спортивной медицины ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет физической культуры, спорта и туризма», кафедры физической реабилитации, массажа и оздоровительной физической культуры им. И.М. Саркисова-Серазини РУС «ГЦОЛИФК».

Методика восстановления опорно-двигательного аппарата нижних конечностей спортсменов с использованием биоуправляемой механотерапии и комплекса физиотерапевтических процедур используется в практической деятельности отделения спортивной медицины МЦ Юность ФФГБУ СКФНКЦ ФМБА России.

**Степень достоверности и апробация результатов работы.** Достоверность исследования обеспечена достаточным исследовательским материалом, точным соблюдением протоколов диагностики, лечения и дизайна работы. Полученные данные

анализировались с применением адекватных современных методов математической статистики с использованием программного обеспечения Statistica 13.0.

Материалы диссертации были доложены и обсуждены на XIII Международной научной конференции по вопросам состояния и перспективам развития медицины в спорте высших достижений «СпортМед-2018» (6-7 декабря 2018 г., Москва); IV Всероссийской научно-практической конференции «Современные аспекты санаторно-курортного лечения, медицинской реабилитации и спортивной медицины» (27-28 октября 2020 г., Ессентуки); V Всероссийской научно-практической конференции «Современные аспекты медицинской реабилитации и спортивной медицины» (7-8 октября 2021 г., Ессентуки); Международной научно-практической конференции, посвященной 75-летию ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России (16 — 17 ноября 2021 г., Москва); Всероссийской научно-практической конференции «Спортивная медицина и реабилитация: традиции, опыт и инновации» (29 апреля 2022 г., Краснодар); VI Всероссийской научно-практической конференции «Современные аспекты санаторно-курортного лечения, медицинской реабилитации и спортивной медицины» (20-22 октября 2022 г., Ессентуки); VII Международной конференции «Инновации в спорте, туризме и образовании icISTIS-2022» (1-2 декабря 2022 г., Челябинск); Всероссийской научно-практической конференции «Спортивная медицина и реабилитация: традиции, опыт и инновации» (11 апреля 2023 г., Краснодар).

#### **Соответствие паспорту научной специальности.**

Диссертационная работа соответствует паспорту специальности: 3.1.33 – Восстановительная медицина, спортивная медицина, лечебная физкультура, курортология и физиотерапия, медико-социальная реабилитация п. 4. «Разработка и внедрение здоровьесберегающих технологий превентивной, трансляционной, персонифицированной и цифровой медицины с использованием природных лечебных факторов и других средств немедикаментозной терапии», п. 5. «Разработка методов рационального использования физических упражнений, прочих средств физической культуры и спорта для укрепления здоровья, профилактики и лечения заболеваний, повышения физической работоспособности. Определение эффективных мероприятий по предупреждению

заболеваний и травм у спортсменов, наиболее рациональных гигиенических условий физического воспитания. Разработка средств и методов медицинского контроля за функциональным состоянием лиц, занимающихся спортом, а также программ восстановления нарушенных функций и реабилитации спортсменов».

**Публикации.** По материалам диссертации опубликовано 14 печатных работ, в том числе: 3 – в изданиях, входящих в базу данных Scopus, 4 в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России, 1 методические рекомендации, 2 патента на промышленный образец, 1 патент на изобретение, 1 свидетельство на регистрацию базы данных.

**Личный вклад автора.** Личный вклад автора заключается в непосредственном участии на всех этапах планирования и выполнения диссертационной работы. Диссертантом были определены цель и задачи исследования, объем и методы исследования, разработана методика применения биоуправляемой механотерапии, оптимизирующей мышечный баланс, для восстановления функционального состояния опорно-двигательного аппарата нижних конечностей высококвалифицированных спортсменов в период интенсивной тренировочной деятельности. Автор лично участвовал в наборе исследовательского материала. Полученные результаты были проанализированы и интерпретированы соискателем.

**Объем и структура работы.** Диссертация имеет традиционную структуру, состоит из разделов: введение, обзор литературы, главы методов и организации исследования, трех глав результатов собственных исследований, главы заключения, выводов, списка литературы. Работа изложена на 154 страницах, содержание работы иллюстрируют 17 рисунков и 31 таблица. Список литературы включает 198 источников, из которых 94 – иностранных.

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ**

**Материалы и методы исследования.** В исследовании приняли участие спортсмены специализации легкая атлетика, всего 64 человека, среди них имели квалификацию кандидат в мастера спорта - 21 человек, мастер спорта - 33 человека, мастер спорта международного класса - 10 человек. Средний возраст – 25,0±2,9 лет. Спортсменов мужского пола – 33 человека, женского пола – 31 человек. Специализации спортсменов: бег на короткие дистанции –

18 человек, бег на средние дистанции – 21 человек, бег на длинные дистанции – 25 человек. Исследование проводилось в Центре медико-биологических технологий ФГБУ СКФНКЦ ФМБА России на базе ФГБУ «Юг-Спорт» в период учебно-тренировочных сборов, после подписания информированного добровольного согласия согласно приказу №390н Минздравсоцразвития от 23 апреля 2012 г., с одобрения локального этического комитета ФГБУ СКФНКЦ ФМБА России.

Исследование функционального состояния нервно-мышечного аппарата (НМА) спортсменов разных групп в покое осуществлялось с помощью метода стимуляционной ЭНМГ. Для регистрации моторных ответов с короткого разгибателя пальцев стопы (*Extensor digitorum brevis*), иннервируемой глубоким малоберцовым нервом (n. *Peroneus*), проводилась стимуляция с помощью 4-х канального АПК «Нейро-МВП» компании «Нейрософт» (г. Иваново). Электростимуляцию проводили прямоугольными импульсами, время стимула – 0,2 мс, сила тока подбиралась индивидуально в диапазоне 15-30 мА.

Оценка силовых показателей мышечного аппарата нижних конечностей проводилась с помощью роботизированной динамометрии на роботизированном биомеханическом комплексе (РБК) *Con-trex* (*PHYSIOMED Elektromedizin AG*, Германия). Использовался модуль *MJ*, режим диагностического исследования – изокинетический (до 60° в секунду), позиция спортсмена – сидя при исследовании коленного сустава, лежа при исследовании голеностопного сустава, движение в суставе – сгибание и разгибание.

Исследование периферической гемодинамики нижних конечностей выполнялось с помощью реографического комплекса «Валента» (г. Санкт-Петербург). Электроды накладывались на стопу, голень, бедро (область над коленным суставом).

Методы восстановления:

Гидротерапия проводилась с использованием четырехкамерной струйно-контрастной ванны *Veika hospites* (Германия) для верхних и нижних конечностей. Параметры выполнения процедуры: длительность сеанса – 10 минут, температура воды – 38° и 14°, время цикла – 45 секунд, скорость потока – 220 литров в минуту, давление – 1 атм.

Прессотерапия нижних конечностей выполнялась с помощью 12-канального аппарата BTL-6000 LYMPHASTIM 12 (Великобритания) в режиме «физиологической терапии», длительность сеанса – 30 минут, давление манжеты – 60 мм рт. ст.

Магнитотерапия проводилась на аппарате Mag-Expert (Physiomed, Германия) использовалась катушка индуктивности 600 мм, время воздействия – 15 минут, плотность магнитного потока – 0,006 Тл, частота – 25 Гц.

Дизайн исследования представлен на схеме (Рисунок 1)



Рисунок 1. Дизайн исследования

У спортсменов основной группы (ОГ), помимо физиотерапевтических процедур (магнито-, гидро-, прессотерапия), проводилась механотерапия коленного и голеностопного суставов на РБК с БОС Con-trex MJ в изокINETическом режиме, с концентрическим и эксцентрическим типом сопротивления, ограничением движения по скорости – 60°/с. У спортсменов контрольной группы (КГ) проводился только комплекс физиотерапевтических процедур без применения биоуправляемой механотерапии.

Статистическая обработка данных проводилась с помощью программного обеспечения Statistica 13.0 и заключалась в сравнении показателей, полученных до и после применения механотерапии и комплекса восстановительных процедур у спортсменов ОГ и КГ с помощью Т-критерия Вилкоксона. Сравнение показателей спортсменов ОГ с параметрами атлетов КГ осуществлялось с помощью непараметрического U-критерия Манна-Уитни.

### **Разработка и оценка влияния комплекса восстановительных физиотерапевтических процедур на функциональное состояние опорно-двигательного аппарата спортсменов**

Для восстановления опорно-двигательного аппарата (ОДА) и периферической гемодинамики спортсменов был выбран комплекс физиотерапевтических процедур, включающий сочетанное применение магнито-, гидро- и прессотерапии. При оценке срочных и курсовых эффектов воздействия физиотерапевтических процедур на функциональное состояние НМА необходимо отметить отсутствие статистически значимых изменений параметров стимуляционной ЭНМГ и роботизированной динамометрии после применения 1-о, 5-о и 10-о сеанса процедур гидро-, прессо- и магнитотерапии. Исследование периферического кровотока после одного воздействия физиопроцедур (гидро-, прессо- и магнитотерапии) показало статистически значимое увеличение времени распространения реографических волн в сегменте «стопа» справа у легкоатлетов мужского пола (до –  $0,29 \pm 0,001$  с, после –  $0,31 \pm 0,01$  с,  $p < 0,02$ ). Анализ данных реовазографического исследования после проведения курса восстановительных процедур (по 5 процедур магнито-, прессо- и гидротерапии) позволил выявить нормализацию диастолического индекса в сегменте «стопа» справа

(до  $0,21 \pm 0,09$  усл.ед., после  $0,49 \pm 0,06$  усл.ед.,  $p < 0,01$ ). При анализе реографических данных у спортсменов после проведения длительного курса физиотерапевтических процедур (по 10 процедур магнито-, пресси- и гидротерапии) было выявлено снижение параметров времени максимального (Alfa) систолического наполнения сосудов (слева до  $-0,15 \pm 0,01$  с, после  $-0,12 \pm 0,01$  с  $p < 0,01$ ; справа до  $-0,18 \pm 0,01$  с, после  $-0,12 \pm 0,01$  с,  $p < 0,04$ ) и времени медленного (Alfa 2) наполнения сосудов в сегменте «стопа» с обеих сторон (Рисунок 2).

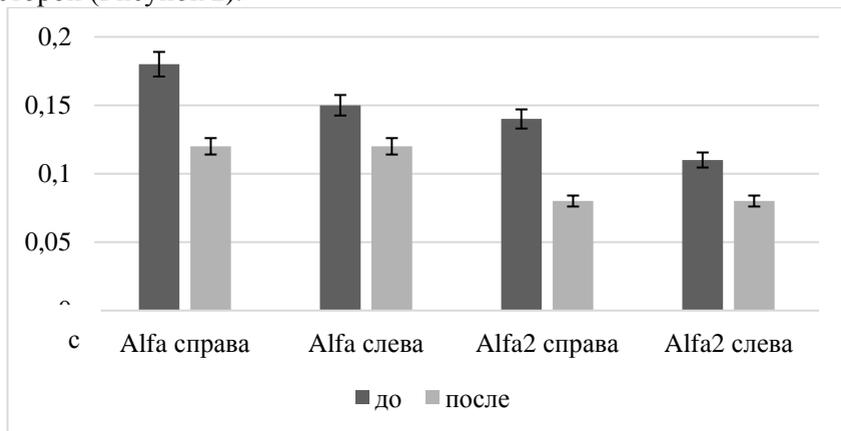


Рисунок 2. Параметры времени максимального систолического наполнения сосудов (Alfa) и медленного наполнения сосудов (Alfa2) в сегменте «стопа» у легкоатлетов до и после проведения курса физиотерапевтических процедур

### **Методика применения биоуправляемой механотерапии**

Методика восстановления ОДА нижних конечностей спортсменов с помощью биоуправляемой механотерапии представлена на рисунке 3.

Задачами применения методики восстановления функционального состояния ОДА с помощью биоуправляемой механотерапии являются: оптимизация мышечного баланса – усиление слабых мышечных групп, нивелирование спазмированных участков мышечной ткани; профилактика усталостных травм и повреждений ОДА при интенсивных физических нагрузках, возникающих вследствие нарушенной биомеханики движения в суставе; нормализация кровотока и нервно-мышечной передачи для ускорения процессов срочного восстановления после нагрузок.

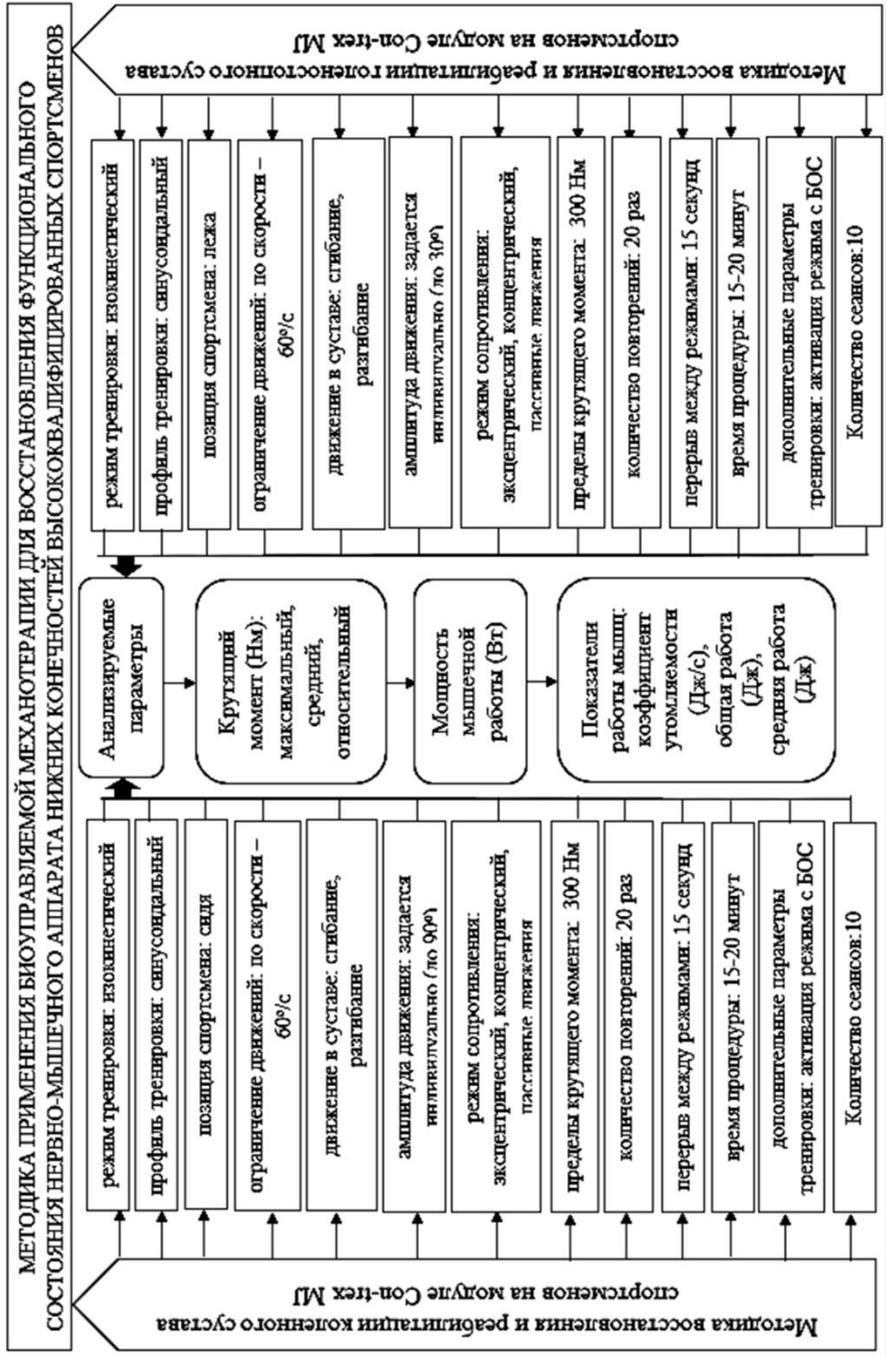


Рисунок 3. Схема методики применения биуправляемой механотерапии для восстановления функционального состояния НМА нижних конечностей высококвалифицированных спортсменов в период интенсивной тренировочной деятельности

Показания к применению методики: большие по объему и интенсивности физические нагрузки; состояния перенапряжения и перетренированности ОДА и их профилактика; необходимость повышения функциональных возможностей ОДА спортсменов; мышечный дисбаланс, недостаточный уровень развития отдельных мышечных групп.

Противопоказания к применению методики: острые травмы; болезненные состояния, сопровождающиеся острым болевым синдромом, лихорадочными состояниями.

### **Влияние биоуправляемой механотерапии и комплекса восстановительных процедур на функциональное состояние опорно-двигательного аппарата легкоатлетов**

Динамометрическое исследование мышечного аппарата нижних конечностей позволило выявить повышение параметров крутящего момента подошвенных сгибателей стопы (крутящий момент средний до –  $61,5 \pm 8,2$  Нм, после –  $65,1 \pm 7,7$  Нм,  $p < 0,02$ ; крутящий момент средний/кг до –  $0,88 \pm 0,11$  Нм/кг, после –  $0,91 \pm 0,12$  Нм/кг,  $p < 0,005$ ) и тыльных разгибателей стопы после одного сеанса механотерапии (крутящий момент средний до –  $40,3 \pm 7,6$  Нм, после –  $43,2 \pm 6,7$  Нм,  $p < 0,01$ ; крутящий момент средний/кг до –  $0,53 \pm 0,12$  Нм/кг, после –  $0,54 \pm 0,12$  Нм/кг,  $p < 0,01$ ). Данные стимуляционной ЭНМГ после одного сеанса механотерапии показали снижение показателя резидуальной латентности справа (до  $2,59 \pm 0,2$  мс, после  $1,99 \pm 0,1$  мс  $p < 0,02$ ). Анализ гемодинамических показателей позволил выявить статистически значимое снижение параметров реографического индекса в сегменте «голень» справа (до –  $2,14 \pm 0,33$ , после –  $1,17 \pm 0,12$ ,  $p < 0,006$ ) и слева (до –  $1,98 \pm 0,22$ , после –  $1,17 \pm 0,11$ ,  $p < 0,005$ ) у спортсменов мужского пола, что свидетельствует о нормализации у них пульсового кровенаполнения.

Анализ динамометрических показателей мышечного аппарата коленного сустава не позволил выявить каких-либо статистически значимых изменений параметров крутящего момента справа у спортсменов-мужчин после курса механотерапии (5 процедур). Однако слева выявлено снижение параметров среднего крутящего момента мышц-сгибателей коленного сустава (до –  $38,7 \pm 4,8$  Нм, после –  $30,2 \pm 2,2$  Нм,  $p < 0,03$ ). При этом после курса

механотерапии отмечается симметричность параметров приложения силы как в направлении сгибания, так и разгибания (Рисунок 4).

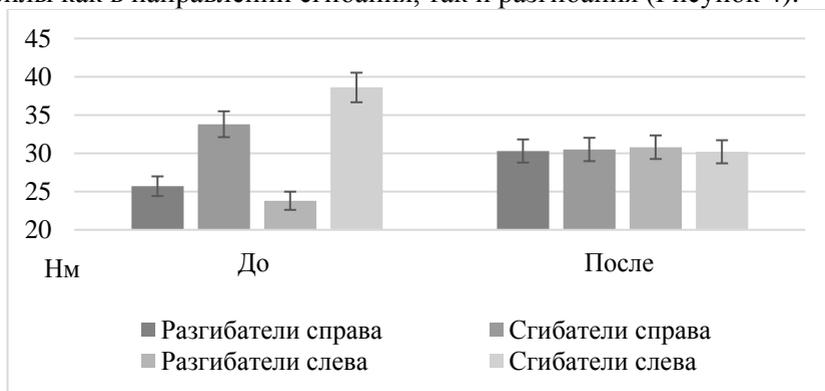


Рисунок 4. Динамика параметров среднего крутящего момента мышечного аппарата коленного сустава до и после курса механотерапии у спортсменов мужского пола

Результаты ЭМГ-исследования у легкоатлетов-мужчин позволили выявить рост амплитуды М-ответа, регистрируемого с короткого разгибателя пальцев стопы при стимуляции глубокого малоберцового нерва в точках «предплюсна» (до  $5,11 \pm 0,3$  мВ, после  $6,4 \pm 0,5$  мВ,  $p < 0,04$ ). В точке стимуляции «головка малоберцовой кости» слева зарегистрировано увеличение параметров площади (до  $15,8 \pm 1,1$  мВ\*мс, после  $21,8 \pm 1,7$  мВ\*мс,  $p < 0,02$ ) М-ответа. Исследование кровотока показало, что параметры реографического индекса в сегменте «голень» после курса роботизированной гимнастики (5 процедур) уменьшились до нормативных значений (до  $2,14 \pm 0,3$  усл.ед., после  $1,20 \pm 0,1$  усл.ед.,  $p < 0,002$ ). Выявлено значительное снижение показателей венозного оттока в сегменте «стопа» (до  $45 \pm 5,8\%$ , после  $19,4 \pm 2,4\%$ ,  $p < 0,001$ ).

Сравнение показателей мышечного утомления и работы после курса из 10 процедур механотерапии показало статистически значимое снижение значений мышечного утомления левого тыльного разгибателя стопы (до  $-0,7 \pm 0,01$  Дж/с, после  $-0,4 \pm 0,01$  Дж/с  $p < 0,007$ ), а также правого подошвенного сгибателя стопы (до  $-0,23 \pm 0,04$  Дж/с, после  $-0,19 \pm 0,04$  Дж/с  $p < 0,002$ ). Значения максимального и среднего крутящего момента исследуемой группы

мышц не имело достоверных отличий, кроме того параметры мощности мышечной работы статистически не изменились, что свидетельствует о приложении спортсменом постоянного дозированного усилия в режиме тренировки как с эксцентрическим сопротивлением, так и с концентрическим.

Результаты ЭНМГ показали, что скорость распространения возбуждения (СРВ) у спортсменок ОГ на участке «головка малоберцовой кости» – «подколенная ямка» справа выше в сравнении с данными спортсменок КГ (КГ  $58,9 \pm 1,5$  м/с, ОГ  $62 \pm 2,4$  м/с,  $p < 0,02$ ). Анализ параметров ЭНМГ у мужчин после курса механотерапии (10 процедур) показал, что у спортсменов КГ СРВ на отрезке «предплюсна» – «головка малоберцовой кости» ниже, чем у спортсменов ОГ (Таблица 1).

Таблица 1 - Параметры М-ответа, регистрируемого с короткого разгибателя пальцев стопы, у спортсменов ОГ и КГ после проведения курса физиопроцедур и механотерапии

№ п/п	Показатели	Правая нога		P<	Левая нога		P<
		ОГ, n=21	КГ, n=10		ОГ, n=21	КГ, n=10	
Точка стимуляции «головка малоберцовой кости»							
1	Латентность, мс	$10 \pm 0,3$	$11 \pm 0,52$	0,02	$10 \pm 0,2$	$11 \pm 0,3$	0,01
2	Амплитуда, мВ	$7,0 \pm 0,6$	$5,6 \pm 0,60$	-	$6,5 \pm 0,3$	$6,7 \pm 0,6$	-
3	Длительность, мс	$7,3 \pm 0,3$	$7,7 \pm 0,28$	-	$7,2 \pm 0,2$	$7,3 \pm 0,3$	-
4	Площадь, мВ*мс	$21 \pm 1,3$	$23 \pm 2,84$	-	$25 \pm 1,2$	$23 \pm 2,1$	-
5	СРВ, м/с	$54 \pm 1,0$	$48 \pm 1,64$	0,01	$55 \pm 1,7$	$47 \pm 1,9$	0,01

Примечание: СРВ – скорость распространения возбуждения по моторным волокнам глубокого малоберцового нерва

Реовазографическое исследование показало, что после 10 сеансов механотерапии наблюдается повышение показателей микроциркуляции до нормативных значений (дикротический индекс до  $0,27 \pm 0,04$  усл.ед., после  $0,44 \pm 0,02$  усл.ед.,  $p < 0,003$ ).

Результаты динамометрического исследования показали, что после курса механотерапии разница между параметрами максимального (правый разгибатель стопы –  $39,5 \pm 6,5$  Нм, правый сгибатель стопы –  $40,7 \pm 3,8$  Нм, левый разгибатель стопы –  $40,6 \pm 2,7$  Нм, левый сгибатель стопы –  $39,1 \pm 3,0$  Нм) и среднего крутящего момента (правый разгибатель стопы –  $39,0 \pm 1,8$  Нм, правый сгибатель стопы –  $39,6 \pm 2,2$  Нм, левый разгибатель стопы –  $39,2 \pm 3,9$  Нм, левый сгибатель стопы –  $39,0 \pm 1,3$  Нм) у спортсменов ОГ практически отсутствует, в отличие от спортсменов КГ, что свидетельствует о точном дозировании усилия, приложенном спортсменом для выполнения упражнения.

## **ВЫВОДЫ**

1. Адаптация опорно-двигательного аппарата и периферического кровотока легкоатлетов, специализирующихся в беге, к интенсивным тренировочным нагрузкам сопровождается выраженным дисбалансом мышц-антагонистов суставов нижних конечностей, а также увеличением артериального притока крови, затруднением венозного оттока и нарушением микроциркуляции.

2. Методика восстановления опорно-двигательного аппарата нижних конечностей спортсменов включает проведение биоуправляемой механотерапии в изокинетическом режиме с элементами активной и пассивной мобилизации, направленной на оптимизацию баланса мышц коленного и голеностопного суставов, и комплекса физиотерапевтических процедур, в следующей последовательности: низкочастотная магнитотерапия, гидротерапия и прессотерапии нижних конечностей.

3. Применение комплекса физиотерапевтических процедур (магнито-, гидро-, прессотерапии) способствует нормализации показателей артериального притока (реографического индекса с  $1,33 \pm 0,12$  до  $0,8 \pm 0,1$ ,  $p < 0,04$ ), венозного оттока (с  $30,7 \pm 6,6\%$  до  $24,7 \pm 5,1\%$ ,  $p < 0,05$ ) и микроциркуляции (с  $0,3 \pm 0,02$  до  $0,47 \pm 0,07$ ,  $p < 0,01$ ) нижних конечностей у легкоатлетов, специализирующихся в беге, в период интенсивной тренировочной деятельности.

4. Применение у спортсменов одного сеанса роботизированной биоуправляемой механотерапии в комплексе с физиотерапевтическими процедурами (магнито-, гидро-, прессотерапии) способствует достоверному росту силовых

показателей мышечных групп (с  $61,5 \pm 8,2$  Нм до  $65,1 \pm 7,7$  Нм,  $p < 0,02$ ), повышению скорости распространения электрического импульса по терминалям аксонов, не имеющих миелиновой оболочки (время резидуальной латентности снизилось с  $2,59 \pm 0,2$  с до  $1,99 \pm 0,14$  с,  $p < 0,02$ ) и нормализации параметров артериального кровотока по данным реографического индекса с  $2,14 \pm 0,33$  до  $1,17 \pm 0,12$ ,  $p < 0,006$ .

5. Применение курса роботизированной биоуправляемой механотерапии (5 процедур) в комплексе с физиотерапевтическими процедурами (магнито-, гидро-, прессотерапии) способствует нормализации баланса силовых параметров мышц-антагонистов, повышению скорости распространения электрического импульса по нервным волокнам (с  $64,1 \pm 2,0$  м/с до  $68,7 \pm 2,3$  м/с,  $p < 0,05$ ), увеличению амплитуды (с  $4,8 \pm 0,3$  мВ до  $6,0 \pm 0,4$  мВ,  $p < 0,05$ ), площади (с  $15,8 \pm 1,1$  мВ\*мс до  $21,8 \pm 1,7$  мВ\*мс,  $p < 0,04$ ), снижению латентности моторного ответа (с  $4,1 \pm 0,3$  мс до  $3,6 \pm 0,1$  мс,  $p < 0,02$ ), нормализации параметров артериального и венозного кровотока.

6. Увеличение курса роботизированной биоуправляемой механотерапии (10 процедур) способствует, помимо нормализации баланса силовых параметров мышц-антагонистов, достоверному улучшению параметров нервно-мышечной передачи и нормализации артериального и венозного кровотока, повышению мышечной координации ( $p < 0,03$ ), оптимизации мышечного усилия ( $p < 0,03$ ), нормализации периферической гемодинамики на уровне микроциркуляторного русла ( $p < 0,05$ ) и формированию биомеханически правильных двигательных навыков.

7. Сравнительный анализ показал, что разработанная методика восстановления функционального состояния опорно-двигательного аппарата нижних конечностей высококвалифицированных спортсменов, специализирующихся в беге, в период интенсивной тренировочной деятельности, с включением биоуправляемой механотерапии, позволяет восстанавливать функциональное состояние опорно-двигательной системы и периферической гемодинамики после интенсивных физических нагрузок, оптимизировать силовой баланс мышечного аппарата, повышать нервно-мышечную координацию более эффективно по сравнению с контрольной группой, в результате чего у спортсменов появляется возможность более точно дозировать мышечное усилие.

## **ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ**

Комплекс физиотерапевтических процедур рекомендуется проводить в следующем порядке с указанными параметрами: магнитотерапия (катушка индуктивности 600 мм, область воздействия – коленный и голеностопный суставы, время воздействия – 15 минут, плотность магнитного потока – 0,006 Тл, частота – 25 Гц), гидротерапия (четырёхкамерная струйно-контрастная ванна для верхних и нижних конечностей: длительность сеанса – 10 минут, температура воды – 38° и 14°, время цикла – 45 секунд, скорость потока – 220 литров в минуту, давление – 1 атм.), прессотерапия (режим «физиологической терапии», длительность сеанса – 30 минут, давление манжеты – 60 мм рт. ст.). Длительность курса физиотерапевтических процедур – 10 процедур ежедневно.

Начинать и завершать процедуру механотерапии рекомендуется с режима пассивной мобилизации мышечного аппарата коленного и голеностопного суставов. Параметры биоуправляемой механотерапии: изокинетический режим; синусоидальный профиль; ограничение движений по скорости 60°/с; режим сопротивления: эксцентрический, концентрический; количество повторений: 20 раз; перерыв между режимами: 15 секунд; время процедуры: 15-20 минут. Курс – 10 процедур ежедневно.

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ**

Перспективным является проведение дальнейших исследований по разработке алгоритмов методик восстановления НМА верхних конечностей спортсменов и мышц туловища с применением биоуправляемой механотерапии. Большой научный и практический интерес представляют исследования, посвященные изучению длительности посттерапевтического периода занятий биоуправляемой механотерапии, способствующей оптимизации мышечного баланса, в комплексе физиотерапевтических процедур.

## **СПИСОК ПЕЧАТНЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

### **Публикации в журналах, входящих в БД Scopus**

1. Абуталимов, А. Ш. Срочные эффекты применения роботизированной механотерапии в период восстановления после интенсивных физических нагрузок у легкоатлетов / А. Ш. Абуталимов, С. М. Абуталимова, Г. Н. Тер-Акопов, С. В. Нопин, Ю. В. Корягина // Человек. Спорт. Медицина - 2023. - Т. 23, S2. - С. 193-199.

2. Абуталимов, А. Ш. Роботизированная механотерапия в комплексе процедур для восстановления функционального состояния нервно-мышечного аппарата и периферической гемодинамики легкоатлетов. / А. Ш. Абуталимов, Ю. В. Корягина, С. М. Абуталимова, Г. Н. Тер-Акопов, С. В. Нопин // Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. - 2023. - Т.100(3), №3. - С. 39–45.

3. Абуталимов, А. Ш. Оценка эффективности программ восстановления функционального состояния опорно-двигательного аппарата легкоатлетов с использованием методов физио- и механотерапии / А. Ш. Абуталимов, С. М. Абуталимова, Г. Н. Тер-Акопов // Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. - 2023. - Т.100(3), №2. - С.33-34.

#### **Публикации в журналах, входящих в перечень ВАК**

1. Абуталимов, А. Ш. Влияние биоуправляемой механотерапии на динамометрические показатели мышечного аппарата коленного сустава высококвалифицированных легкоатлетов. / А. Ш. Абуталимов // Курортная медицина. - 2023. - №3. - С. 15-19.

2. Абуталимов, А. Ш. Функциональное состояние нервно-мышечного аппарата и гемодинамика нижних конечностей спортсменов-легкоатлетов. / А. Ш. Абуталимов // Современные вопросы биомедицины. - 2021. - Т. 5, №4.(17). - С.74-80.

3. Абуталимов, А. Ш. Влияние сеанса механотерапии на функциональное состояние нервно-мышечного аппарата и гемодинамику нижних конечностей спортсменов легкоатлетов. / А. Ш. Абуталимов, С. М. Абуталимова // Современные вопросы биомедицины. - 2020. - Т. 4, № 4 (13). - С. 44-53.

4. Абуталимов А. Ш. Эффекты применения роботизированного диагностического тренажерного комплекса Con-trex в реабилитации легкоатлетов с повреждением коленного сустава. / А. Ш. Абуталимов // Современные вопросы биомедицины. - 2018. - Т. 2, № 4 (5). - С. 69-71.

#### **Свидетельства на результаты интеллектуальной деятельности**

1. 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. Заявка № 2022503612 от 20.08.2022.

2. Абуталимов, А. Ш. Силовые параметры автохтонных мышц туловища спортсменов. / А. Ш. Абуталимов, С. М. Абуталимова, Ю. В. Корягина, Г. Н. Тер-Акопов, С. В. Нопин // Свидетельство о регистрации базы данных 2022620815, 15.04.2022. Заявка № 2022620657 от 06.04.2022.

3. Корягина Ю. В. Схема послеполетной медицинской реабилитации опорно-двигательного аппарата космонавтов на санаторно-курортном этапе / Ю. В. Корягина, С. М. Абуталимова, С. В. Нопин, Г. Н. Тер-Акопов, А. Ш.

Абуталимов // Патент на промышленный образец 135729, 09.03.2023. Заявка № 2022504676 от 25.10.2022.

4. Абуталимов, А. Ш. Способ оптимизации баланса мышц нижних конечностей спортсменов с помощью роботизированной механотерапии / А. Ш. Абуталимов, С. М. Абуталимова, Г. Н. Тер-Акопов, Ю. В. Корягина, С. В. Нопин // Патент на изобретение. Заявка № 2023100333 от 11.01.2023 (получено положительное решение о выдаче патента)

#### **Статьи, опубликованные в сборниках трудов конференций**

1. Абуталимова, С. М., Особенности нервно-мышечной передачи у легкоатлетов-бегунов на различные дистанции. / С. М. Абуталимова, А. Ш. Абуталимов // В книге: юбилейная международная научно-практическая конференция «ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И.Бурназяна ФМБА России: 75 лет на страже здоровья людей». Тезисы докладов. - Москва, 2021. - С. 14-15.

2. Абуталимов, А. Ш. Применение роботизированного биомеханического комплекса в реабилитации и восстановлении спортсменов легкоатлетов с повреждением капсульно-связочного аппарата коленного сустава / А. Ш. Абуталимов // В сборнике: СПОРТМЕД-2018. Сборник материалов тезисов XIII Международной научной конференции. - 2018. - С. 133.

#### **Методические рекомендации**

1. Корягина, Ю. В. Технологии роботизированной механотерапии в восстановлении и реабилитации опорно-двигательного аппарата спортсменов после интенсивных тренировочных нагрузок в подготовительный и межсезонный периоды подготовки. / Ю. В. Корягина, Г. Н. Тер-Акопов, А. Ш. Абуталимов, С. М. Абуталимова, С. В. Нопин, А. Н. Попов. // Методические рекомендации. - Ессентуки: ФГБУ СКФНКЦ ФМБА России, 2022. – 70 с.

#### **СПИСОК ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ**

БОС- биологическая обратная связь

КГ – контрольная группа

ЛФК – лечебная физическая культура

М-ответ – моторный ответ

НМА – нервно-мышечный аппарат

ОГ-основная группа

ОДА – опорно-двигательный аппарат

РБК- роботизированный биомеханический комплекс

СРВ – скорость распространения возбуждения

ЭНМГ-электронейромиография