ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-КЛИНИЧЕСКИЙ ЦЕНТР
ФЕДЕРАЛЬНОГО МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКОГО АГЕНТСТВА»

На правах рукописи

АБУТАЛИМОВ АЛИ ШАМИЛЬЕВИЧ

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

3.1.33 – восстановительная медицина, спортивная медицина, лечебная физкультура, курортология и физиотерапия, медико-социальная реабилитация

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата медицинских наук

Научный руководитель:
д.б.н., профессор
Ю. В. Корягина

Ессентуки, 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 4

ГЛАВА 1. ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ ЛЕГКОАТЛЕТОВ, ОСОБЕННОСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ И РЕАБИЛИТАЦИИ 16

1.1 Адаптация функционального состояния опорно-двигательного аппарата, нервно-мышечной системы и периферической гемодинамики легкоатлетов к специфическим физическим нагрузкам 16

1.2 Особенности утомления, переутомления и перенапряжения опорно-двигательного аппарата и нервно-мышечной системы нижних конечностей при беговых нагрузках 25

1.3 Методы и средства восстановления и реабилитации опорно-двигательного аппарата и нервно-мышечной системы у спортсменов 31

ГЛАВА 2. МЕТОДЫ И ОРГАНИЗАЦИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ 44

2.1 Методологический аппарат и характеристика контингента исследуемых лиц 44

2.2 Исследование функционального состояния нервно-мышечного аппарата и периферической гемодинамики у высококвалифицированных легкоатлетов до и после проведения восстановительного комплекса процедур 48

2.3 Методы восстановления опорно-двигательного аппарата спортсменов 49

2.4 Статистическая обработка данных 51

ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА И ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КОМПЛЕКСА ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ ФИЗИОТЕРАПЕВТИЧЕСКИХ ПРОЦЕДУР НА ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ОПОРНО-ДВИГАТЕЛЬНОГО АППАРАТА СПОРТСМЕНОВ 52

ГЛАВА 4. МЕТОДИКА ПРИМЕНЕНИЯ БИОУПРАВЛЯЕМОЙ МЕХАНОТЕРАПИИ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ НЕРВНО-МЫШЕЧНОГО АППАРАТА НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ ВЫСОКОКВАЛИФИЦИРОВАННЫХ СПОРТСМЕНОВ В ПЕРИОД ИНТЕНСИВНОЙ ТРЕНИРОВОЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ 60

4.1 Задачи, показания и противопоказания методики восстановления опорно-двигательного аппарата с помощью биоуправляемой механотерапии 60

4.2 Содержание методики восстановления опорно-двигательного аппарата с помощью биоуправляемой механотерапии 61

ГЛАВА 5. ВЛИЯНИЕ БИОУПРАВЛЯЕМОЙ МЕХАНОТЕРАПИИ И КОМПЛЕКСА ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕДУР НА ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ОПОРНО-ДВИГАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ЛЕГКОАТЛЕТОВ 67

5.1 Влияние одного сеанса биоуправляемой механотерапии, оптимизирующей мышечный баланс, и комплекса восстановительных процедур на функциональное состояние опорно-двигательного аппарата спортсменов 67

5.2 Влияние курсового применения (5 процедур) биоуправляемой механотерапии, оптимизирующей мышечный баланс, и комплекса восстановительных процедур на функциональное состояние опорно-двигательного аппарата спортсменов 73

5.3 Влияние длительного применения курса биоуправляемой механотерапии (10 процедур), оптимизирующей мышечный баланс, и комплекса восстановительных процедур на функциональное состояние опорно-двигательного аппарата спортсменов 85

5.4 Оценка влияния биоуправляемой механотерапии, оптимизирующей мышечный баланс, в комплексе процедур при восстановлении функционального состояния опорно-двигательного аппарата и периферической гемодинамики спортсменов в период интенсивной тренировочной деятельности 99

ЗАКЛЮЧЕНИЕ 120

ВЫВОДЫ 125

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ 127

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ 128

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ 128

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 130

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность. Известно, что функциональное состояние нервно-мышечного аппарата спортсменов является одним 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). Нельзя не отметить, что тренировочные нагрузки, действующие на высококвалифицированных спортсменов, значительно превосходят те, которые оказывают влияние на человека в обычной жизни. При этом адаптация опорно-двигательного аппарата к систематическим занятиям физическими упражнениями осуществляется за счет функциональных и структурных изменений нервно-мышечной системы (Ю.В. Корягина соавт., 2021; Э.Р. Румянцева, Е.В. Тарасова, 2019; А.А. Семченко, 2019). 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). Кроме того, стремление спортсмена к более высокому результату влечет за собой необходимость осваивать большие нагрузки, часто предельные, за небольшой промежуток времени, что несомненно является фактором риска для возникновения травм и усталостных повреждений (А.В. Беляева, А.С. Улаев, 2022; Е.А. Лосева, С.В. Чернов, 2019; А.В. Тарасов, О.И. Беличенко, А.В. Смоленский, 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 нервно-мышечного аппарата учеными разных стран подробно описано положительное влияние таких методов, как вибро- и гидротерапия, термовоздействия (Ю.В. Корягина с соавт., 2022; И.Е. Попова, 2019). Разработаны программные методики

занятий лечебной физической культурой, направленные на сокращение сроков восстановления после интенсивных физических нагрузок (Л.И. Бражник, 2020). Специалисты отмечают, что применение механотерапии у спортсменов менее изучено, однако не менее перспективно (Н.А. Карева, Л.В. Капилевич, 2022). Зарубежные исследования последних лет показали, что применение роботизированных биомеханических комплексов с биологической обратной связью позволяет более эффективно сократить сроки реабилитации у пациентов с патологией опорно-двигательного аппарата в сравнении с классическим занятиями лечебной физической культурой (H. Nedergard et al., 2021). Было отмечено, что несомненными достоинствами лечебных тренировок на роботизированных биомеханических комплексах с биологической обратной связью является возможность строго дозировать силу, скорость и амплитуду движения пациента, но их влияние на нервно-мышечную передачу (Уйба В.В. с соавт., 2022; Д.В. Разваляева с соавт., 2019), мышечный баланс и периферическую гемодинамику по-прежнему остается неизученным.

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.

Разработанная методика будет использоваться в спортивной медицине, реабилитации, физиотерапии и медико-биологическом сопровождении тренировочного процесса для оптимального восстановления опорно-двигательного аппарата нижних конечностей высококвалифицированных спортсменов.

Степень разработанности темы исследования.

В настоящее время многие исследователи отмечают перспективность применения биоуправляемой механотерапии в комплексе различных процедур, однако ее использование более исследовано в клинической практике при реабилитации пациентов с патологией центральной и периферической нервной

системы в сравнении со спортивной. Так, роботизированная механотерапия 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).

Проведены единичные исследования применения механотерапии и в спортивной практике. Так, 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 для увеличения суставной мобильности в постоперационный период. Кроме того, отсутствуют данные о влиянии механотерапии на биоэлектрическую активность нервно-мышечной ткани и периферическую гемодинамику.

Таким образом, можно заключить об отсутствии научно обоснованных методик применения биоуправляемой механотерапии в качестве средства восстановления опорно-двигательного аппарата нижних конечностей у спортсменов 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.

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. 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 экспериментально 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 дифференцировании мышечных усилий (развитии «мышечного чувства»).

Новые разработанные методики и полученные данные отражены в следующих результатах интеллектуальной деятельности:

- Патент на промышленный образец № 134705 «Схема медицинского контроля функционального состояния нервно-мышечного аппарата тяжелоатлетов» от 20 августа 2022 г.

- Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2022620815 «Силовые параметры автохтонных мышц спортсменов» от 15 апреля 2022 г.

- Патент на промышленный образец, заявка № 2022504676/49 от 25.10.2022 (принято решение о выдаче патента на промышленный образец) «Схема послеполетной медицинской реабилитации опорно-двигательного аппарата космонавтов на санаторно-курортном этапе».

- Патент на изобретение, заявка № 2023100333 от 11.01.2023 «Способ оптимизации баланса мышц нижних конечностей спортсменов с помощью роботизированной механотерапии».

Теоретическая значимость исследования. Данные исследования дополнят 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 о влиянии лечебных тренировок на роботизированных биомеханических комплексах с биологической обратной связью в сочетании с физиотерапевтическими процедурами (прессотерапия, магнитотерапия, гидротерапия) на показатели нервно-мышечной передачи, мышечного баланса и периферической гемодинамики нижних конечностей спортсменов позволят расширить современные представления о механизмах восстановления функциональных систем организма спортсменов после физических нагрузок.

Практическая значимость исследования. 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.В. Арьков с соавт., 2022; В.В. Арьков с соавт., 2019; В.А. Епифанов, А.В. Епифанов, 2019). В работах иностранных ученых роботизированные биомеханические комплексы применяются чаще всего с диагностической целью – для проведения динамометрии, гораздо реже с терапевтической. Кроме того, была показана высокая эффективность подобных тренировок для повышения мышечной силы (R.L. Burigo et al., 2020; F. Zinke et al., 2019; A. Vieira et al.,2018).

Для достижения цели исследования в работе использовались методы:

1. динамометрии на роботизированных биомеханических комплексах с биологической обратной связью;

2. стимуляционной электронейромиографии;

3. реовазографии сосудов нижних конечностей спортсменов;

4. статистической обработки.

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-, прессо- 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 в практику.

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 с международным участием «Современные аспекты санаторно-курортного лечения, медицинской реабилитации и спортивной медицины», посвященной 100-летию Пятигорского НИИ курортологии (27-28 октября 2020 г., Ессентуки); V Всероссийской научно-практической конференции «Современные аспекты санаторно-курортного лечения, 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 содержания диссертации 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».

Личное участие автора в получении научных результатов.

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, проведен сбор и анализ научных публикаций по теме исследования, в том числе с использованием российских и зарубежных баз данных, 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.

Структура и объем диссертации. 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.

Все участники дали информированное согласие на участие в исследовании в соответствии с Хельсинкской декларацией Всемирной медицинской ассоциации (WMA Declaration of Helsinki – Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects, 2013), а также разрешение на обработку персональных данных. Исследование было одобрено локальным этическим комитетом ФГБУ СКФНКЦ ФМБА России, протокол № 3 от 09.03.2021 г.

ГЛАВА 1
ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ ЛЕГКОАТЛЕТОВ, ОСОБЕННОСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ И РЕАБИЛИТАЦИИ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

1.1 Адаптация функционального состояния опорно-двигательного аппарата, нервно-мышечной системы и периферической гемодинамики легкоатлетов к специфическим физическим нагрузкам

Адаптация спортсмена к возрастающим физическим нагрузкам является немаловажным фактором для успешной спортивной подготовки (U. Granacher et. al., 2016). При этом долговременная адаптация опорно-двигательного аппарата (ОДА) атлета напрямую зависит от направленности тренировочного процесса и осуществляется за счет нескольких механизмов, основными из которых являются: изменение процентного соотношения типов двигательных единиц (ДЕ) и особенностей нервно-мышечной передачи, баланса мышц-антагонистов и синергистов, капсульно-связочных структур, изменения структурной организации костно-суставного аппарата (микроархитектоники) (А.Л. Акопян, 1987; L. Maestroni et al., 2020). При этом суставы, связки, сухожилия, мышцы нижних конечностей и нервные волокна, отвечающие за их иннервацию, претерпевают более значительные структурные и функциональные изменения в процессе адаптации к беговым нагрузкам в сравнении с анатомическими структурами верхних конечностей и туловища. Установлено, что в результате длительного тренировочного процесса у легкоатлетов, специализирующихся в беге, минерализация пяточных и бедренных костей выше, чем у людей, не занимающихся спортом (Н. В. Черницына, 2015; D.P. Longman, J.C.K. Wells, J.T. Stock, 2020).

Исследования ОДА спортсменов показывают, что тазобедренный сустав, обладающий тремя степенями свободы, является более стабильным в сравнении с коленным и голеностопным суставом преимущественно за счет более развитых околосуставных мышц и связок. Известно, что большая часть мышц

тазобедренного сустава при беге осуществляет сгибание и разгибание бедра, а также отвечает за стабилизацию осевой нагрузки (K.P. Clark, C.R. Meng, D.J. Stearne, 2020). Большая ягодичная мышца, обеспечивающая разгибание бедра при беге и отвечающая за мощность отталкивания от поверхности в опорную фазу бега и эффективность стартового разгона, почти не участвует в разгибании бедра при обычной ходьбе. Биомеханический анализ показал, что при стартовом положении спортсмен сгибает бедро до 120°, ягодичная мышца пассивно удлиняется, и для некоторых ее волокон это удлинение составляет до 100% (P. Taboga, R.M. Kram, 2019; Akrami et. al., 2018). При максимальном сгибании в тазобедренном суставе, за которым следует разгибание в коленном суставе, большая ягодичная мышца после растяжения максимально сокращается, обеспечивая тем самым мощность стартового рывка. Учитывая, что большая ягодичная мышца является самой мощной (мощность эквивалентна 34 кг, длина сокращения – 15 см), самой большой (66 см² на поперечном срезе) и самой сильной (статическая сила – 238 кг) мышцей тела, мощность стартового рывка в большей степени зависит от силы ее сокращения (И.Ш. Мутаева, В.В. Иванов, 2021; Е.В. Гусинец, В.Ф. Костюченко, Е.П. Врублевский, 2012; S.R. Hamner, S.L. Delp, 2013).

Коленный сустав функционирует преимущественно в состоянии осевой компрессии, однако во время бега осевая нагрузка на него многократно возрастает. При этом коленный сустав максимально стабилен в положении полного разгибания, именно в эту фазу бега – опорную – сустав подвергается максимальной нагрузке. Известно, что в разогнутом состоянии коленный сустав обладает одной степенью свободы, однако при достижении определенного угла сгибания коленного сустава появляется вторая степень свободы – ротация вокруг продольной оси, что позволяет стопе максимально адаптироваться к неровным поверхностям при беге (А.Е. Бондаренко, 2020; J.B. Morin et al., 2015). Необходимо отметить, что именно в фазу сгибания стабильность коленного сустава значительно снижается, из-за чего растет риск возникновения травм и повреждений связок и менисков (N.B. Tiller et.al., 2021). Отмечается, что у женщин, занимающихся бегом, физиологический вальгус коленного сустава более выражен в сравнении с

мужчинами из-за более широкого таза, так как механическая ось, проходящая через центры тазобедренного, коленного и голеностопного суставов, имеет большее отклонение от центральной оси (K. Hollander et. al., 2021). Исследования показали, что наличие подобной анатомической особенности повышает риск травматизации коленного сустава у женщин при беге по неровной поверхности, так как наклон туловища в противоположную сторону по отношению к опорному коленному суставу ведет к большему расхождению суставных поверхностей во внутренней его части (R.A. Brindle et al., 2020; M.S. Briggs et al., 2017).

Известно, что стабильность коленного сустава обеспечивается, в первую очередь, за счет околосуставного мышечного аппарата (R. Gajda, P. Walasek, M. Jarmuszewski, 2020). При этом разгибательный аппарат коленного сустава представлен четырехглавой мышцей бедра, состоящей из трех моносуставных мышц (латеральная, промежуточная и медиальная широкие мышцы бедра) и одной двусуставной мышцы (прямая мышца бедра). Дисбаланс моносуставных мышц из-за нарушения биомеханики движения в суставе и однотипности циклических тренировочных нагрузок приводит к смещению надколенника у бегунов (A.H. Dewolf, L.E. Peñailillo, P.A. Willems, 2016). Прямая мышца бедра из-за своей двусуставной природы обладает особой значимостью при беговых нагрузках (A.S. Tenforde et al., 2020). Установлено, что она является одновременно антагонистом большой ягодичной мышцы при сгибании в тазобедренном суставе и ее синергистом при разгибании в коленном суставе. При этом сила, генерируемая при отталкивании во время бега большой ягодичной мышцей, воздействует на коленный сустав через прямую мышцу бедра (I. Sulowska, A. Mika, Ł. Oleksy, 2019; Widrick J.J. et al., 1996). Анализируя биомеханику движения в коленном суставе бегуна, необходимо отметить, что ее стоит рассматривать в рамках концепции динамического равновесия, то есть движения в коленном суставе определяются балансом мышечного аппарата, нарушение которого приводит к смещению суставных поверхностей и напряжению связочного аппарата (А.А. Сорокин, 2015).

Голеностопный сустав, являясь дистальным суставом нижней конечности, регулирует движение голени относительно стопы и подвергается экстремальным

механическим нагрузкам в опорную фазу бега (Е.С. Негоденко, Е.В. Медведева, Л.В. Капилевич, 2022). Трехглавая мышца голени играет особую роль при толчке в опорную фазу бега, когда, согласно концепции организации мышечных цепей, энергия от большой ягодичной мышцы передается четырехглавой мышце бедра, а затем треглавой мышце голени через двусуставные мышечные единицы (E. Dorschky et.al., 2019). Данные литературы показали, что среди специалистов в области анатомии, физиологии и биомеханики наиболее сильные мышцы ОДА (большая ягодичная мышца, четырехглавая мышца бедра, трехглавая мышца голени) получили название «антигравитационных», при этом площадь поперечного сечения этих мышц значительно выше, чем у их антагонистов. На сегодняшний день по данным разных авторов целесообразность ликвидации дисбаланса этих мышечных групп все еще остается неясной (В.С. Степанов, 2006; M. Dimcheva, S. Karakuneva, E. Titianova, 2022; D. Somov, M.R. Makarova, E.A. Maiorov, 2022).

Следовательно, в процессе адаптации ОДА к беговым нагрузкам наибольшие структурные и функциональные изменения претерпевают тазобедренный, коленный и голеностопный суставы, а также мышечно-связочный аппарат, регулирующий суставную стабильность и мобильность в фазы опоры и полета (T.R. Derrick et al., 2020).

На протяжении длительного времени публикуется большое количество работ, посвященных изучению организации мышечных волокон у спортсменов разных специализаций (P. Vlahek, V. Matijević, J. Havaš, 2021; M. Sheep, K. Sheep, T. Rekard, 1965). Достаточно давно стало известно, что процентное соотношение типов ДЕ и составляющих их мышечных волокон, а также характер их активации определяют резерв энергетических возможностей спортсмена и являются результатом специфики тренировочного процесса (Е.А. Лысенко с соавт., 2020). Установлено, что медленные мышечные волокна преобладают в процентном соотношении над быстрыми и промежуточными у спортсменов тренирующих преимущественно выносливость – стайеров (бегунов на длинные дистанции) (B. Knechtle, P.T. Nikolaidis, 2018). В процессе спортивной подготовки промежуточные мышечные волокна перенимают свойства медленных мышечных

волокон, повышая таким образом ресурсы для длительной аэробной нагрузки (A. Falisse et al., 2019; B.J. Krabak et al.,2019). Такие волокна обладают большим количеством митохондрий и кислородной емкостью, что позволяет им сокращаться с меньшей скоростью в сравнении с другими типами волокон, но на протяжении более длительного времени (M. Ezati, B. Ghannadi, J. McPhee, 2019). Подобные изменения формируются в результате многолетних тренировок и также являются проявлением долговременной адаптации (К.Г. Береснева, А.В. Спиридонова, 2021; А.В. Самсонова с соавт., 2012; B. Knechtle et al.,2020).

Тренировочный процесс спринтеров, в отличие от стайеров, направлен в первую очередь на развитие скоростно-силовых качеств, в результате чего быстрые мышечные волокна у таких спортсменов преобладают над медленными (Giovanelli, P. Taboga, S. Lazzer, 2017). Кроме того, промежуточные мышечные волокна в процессе спортивной подготовки трансформируются и становятся по характеру активации и мощности сокращения схожими с быстрыми мышечными волокнами (В.В. Тюпа, О.Д. Михайлова, О.Н. Мнухина, 2020). Дж. Л. Андерсен с соавт. в своей работе отметили, что быстрые мышечные волокна в своем составе имеют меньше коллагена в сравнении с медленными, что делает их более пластичными и позволяет сокращаться им с большей скоростью и мощностью (J.L. Andersen, P. Schjerling, B. Saltin, 2000). Также известно, что пиковая мощность сокращения быстрых мышечных волокон в четыре раза превосходит медленные за счет высокой скорости подачи импульса к ним от более крупных мотонейронов (J.F. Vigh-Larsen, N. Ørtenblad, L.L. Spriet, 2021). Результаты исследований упругих свойств мышц показали, что чем жестче мышца, тем больше в ней быстрых волокон. При этом растяжение в ней перед сокращением меньше, а сила больше. Установлено, что мышечно-связочный аппарат голеностопного сустава спринтеров значительно превосходит по жесткости аналогичные анатомические структуры спортсменов других видов спорта (Л.И. Марцинович, 2021; И.В. Пискунов, Р.М. Городничев, 2019).

Помимо преобладания быстрых или медленных ДЕ, увеличение массы скелетных мышц у спортсменов с разной направленностью тренировочной

деятельности также зависит и от характера гипертрофических изменений, происходящих в мышечной ткани, в связи с чем спринтеры и стайеры имеют разное телосложение, позволяющее им проявлять либо скоростно-силовые качества, в частности «взрывную силу» на старте, либо длительную мышечную работу, выполнение которой невозможно без развития локальной мышечной выносливости (P. Vlahek et al., 2021). Так, П.И. Бегун в своей работе подробно описал, что бег на длинные и сверхдлинные дистанции является низкоинтенсивной и длительной работой, выполнение которой в первую очередь требует проявления локальной выносливости. При этом гипертрофия мышечной клетки развивается преимущественно за счет увеличения количества внутриклеточной жидкости – саркоплазмы и уменьшения диаметра волокон. Кроме того, наряду с развитием саркоплазматической гипертрофии подобный тренировочный процесс приводит к росту количества митохондрий, повышающих энергоресурсный запас спортсменов (П.И. Бегун, 2016). Рост капиллярной сети вокруг мышечных волокон, а также изменения в работе дыхательной и сердечно-сосудистой систем, направленных на обеспечение мышц необходимым количеством кислорода, являются неотъемлемой частью долговременной адаптации организма спортсмена, тренирующего выносливость (Ю.С. Ванюшин с соавт., 2020; И.Н. Калинина с соавт., 2018).

В отличие от стайеров, нагрузка спринтеров имеет высокую мощность и низкую длительность, а при стартовом разгоне требует проявления взрывной силы (E. O’Loughlin et al., 2019). В результате многолетнего тренировочного процесса, направленного преимущественно на развитие скоростно-силовых качеств, развивается миофибриллярная гипертрофия – увеличение объема и количества миофибрилл (Е.А. Двурекова, И.А. Денисова, 2020; D. Suter et al., 2020). Отечественными и зарубежными учеными было выдвинуто несколько теорий, объясняющих развитие такого вида гипертрофии, наибольшее распространение получили «энергетическая», «ацидозная», «гипоксическая» и «механическая» (Y.C. Lin, M.G. Pandy, 2018). Согласно первым трем теориям, гипертрофия мышечной ткани развивается преимущественно за счет таких физиологических процессов, следующих за высокоинтенсивной нагрузкой, как дисбаланс

потребления и восстановления АТФ, накопления продуктов распада энергоресурсов и снижения в крови кислорода, в следствие сдавления питающих мышцу сосудов при ее сокращении. Большое распространение во всем мире получила «механическая» теория согласно которой, увеличение объема мышечной ткани возникает из-за регенераторных процессов, протекающих в период восстановления после нагрузок, сопровождающихся микротравмами мышечных волокон (Н.А. Никифоров, Е.Г Кокорева, 2021; В.В. Манолаки, 2020; А.Б. Мирошников, В.В. Волков, А.В. Смоленский, 2020).

Таким образом, можно заключить, что несмотря на то, что спортсмены на короткие и длинные дистанции выполняют одну и ту же локомоцию, характер нагрузки, ее мощность и длительность кардинально отличаются, в результате чего спринтеры и стайеры имеют принципиально разную организацию мышечных волокон и энергообеспечение мышечной деятельности.

Помимо изменений, происходящих в мышечной ткани, регуляция нервной системы в процессе тренировочной деятельности также имеет ряд особенностей. М.С. Цветков, исследуя М-ответ и Н-ответ икроножной и камбаловидной мышц у бегунов, определил, что значения показателей возбудимости спинальных мотонейронов у стайеров в покое значительно выше в сравнении с показателями спринтеров. Кроме того, после нагрузки показатели активации альфа-мотонейронов возрастают в большей степени у бегунов на длинные дистанции, что свидетельствует об их постепенном вовлечении при выполнении специальных упражнений (М.С. Цветков, 1998).

Исследования показали, что мастерство спортсмена коррелирует с физиологическими механизмами возбуждения и торможения в центральной нервной системе (ЦНС) и нервно-мышечной системе. Так, у спортсменов с низкой квалификацией была выявлена недостаточная сила тормозных процессов и более частое возникновение перевозбуждения ЦНС, что препятствует расслаблению мышечной ткани, приводит к одновременной активации мышц антагонистов, и, как следствие, является причиной больших неэффективных энерготрат и нарушения биомеханики движения. Авторами отмечено, что чем выше квалификация

спортсмена, тем более эффективно срабатывает тормозно-релаксационная функциональная система защиты организма спортсмена и тем совершеннее его мышечная координация (Ю.В. Высочин с соавт., 2012).

Анализируя двигательные действия начинающих и высококвалифицированных бегунов, ученые из Китая отметили, что для генерации движения ЦНС должна вычислять согласованные команды для тысяч ДЕ в сотнях скелетных мышц. При этом для выполнения движения ЦНС необходимо не только указать огромное количество выходных переменных, но и учитывать при этой спецификации различные биомеханические требования или ограничения, налагаемые на выполнение движения. Одним из источников ограничений являются текущие свойства нервно-мышечной системы, включая мышечную силу, жесткость мышц, усиление нейромоторных рефлексов. Таким образом, мышечные команды, необходимые, например, начинающему спортсмену для выполнения движения, сильно отличаются от тех, которые требуются длительно тренирующемуся спортсмену из-за различий в биомеханическом устройстве их движений (V.C.K. Cheung et al., 2020).

Ученые из Великолукской государственной академии физической культуры и спорта (Великие Луки, Россия) провели оценку рефлекторной возбудимости нервно-мышечного аппарата (НМА) между группами спринтеров и бегунов на средние дистанции, а также сравнили полученные данные с данными лиц, не занимающихся спортом. Авторы выявили, что показатели стимуляционной электронейромиографии (ЭНМГ), отражающие возбудимость спинальных мотонейронов, выше у бегунов на средние дистанции. Было установлено, что рефлекторная возбудимость НМА у спортсменов обеих групп в соревновательный период достоверно выше в сравнении с тренировочным. Кроме того, было выявлено, что показатели ЭНМГ легкоатлетов выше аналогичных показателей нервно-мышечной передачи здоровых людей, не занимающихся спортом (Е.А. Михайлова, В.Ю. Ершов, 2010). К подобному выводу пришли ученые из ФГБУ СКФНКЦ ФМБА России (Ессентуки, Россия), отмечая, что регистрация моторного ответа (М-ответа) при стимуляции n. peroneus показала достоверно более высокие

значения у легкоатлетов в сравнении с общепринятыми клиническими нормами здоровых людей (С.М. Абуталимова 2022; Ю.В. Корягина, Л.Г. Рогулева, 2018).

Достаточно давно стало известно, что адекватное кровоснабжение мышечных тканей способствует как улучшению скоростно-силовых качеств спортсмена, так и повышению его выносливости. Исследуя особенности периферической гемодинамики у легкоатлетов, И.Е. Попова с соавторами выявили повышенные показатели артериального кровенаполнения в сегментах «голень», «бедро». При этом показатели микроциркуляции не выходили за пределы нормативных значений. Была отмечена корреляция между показателями гемодинамики и полом, а также уровнем подготовленности легкоатлетов (И.Е. Попова, Г.Н. Германов, Е.Г. Цуканова, 2010). М.Я. Кирьянова, сравнивая показатели центральной и периферической гемодинамики у высококвалифицированных пловцов и легкоатлетов, также отметила, что их значения тесно связаны с направленностью тренировочного процесса. Были выявлены более высокие показатели артериального, венозного кровотока и периферического сосудистого сопротивления у бегунов в сравнении с пловцами (М.А. Кирьянова, И.Н. Калинина, 2012). Совместная работа ученых из России и Молдовы показала, что показатели периферической гемодинамики у бегунов достоверно отличаются на начальном и конечном этапе учебно-тренировочных сборов. Авторы отметили достоверное снижение скорости распространения пульсовой волны как у высококвалифицированных спортсменов, так и у начинающих (Г.Н. Германов, Ю.А. Купцов, Е.Г. Цуканова, 2013).

Австралийские ученые сравнили показатели периферической гемодинамики бегунов как в специфически натренированных сегментах – стопы, голени, бедра, так и в менее тренированных – кисти, предплечья. Исследуя венозную емкость и сосудорасширяющую способность, авторы не выявили достоверных различий между кровотоком в верхних и нижних конечностях. Однако, сравнивая данные значения с аналогичными показателями периферической гемодинамики у нетренированных лиц, исследователи отметили, что венозная емкость у высококвалифицированных спортсменов выше на 18%, что несомненно является

следствием адаптации организма спортсменов к высоким физическим нагрузкам (Y.N. Boutcher, S.H. Boutcher, 2021).

Анализируя литературные данные, становится очевидным тот факт, что адаптация ОДА и нервно-мышечной системы бегунов неизбежно сопряжена с повышением их функциональных возможностей, однако она не всегда способствует сохранению здоровья атлета.

1.2 Особенности утомления, переутомления и перенапряжения опорно-двигательного аппарата и нервно-мышечной системы нижних конечностей при беговых нагрузках

Систематическое действие интенсивных физических нагрузок направлено на развитие и поддержание максимальных функциональных возможностей организма высококвалифицированных спортсменов, однако нередко сопряжено с развитием процессов утомления, переутомления и перенапряжения ОДА атлета (S. Dawadi, B. Basyal, Y. Subedi, 2020). Известно, что развитие утомления является нормальной физиологической реакцией организма спортсмена в ответ на физическую нагрузку, которая полностью нивелируется после отдыха (L.C. Hespanhol, W. van Mechelen, E. Verhagen, 2018). В отличие от утомления, процесс переутомления является патологическим и сопровождается развитием как неспецифических (слабость, нарушение сна, потеря аппетита), так и специфических симптомов (болевой синдром), указывающих на необходимость прекращения тренировочного процесса и назначения лечения. Диагностика состояния переутомления по факту не вызывает трудностей ни у врача, ни у тренера, так как помимо вышеперечисленных симптомов, отмечается резкое снижение работоспособности спортсмена, в отличие от состояния хронического утомления, которое является пограничным (V.Q. Nguyen et al., 2019). Результативность тренировочного процесса в этом случае не снижается, однако повышается цена адаптации, проявление которой можно наблюдать в виде прямого изнашивания ОДА спортсмена, либо компенсаторного снижения функциональных возможностей других систем (Ф. З. Меерсон, М. Г. Пшенникова, 1986). Тренировочный процесс в условиях подобного пограничного

состояния часто приводит к развитию перенапряжения ОДА. В этом случае даже небольшая по интенсивности нагрузка может являться для спортсмена стрессовой и приводить к усталостным повреждениям и травмам (В.Ф Лутков с соавт., 2021).

В настоящее время достаточно подробно описаны физиологические механизмы утомления у спортсменов циклических видов спорта. Выявлено, что работа в максимальной, субмаксимальной и умеренной мощности приводит к ряду специфических изменений в центральной и вегетативной нервной, сердечно-сосудистой, дыхательной, гуморальной и других системах. Кроме того, энерготраты спортсмена также находятся в прямой зависимости от характера нагрузки. Учитывая разные механизмы развития утомления органов и систем организма у бегунов разных дистанций, необходимо отметить, что со стороны функционального состояния НМА изменения неспецифичны и проявляются снижением возбудимости, скорости проведения импульса по нервным волокнам, силы мышечного сокращения, лабильности (Л.М. Демьянова, А.М. Чубаров, Н.С. Кравец, 2020; А.С. Солодков, 2013).

С.И. Захарова и А.В. Калинин в своей работе описали формы перенапряжения ОДА спортсменов: субклиническую, острую, хроническую и хроническую в фазе обострения. Из-за отсутствия ярко выраженных симптомов диагностика субклинической формы достаточно затруднена, однако своевременное выявление такого состояния позволяет скорректировать работу НМА и нормализовать периферический кровоток. Отсутствие восстановительных мероприятий, направленных на оптимизацию метаболических процессов в тканях в сочетании с продолжающимися интенсивными нагрузками, приводит к повышению тонуса мышечной ткани даже в состоянии покоя, что влечет за собой спазм сосудов и нарушение кровотока. В отличие от субклинической, острая форма перенапряжения ОДА сопровождается болевым синдромом, а также изменением структуры мышечной ткани, включающим появление очагов асептического воспаления. Со временем, при отсутствии должного лечения, данный процесс, сопровождаемый структурными изменениями в костно-мышечном и капсульно-связочном аппаратах, хронизируется (хроническая форма перенапряжения) и

периодически под действием нагрузок обостряется (хроническая форма перенапряжения в фазе обострения) (С.И. Захарова, А.В. Калинин, 2012; S.K. Gill et al., 2015). Кроме того, было выявлено, что перенапряжения ОДА сопровождаются метаболическими нарушениями, в частности снижением в крови уровня альбумина и повышением уровня кальция, что в свою очередь влечет за собой снижение минерализации кости и ее прочности (Е.Г. Оспищева, Ю.А. Шипилова, 2015). D. Ball и L. Herrington из Манчестерского университета (Великобритания) в своей работе также отметили, что состояние перенапряжения нервно-мышечных и капсульно-связочных структур проявляется не только локально, но и генерализовано, преимущественно метаболическими и гормональными изменениями (D. Ball, L. Herrington, 2018).

Изучение процессов перенапряжения ОДА особенно актуально у легкоатлетов, специализирующихся в беге, в связи с особенностями распределения биомеханической нагрузки и последующего развития типичных патологических состояний, таких как плантарный фасциит, ахиллотендопатия, хондромаляция надколенника (пателлофеморальный артроз), и воспаление илиотибиального тракта (К.В. Кулибаба, А.К. Василькин, 2018). Последние две нозологии из-за своей высокой распространенности получили название «колено бегуна» (V.V. Epishev et al., 2012; K. Hottenrott et al., 2014; T.L.W. Chen et al., 2019).

Плантарный фасциит и ахиллотендопатия являются часто встречающимися патологиями среди заболеваний ОДА как у начинающих, так и высококвалифицированных легкоатлетов, специализирующихся в беге (R.O. Nielsen et al., 2014). При этом отмечено, что у спортсменов на длинные дистанции частота встречаемости этих патологий значительно увеличивается (M.D. Hoffman, E. Krishnan, 2014; A.P. Ribeiro et al., 2015). Анализируя особенности спортивных энтензо- и фасциопатий, необходимо отметить преобладание деструктивных изменений над воспалительными, а также ишемию и деструкцию коллагена сухожильного матрикса. При этом, как следствие, анатомические структуры теряют свою эластичность и прочность (F. Petraglia, I. Ramazzina, C. Costantino, 2017; S.K. Neufeld, R. Cerrato, 2008).

Установлено, что у бегунов в процессе адаптации формируется ряд изменений, наиболее изученным из которых является уплощение свода стопы, следствием чего является снижение амортизации и повреждение костно-суставных структур (A. Ding et al., 2020). Изменение свода стопы сопровождается неправильной её постановкой во время бега, в результате чего изменяется биомеханика движения – смещение коленного сустава и бедра относительно вертикальной оси (Д.П. Елисеев, И.А. Черкашин, 2018; Е.С. Полуэктов, 2013). Подобные трансформации приводят к нарушению движения в коленном суставе, следствием чего является развитие хондромаляции надколенника и воспаление подвздошно-большеберцового тракта (М.О. Демиденко, Ю.А. Попадюха, 2016; D.J. Huxley, D. O'Connor, P.A. Healey, 2014). Кроме того, из-за возникновения подобных нарушений наблюдаются изменения в периферической гемодинамике: снижается венозный отток и увеличивается застой в венах нижних конечностей (О.Г. Юшковская, С.И. Степаненко, 2018). Многочисленные исследования показали, что способы коррекции, такие как выполнение специальных упражнений, направленных на укрепление мышечно-связочного аппарата, а также подбор обуви и стелек могут укрепить стопу и улучшить её рессорные и амортизационные качества, однако сформировавшиеся к этому времени нарушения движения в коленном и, как следствие, в тазобедренном суставах остаются нерешенными (Л.А. Лут с соавт., 2011; P. Larson et al., 2011).

Изучение специфической адаптации НМА легкоатлетов актуально как в России, так и за рубежом (Т.В. Красноперова, Е.А. Киселева, 2020; B.X.W. Liew et al., 2016, D.S. Marigold, A.E. Patla, 2005). При этом установлено, что структурно-функциональный характер изменений напрямую зависит от специализации, уровня мастерства и подготовки атлета (С.В. Скрыгин, 2016). А.И. Миленина описала последствия изменения мышечного баланса у бегунов (А.И. Миленина, 2011). Известно, что циклические движения во время бега в коленном суставе осуществляются преимущественно за счет переменной работы мышц-антагонистов коленного сустава (C. Akyildiz, H. Sözen, 2022; S.T. Oskouei et al., 2021). Оптимальное функциональное состояние разгибательного аппарата коленного

сустава обусловлено статическими и динамическими компонентами стабилизации. Статические стабилизаторы – это выпуклая форма надколенника, вогнутая форма блока бедренной кости, а также наружная и внутренняя связка, удерживающая надколенник. Сбалансированное сокращение внутренней и наружной широких мышц бедра (головки четырехглавой мышцы) при совершении разгибания в коленном суставе обеспечивают динамическую стабилизацию надколенника (A.D. Koelewijn, A. J. van den Bogert, 2020; K. Kubo et al., 2015). Преобладание силы мышечных волокон какой-либо из этих мышц способствует его смещению (А.И. Миленина, 2011). Кроме того, анализ литературы показал, что наиболее часто наблюдается смещение надколенника кнаружи и его ротации из-за большей силы наружной широкой мышцы бедра. Децентрализация надколенника приводит к увеличению давления на него, развитию деструктивных процессов (хондромалляции) и нарушению гемодинамики в периартикулярных тканях. Ухудшение кровотока способствует снижению выработки синовиальной жидкости, что также ведет к дегенеративным процессам в суставе (А.Н. Тенькова, Т.В. Чуева, К.А. Лукашкова, 2021).

В.Д. Красовский также отметил, что мышечный дисбаланс способствует перераспределению нагрузки и изнашиванию излишне нагружаемых структур ОДА вследствие изменения биомеханики движений. Кроме того, выполнение физической нагрузки часто влечет за собой повреждения капсульно-связочного аппарата, в результате чего формируется нестабильность коленного сустава. Помимо этого, он выделил главные факторы, необходимые для защиты коленного сустава при физической нагрузке – это эластичность и упругость связок и тканей сустава, адекватное их кровоснабжение, а также развитие мышц, укрепляющих сустав (В.Д. Красовский, 2017). Ученые из США отметили, что у многих бегунов даже олимпийского уровня основная мускулатура развита несимметрично. Слабость или отсутствие достаточной координации в основной мускулатуре может привести к менее эффективным движениям, перенапряжению, повреждению и травмам ОДА (M.S. Andrade et al., 2022).

Исследования ученых из Северо-Восточного федерального университета им. М. К. Аммосова, института физической культуры и спорта (г. Якутск) показали, что бег по виражу, в отличие от бега по прямой, более негативно воздействует на ОДА легкоатлета, в частности на нервно-мышечную систему из-за специфической биомеханики выполняемых движений. Нагрузка в этом случае распределяется асимметрично – компенсация для сохранения постурального баланса происходит за счет отдельных звеньев ОДА: постановки стоп, наклона туловища, положения рук, и т.д. В дальнейшем, в результате адаптации к специфическим физическим нагрузкам возникает чрезмерное напряжение одних структур при расслаблении других, которое сохраняется при движении спортсмена по прямой и даже вне тренировок. Подобная длительная асимметричная нагрузка приводит к перенапряжению ОДА, а также сопровождается выраженным мышечным дисбалансом, который без соответствующей коррекции приводит к ряду патологических состояний, таких как тендиниты, хондриты, артриты (Л.С. Попова, С.С. Дедюкин, Н.П. Олесов, 2016).

Подобно бегу по виражу, бег с большими перепадами высот, особенно бег с длительным спуском, предъявляет особые требования к мышечной системе, помимо асимметричной нагрузки наблюдается длительная эксцентрическая работа мышц, что приводит к повышенному высвобождению мышечных ферментов (креатинкиназы) и повреждению мышечной ткани (P. Giandolini et al., 2017; S. Vernillo et al., 2017). Рост травм и повреждений ОДА, в частности мышечно-связочного аппарата голеностопного и коленного суставов, при таком типе нагрузки многократно увеличивается в сравнении с бегом по прямой, особенно в соревновательный период, когда спортсмены для достижения успеха работают на пределе своих физиологических возможностей (V. Scheer, B.J. Krabak, 2021).

А.А. Матишев и С.М. Чернуха исследовали функциональное состояние ОДА юных бегунов и отметили, что нарушения мышечного баланса, в частности сгибательного и разгибательного аппарата коленного сустава, приводят к перегрузке и последующей травматизации наиболее слабых структур мышечно-связочной системы. Авторы отмечают, что уже на начальном этапе подготовки

спортсменов необходимо выявлять и корректировать с помощью специальных упражнений слабые зоны кинематических цепей (А.А. Матишев, С.М. Чернуха, 2016). Ученые из Финляндии, изучая процессы адаптации ОДА легкоатлетов к циклическим нагрузкам, отмечают, что регулярный тренировочный процесс способствует повышенному синтезу протеогликанов в суставных хрящах, в результате чего поверхность хряща становится более прочной. Однако дисбаланс силы мышц и связок приводит к чрезмерному сдавлению части суставной поверхности, сопровождающемуся резким снижением скорости образования протеогликанов, что в свою очередь приводит к структурному повреждению и механическому разрушению суставного хряща (J.P.A. Arokoski, et al., 2000).

Таким образом, анализ научно-методической литературы показал, что чем выше уровень функционального состояния НМА спортсменов, специализирующихся в беге, тем выше их спортивная результативность. Кроме того, нельзя не отметить, что под действием многолетних специфических физических нагрузок происходит перестройка работы и структурной организации НМА легкоатлета. Однако увеличение объемов тренировочных нагрузок, вплоть до предельных, часто влечет за собой изменение биомеханических характеристик движения, следствием чего является перенапряжение НМА, а также возникновение повреждений и «усталостных» травм ОДА спортсмена. В связи с чем, поиск методов и способов восстановления НМА в период интенсивной тренировочной деятельности в настоящее время остается актуальным как среди отечественных специалистов, так и среди зарубежных.

1.3 Методы и средства восстановления и реабилитации опорно-двигательного аппарата и нервно-мышечной системы у спортсменов

Восстановление является одним из ключевых факторов, поддерживающих высокую работоспособность спортсменов, а характер и скорость этого процесса непосредственно влияет на успех спортивной подготовки. Известно, что тренировочный процесс направлен не только на улучшение технических характеристик выполняемых упражнений, но и на увеличение функциональных

резервов организма, что в свою очередь приводит к развитию сверхвосстановления или суперкомпенсации, позволяющей спортсмену достигать новых результатов. Однако значительные физические нагрузки и истощение функциональных резервов организма приводят к нарушению процессов срочного, раннего и отставленного восстановления, что в свою очередь влечет за собой снижение работоспособности спортсмена. Для профилактики подобных состояний, помимо педагогических и психологических, все большее применение получают медико-биологические методы восстановления (М.В. Шевчук, 2019). Самыми распространенными и основополагающими из них являются физиологические методы или общегигиенические, такие как соблюдение рекомендаций, направленных на регуляцию режима сна, физической работы и отдыха, а также питания. Данные мероприятия относятся к постоянным физиологическим методам восстановления и применяются с целью предупреждения развития состояний хронического утомления и переутомления. Периодические физиологические методы применяются для активации функциональных резервов и повышения работоспособности за счет ускорения восстановительных процессов (В.В. Соколов, О.В. Четайкина, 2021; А.В. Леонова, Н.А. Шестаков, 2021). Анализ научных литературных данных показал, что в программы физической реабилитации ОДА и НМА спортсменов, помимо пассивных методов восстановления, все чаще включают активные, в том числе и в сочетании с методами аппаратной физиотерапии (А.В. Епифанов с соавт., 2019; M.F.L. Cullen, G.A Casazza., B.A. Davis, 2021; G. Yakubova, 2021).

В восстановлении функционального состояния НМА спортсменов значительную роль отводят средствам физиотерапии. При этом гидротерапия является одним из наиболее изученных методов, которая достаточно давно применяется в качестве эффективного средства восстановления НМА спортсменов (Ю.В. Корягина с соавт, 2020; В.И. Миронов, Л.С. Ходасевич, 2016). Отмечается большое разнообразие применяемых методов гидротерапии, отличающихся способом воздействия, температурным режимом и видом процедуры: душ, ванна, сауна, баня.

В настоящее время опубликовано большое количество научных работ, посвященных применению у спортсменов следующих видов душа: веерный, шотландский, дождевой, циркулярный, каскадный, подводный душ-массаж (А.А. Зиннатнурова, А.З. Зиннатнуров, Д.А. Дрожецкий, 2022; Е.Е. Ачкасов с соавт., 2018). Наиболее часто применяющимся в спортивной практике является душ Шарко (Е.А. Галкина с соавт., 2022; А.А. Парфенов с соавт, 2019). Ряд работ, посвященных применению комплексов восстановления НМА после физических нагрузок, показали, что применение душа Шарко повышает возбудимость моторных и сенсорных волокон нервной системы и мышечный тонус, а также способствует улучшению венозного и лимфатического оттока (И.Г. Хурамшин, С.С. Русакова, 2016).

Восстановление после физических нагрузок в условиях высокой температуры с высокой (баня) или низкой (сауна) влажностью пользуется особой популярностью у спортсменов из-за выраженного седативного эффекта, способствующего снижению напряжения нервно-мышечной системы, расслаблению спазмированных участков мышц и нивелированию болевого синдрома (С.М. Разинкин, 2015).

Наиболее изученным и часто применяющимся методом гидротерапии среди спортсменов являются контрастные ванны. Исследования показали, что они не только улучшают реологические свойства крови и микроциркуляцию, но и угнетают процессы окисления свободных радикалов, в результате чего уменьшается клеточная альтерация после предельных физических нагрузок и восстанавливаются функции иммунной системы (А.К. Анарбаев, Е.Е. Сейдахметов, А. Халиллаев, 2016).

Бальнеотерапия – достаточно популярный метод восстановления, широко применяемый у спортсменов при нахождении на тренировочных базах, расположенных в регионе Кавказских Минеральных Вод и Черноморского побережья Кавказа. Ключевыми факторами при применении этого метода, помимо уникального минерального состава, являются температура и тип механического воздействия (ванна, душ), которые могут оказывать как тонизирующий эффект, так

и седативный (Г.Н. Тер-Акопов, Н.В. Ефименко, А.Н. Глухов, 2022). Опубликованы работы, посвященные исследованию применения модифицированных минеральных вод в восстановлении спортсменов за счет увеличения их биологического потенциала и более выраженного действия на процессы восстановления ОДА (В.Н. Самойленко, 2022; Ю.А. Юрлова с соавт., 2021).

Среди физиотерапевтических преформированных методов воздействия, наиболее широко применяются стимуляционные методы (электрический ток, магнитная стимуляция). К таким методам относят стимуляцию биологически активных точек НМА и ЦНС импульсным электрическим током. Широкое распространение в спортивной практике как в России, так и за рубежом получило применение транскраниальной электростимуляции. Воздействие импульсного электрического тока на головной мозг через накожные электроды приводит к селективной активации структур, продуцирующих бета-эндорфин, серотонин и некоторые другие нейромедиаторы межнейрональных синапсов (Л.Г. Рогулева, Ю.В. Корягина, 2015).

Воздействие электрическим током на нервно-мышечную систему применяется как у пациентов с патологией ОДА, так и у спортсменов в период восстановления после интенсивных физических нагрузок. При этом, наиболее выраженные эффекты вызванных мышечных сокращений проявляются в виде снижения уровня продуктов распада энергоресурсов мышечной ткани, улучшения периферического лимфо- и кровотока, восстановления мышечного тонуса (М.В. Шевчук, 2019). Кроме того, проведенные исследования показали снижение у спортсменов застойных явлений и улучшение венозного оттока при стимуляции нижних конечностей во время длительных перелетов (Л.В. Сафонов, А.П. Козловский, С.Н. Шурыгин, 2018). Ранее была разработана методика применения электростимуляции для восстановления тонуса внутренней широкой мышцы бедра и коррекции мышечного дисбаланса при пателлофеморальном болевом синдроме у спортсменов (А.И. Миленина, 2011). Сочетанное применение низкоинтенсивного лазера и электромиостимуляции в спортивной практике стало применяться

сравнительно недавно. Использование данного метода достаточно востребовано из-за выраженного противовоспалительного, хондропротективного и антигипоксического действия, необходимого как в восстановительный, так и в реабилитационный период у спортсменов с травмами и повреждениями ОДА (А.А. Хадарцев, Н.А. Фудин, С.В. Москвин, 2016).

Магнитная стимуляция НМА спортсменов применяется гораздо реже в сравнении с электростимуляцией, однако ее действие не менее эффективно. Ученые из ГЦОЛИФК (Москва) применяли магнитную стимуляцию во время изокинетической тренировки, непосредственно в момент концентрического сокращения четырехглавой мышцы бедра. Исследуя работоспособность, авторы отметили достоверное увеличение мышечной силы и аэробных возможностей спортсменов (Г.И. Попов с соавт., 2013).

В отличие от метода периферической магнитной стимуляции, изучение физиологических эффектов которой активно продолжается и в настоящее время, достаточно хорошо исследовано действие магнитотерапии. Ее широко применяют у спортсменов с повреждениями ОДА и нервно-мышечной системы, также проведены исследования, посвященные изучению ее эффективности в период восстановления спортсменов после интенсивных физических нагрузок (Г.Н. Тер-Акопов, 2017). Результаты исследований показали, что применение магнитотерапии способствует увеличению периферического кровотока, ускорению доставки к клеткам и тканям кислорода, увеличению скорости выведения продуктов энергораспада (В.Б. Балданов, С.С. Ямпилов, Ж.Б. Цыбенов, 2021).

В 2019 году опубликована работа исследователей из ФГБУ СКФНКЦ ФМБА России, в которой были описаны эффекты сочетанного применения эндомассажа и магнитного поля у спортсменов. Использование эндомассажа и магнитного поля способствовало нормализации показателей нервно-мышечной передачи, а также снижению признаков воспаления у высококвалифицированных спортсменов в период посттравматической реабилитации ОДА (Ю.В. Корягина с соавт., 2019).

Эффекты применения массажа изучались на протяжении длительного времени, при этом разнообразие его методик обусловлено большим количеством приемов, основными из которых являются трение, давление, вибрации и т.д. Были выделены следующие типы спортивного массажа: ежедневный гигиенический, который проводится утром, сразу после сна; предварительный, который в свою очередь делится на разминочный, согревающий, мобилизирующий; тренировочный, который проводится на всех этапах спортивной подготовки; восстановительный, который проводится непосредственно после физического и психоэмоционального напряжения (С.В. Коротько, А.С. Сукманюк, Л.А. Олейникова, 2019). Ученые из УралГУФК представили новую методику массажа – «Непрямой массаж», позволяющую диагностировать мышечные дисбалансы, а также проводить их коррекцию (Е.М. Литвиченко, Е.В. Быков, М.В. Егоров, 2017). Разработана методика разминочного массажа для велосипедистов, позволяющая заменить им стандартную разминку, так как проведение массажа также улучшает вязкость мышц, повышая их температуру, но затраты энергоресурсов спортсменов при этом минимальны (В.А. Бурцев, Е.В. Бурцева, А.С. Мартынова, 2014). Было отмечено, что применение массажа у спортсменов-легкоатлетов востребовано не только в периоде реабилитации после травм ОДА, но и с целью профилактики в период восстановления после интенсивных физических нагрузок (О.А. Данилова с соавт., 2015). М.В. Тапхарова в своей работе отметила, что применение массажа в тренировочный и соревновательный периоды подготовки высококвалифицированных спортсменов способствует снижению риска развития травм и усталостных повреждений. Было выявлено, что применение самомассажа ускоряет процессы восстановления, однако значительно уступает аналогичной процедуре, выполненной квалифицированным специалистом (М.В. Тапхаров, 2014). Применение массажа в комплексе с лечебной гимнастикой у спортсменов после пластики передней крестообразной связки позволило не только восстановить амплитуду движений в коленном суставе, но и улучшить сократительные свойства мышц (В.Г. Калюжин, Ю.В. Зыбин, 2013). Предложены различные методики тейпирования и точечного массажа для профилактики перенапряжения ОДА

спортсменов (M.H. Hung et al., 2023; K.K.L. Lau, K.C.C. Cheng, 2019; J.M. Park, T. Kim, 2019). На базе Свердловского областного клинического госпиталя было проведено исследование эффективности комплексной восстановительной программы, включающей занятия лечебной физической культурой (ЛФК) и крио-массаж у спортсменов после хирургического лечения структурных повреждений в поясничном отделе позвоночника. Было выявлено снижение местного воспаления, улучшение микроциркуляции, увеличение объема движений – сгибания и разгибания. Авторы отметили высокую эффективность восстановительной методики, благодаря которой уже через месяц 90% прооперированных спортсменов вернулись к тренировочному процессу (Р.Р. Вадутов, 2019). Исследователи из Орловского государственного университета им. И.С. Тургенева также заключили о важности применения массажа в восстановлении спортсменов, однако авторы отметили возможность привыкания при ежедневном проведении сеансов и снижении эффективности данного метода (Ю.А. Букреева, Т.Н. Мостовая, 2017). Исследования показали, что применение предстартового массажа у спортсменов, особенно циклических видов спорта, способствует более быстрому включению в работу мышечно-связочного аппарата (А.С. Лискова, А.В. Епифанов, 2019).

Работы специалистов в области спортивной и восстановительной медицины последних лет показали, что помимо ручного, у спортсменов все чаще применяются аппаратные виды массажа. При этом в спортивной практике его используют как с лечебной целью, для лечения травм и заболеваний, так и с профилактической – для их предупреждения (Е.Ю. Семочкина, 2019). Так, установлено, что применение прессотерапии способствует, в первую очередь, улучшению оттока жидкости по лимфатическим и кровеносным сосудам, а также нормализации сосудистого тонуса. Кроме того, выявлено, что применение аппаратной прессотерапии после максимальной физической нагрузки ускоряет процессы срочного восстановления и оптимизирует функциональные резервы нервно-мышечной системы (Ю.В. Корягина с соавт., 2022).

Помимо методов, непосредственно воздействующих на НМА, применяются способы опосредованного воздействия, например ингаляции воздушных смесей, такие как вдыхание чистого кислорода, кислородно-гелиевых смесей, гипербарическая оксигенация. Ф.М. Шветский с соавторами отметили, что ингаляции ксенон-кислородных смесей способствуют восстановлению спортсменов после физических нагрузок, а также снижению мышечного утомления за счет стабилизации клеточных мембран, снижения уровня кортизола и повышения концентрации тестостерона (Ф.М. Шветский с соавт., 2014). Исследователями из СибГУФК было описано положительное влияние ингаляций гипероксической смеси на функциональное состояние НМА и периферической гемодинамики футболистов. Авторы отметили повышение амплитуды мышечного сокращения, а также скорости проведения электрического импульса по нервному волокну (В.Ф. Туровский, В.А. Блинов, 2015).

Наряду с постоянным совершенствованием программ реабилитации и восстановления спортсменов после интенсивных физических нагрузок, включающих применение физиотерапевтических методов воздействия, нельзя не отметить высокую эффективность применения таких способов, как ЛФК и механотерапия.

Применение ЛФК у спортсменов актуально как в реабилитационном периоде после травм и повреждений ОДА, так и в восстановлении после интенсивных физических нагрузок. Установлено, что в период восстановления занятия лечебной гимнастикой способствуют снижению мышечного напряжения и устранению мышечных спазмов, а также нормализации кровотока. В настоящее время разработано большое количество программ ЛФК для реабилитации спортсменов с разными повреждениями ОДА, позволяющих повысить суставную мобильность, укрепить мышечные группы и нормализовать гемодинамику. Так, проведенные исследования показали, что использование ЛФК в реабилитации спортсменов с травмами коленного сустава позволяет увеличить объем движений и улучшить сократительные свойства мышц (В.В. Кочергин, 2018). Включение в программу лечебной гимнастики статических нагрузок позволило улучшить миографические

показатели у спортсменов-стрелков с признаками остеохондроза (Д.А. Горохова, 2015).

Стоит отметить, что данные программы не лишены недостатков, главными из которых являются невозможность оценки и дозирования физической силы и скорости, прикладываемой спортсменом для осуществления движения при выполнении специального упражнения. Кроме того, амплитуда движений в суставах при повторениях упражнения не может быть строго фиксированной на протяжении всего занятия. Многие ученые отмечают, что применение механотерапии решает все вышеперечисленные проблемы. Исследования авторов из Швейцарии, США, Китая, Турции и других стран показали, что наряду с высокими диагностическими возможностями, применение изокинетических тренировок на роботизированных биомеханических комплексах (РБК) способно повысить скоростно-силовые качества спортсмена (M. Vogt, H.H. Hoppeler, 2014; S.B. Keles et al., 2014; B. Friedmann-Bette et al., 2010).

Анализируя методы механотерапии, необходимо выделить тренировки с пассивной и активной мобилизацией мышечно-связочных групп. Лечебная гимнастика с пассивным типом движения в суставе осуществляется на тренажерных комплексах и применяется преимущественно в реабилитации пациентов для ликвидации контрактур и суставной тугоподвижности, а также для восстановления движения в суставе в постоперационном периоде (Kinetec «БЕКА РУС» г. Москва, ARTROMOT Ormed GmbH, Германия). В спортивной практике для восстановления ОДА и нервно-мышечной системы после физических нагрузок такие типы тренажеров практически не используются, в отличие от изокинетических тренажеров с биологической обратной связью (БОС), позволяющих строго дозировать нагрузку, мышечную силу и сопротивление спортсмена, а также скорость движения конечности в суставе.

Несмотря на высокие терапевтические возможности применения РБК с БОС, отмечено, что зарубежные специалисты чаще используют их с диагностической целью. Так, проведя динамометрическое исследование на роботизированном комплексе, ученые выявили снижение силовых показателей всех мышечных групп

коленного сустава у спортсменов с тендопатией собственной связки надколенника (F. Mersmann et al., 2021). В другой работе исследователи провели изокинетическое тестирование коленного сустава спортсменок-гандболисток и выявили, что квалификация спортсменок коррелирует с выраженностью мышечных асимметрий (L.V. Bonetti et al., 2018). Проведено исследование мышечного баланса и биомеханики движений туловища, локтевых и коленных суставов у начинающих и высококвалифицированных борцов саншоу, которое показало, что чем выше уровень спортивного мастерства, тем более очевидна разница между показателями скорости развития силы, особенно при нагрузке, сопровождающейся эксцентрическим типом мышечного сокращения (C. Jiang, M.W. Olson, L. Li, 2013). Специалисты университета Махидол (Таиланд) исследовали разницу силы мышц здорового плеча и после оперативных вмешательств у теннисистов. Авторы отметили, что программа постоперационной реабилитации, помимо пассивной мобилизации плечевого сустава, должна включать нагрузки с эксцентрической и концентрической направленностью (P. Lertwanich, C. Lamsam, T. Kulthanan, 2016). Группа ученых из Франции и Швейцарии исследовали статическую и динамическую адаптацию мышц плеча у метателей копья. Авторы выявили более высокие показатели крутящего момента мышечного аппарата у высококвалифицированных спортсменов при динамической нагрузке и более низкие значения этого показателя при статической нагрузке в сравнении с начинающими спортсменами (P. Edouard et al., 2013). Проведены исследования, в которых описан изокинетический профиль мышц-сгибателей и разгибателей колена игроков регби. Авторы отметили, что силовые характеристики мышц-антагонистов и синергистов, а также параметры мышечной работы зависят в первую очередь от квалификации атлета (D. Breen, G. Farrell, E. Delahunt, 2021). Исследователи из ортопедического центра Поля-Санти (Франция) создали изокинетическую реабилитационную программу, которая обеспечивает значительное улучшение функции колена по шкале IKDC и ВАШ после реконструктивных операций передней крестообразной связки. Разработанная программа включает пассивную мобилизацию и строго дозированную активную

работу мышц в концентрическом и эксцентрическом режиме сопротивления (F. Gadea et al., 2014). Ученые из университета Лимерика (Ирландия) провели сравнительный анализ динамометрических показателей четырехглавой мышцы у бегунов на короткие и длинные дистанции. Авторы отметили более высокие параметры крутящего момента в изометрическом режиме тренировки у спринтеров и низкий коэффициент усталости у стайеров в изокинетическом режиме тренировки (T.M. Comyns, A.J. Harrison, L.K. Hennessy 2011).

Анализируя данные отечественных работ по применению РБК с БОС, необходимо отметить, во-первых, немногочисленность исследований, а во-вторых – преимущественное использование биомеханических комплексов в реабилитации пациентов с дегенеративно-дистрофическими заболеваниями суставов, а также у спортсменов после травм и повреждений ОДА. Так, описано применение комплекса реабилитационных мероприятий, включающего изокинетические тренировки на РБК с БОС, занятия ЛФК, тренировки на велоэргометре, физиотерапевтические процедуры, занятия на подводной беговой дорожке у спортсменов с диагнозом «перелом в области нижней конечности с замедленной консолидацией». Авторы отметили увеличение силовых показателей мышц бедра при проведении динамометрии в тесте на сгибание/разгибание на 25-30% в сравнении с начальными параметрами, а также выявили положительную динамику формирования костной мозоли по данным рентгенограммы (К.В. Котенко с соавт., 2014).

На базе ФГБУ «НМИЦ реабилитации и курортологии» МЗ РФ, в отделении ЛФК и клинической биомеханики было проведено исследование, в котором приняли участие 18 пациентов с диагнозом «гонартроз 2 степени». Пациенты были разделены на 2 группы: первая группа занималась на РБК с БОС Con-trex, вторая группа выполняла подобные упражнения в тренажерном зале. Результаты исследования показали, что занятия на РБК с БОС значительно ускоряют восстановление функций поврежденного сустава (увеличились угол сгибания коленного сустава, сила и выносливость мышц бедра), а также полностью купируют болевой синдром (Н.Ю. Смирнова, М.А. Еремушкин, 2018).

В течение двух лет на базе Центра восстановительной медицины ФГБУ ФСНКЦ ФМБА России было исследовано 26 пациентов с травмами плечевого сустава после реконструктивных малоинвазивных оперативных вмешательств в реабилитационном периоде. Курс занятий на РБК с БОС Con-trex способствовал восстановлению подвижности плечевого сустава, уменьшению болевого синдрома (Е.М. Кабаев, В.И. Трубников, А.Б. Малков, 2017).

В 2018 г. опубликованы результаты исследования Е.В. Костюк и Ю.В. Корягиной, посвященного изучению особенностей функционального состояния ахиллова сухожилия и мышц голени с помощью комплекса Con-trex MJ у легкоатлетов с признаками ахиллотендопатии (Е.В. Костюк, Ю.В. Корягина, 2018).

Анализ данных литературы показал, что наиболее изученными и часто применяемыми в спортивной практике для восстановления ОДА и нервно-мышечной системы спортсменов являются процедуры гидротерапии, лимфодренажа и магнитотерапии.

Анализируя широкий спектр методов восстановления ОДА и нервно-мышечной системы, нельзя не отметить, что большая часть способов пассивного восстановления имеет симптоматическую направленность терапевтического воздействия – нивелирование воспалительной реакции, болевого синдрома, отека и за счет этого восстановление нарушенной функции. При этом улучшение физического состояния спортсмена лимитируется сроком терапевтического действия процедуры или курса процедур, тогда как активные методы восстановления имеют этиотропную терапевтическую направленность – увеличение мышечной силы, укрепление связочного аппарата, расслабление спазмированных участков мышц, коррекция мышечного дисбаланса, восстановление суставной подвижности. При этом, необходимо отметить преимущество механотерапевтического воздействия перед занятиями лечебной гимнастикой и физической культурой – это строгое дозирование нагрузки и высокая точность заданной амплитуды движения. Кроме того, активация режима с БОС позволяет контролировать силу, прилагаемую спортсменом для выполнения упражнения, в результате чего становится возможным не только восстанавливать

нарушенные функции ОДА и нервно-мышечной системы, но и повышать их функциональные возможности.

Заключение по обзору литературы

Таким образом, анализ литературных данных показал, что под действием физических нагрузок опорно-двигательная система бегуна претерпевает ряд изменений, связанных с процессами долговременной адаптации, в первую очередь со стороны организации и функционирования НМА, в результате чего повышаются его функциональные возможности. Однако увеличение объемов тренировочных нагрузок значительно повышает риск возникновения состояний переутомления и перенапряжения НМА. Для восстановления функционального состояния ОДА используется широкий перечень физиотерапевтических методов, но улучшение физического состояния спортсмена лимитируется сроком терапевтического действия процедуры или курса процедур. Перспективность применения нового метода биоуправляемой механотерапии обусловлена именно этиотропной терапевтической направленностью – оптимизация работы нервно-мышечной системы, укрепление связочного аппарата, восстановление правильной биомеханики движения в суставе, формирование правильных двигательных стереотипов в тренировочном процессе и повседневной жизни.

ГЛАВА 2

МЕТОДЫ И ОРГАНИЗАЦИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Методологический аппарат и характеристика контингента исследуемых лиц

В исследовании приняли участие спортсмены специализации легкая атлетика, квалификации КМС (21 человек), МС (33 человека), МСМК (10 человек), всего 64 спортсмена. Из них мужского пола – 33 человека, женского – 31 человек. Специализация спортсменов – бег на короткие (18 человек), средние (21 человек) и длинные (25 человек) дистанции. Все легкоатлеты были разделены на две группы: основная группа – 44 человека и контрольная группа – 20 человек (табл. 1).

Таблица 1

Количественный состав исследуемого контингента

Спортивная специализация	Мужской пол, человек	Женский пол, человек	Возраст, лет	Квалификация	Всего, чел
Бег на короткие дистанции (до 400 м)	9	9	25,1±2,7	КМС – 4 МС – 10 МСМК – 4	18
Бег на средние дистанции (800-3000 м)	11	10	23,8±4,1	КМС – 8 МС – 11 МСМК – 2	21
Бег на длинные дистанции (свыше 5000 м)	13	12	26,2±2,1	КМС – 9 МС – 12 МСМК – 4	25
Всего	33	31	25,0±2,9	КМС – 21 МС – 33 МСМК – 10	64

Исследование проводилось в центре медико-биологических технологий ФГБУ СКФНКЦ ФМБА России на базе ФГБУ «Юг-Спорт» в г. Кисловодске 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 состояло из нескольких этапов (рис. 1):

1. Первый этап – отбор высококвалифицированных спортсменов, специализации легкая атлетика (бег на короткие, средние и длинные дистанции), имеющих жалобы на усталость, тяжесть и «забитость» мышц.

2. Второй этап – распределение спортсменов на две группы:

- основная группа (ОГ)– спортсмены, которым будет проводиться механотерапия коленных и голеностопных суставов и комплекс восстановительных процедур (магнито-, прессо-, гидротерапия);

- контрольная группа (КГ) – спортсмены, которым будет проводиться только комплекс восстановительных процедур (магнито-, прессо-, гидротерапия).

3. Третий этап – оценка функционального состояния НМА по данным стимуляционной ЭНМГ (исследование параметров СРВ и М-ответа, регистрируемого с короткого разгибателя пальцев стопы при электрической стимуляции малоберцового нерва), роботизированной динамометрии мышечного аппарата коленного и голеностопных суставов и периферического кровотока по результатам проведения реовазографии нижних конечностей у ОГ и КГ до проведения курса восстановительных процедур.

4. Четвертый этап – проведение курса процедур в ОГ (биоуправляемая роботизированная механотерапия, магнитотерапия, гидротерапия, прессотерапия) и КГ (магнитотерапия, гидротерапия, прессотерапия), направленного на восстановление НМА и периферической гемодинамики спортсменов после интенсивных физических нагрузок.

5. Пятый этап – оценка эффектов срочного (после 1 воздействия комплекса процедур) и отставленного восстановления (после 5 и 10 воздействий комплекса процедур) функционального состояния НМА и периферической гемодинамики после интенсивных физических нагрузок у спортсменов по данным стимуляционной ЭНМГ, роботизированной динамометрии и реовазографии нижних конечностей атлетов ОГ и КГ.

6. Шестой этап – научное обоснование применения биоуправляемой роботизированной механотерапии, направленной на оптимизацию баланса

мышечного аппарата коленного и голеностопного суставов, для восстановления функционального состояния НМА нижних конечностей высококвалифицированных спортсменов в период интенсивной тренировочной деятельности.

Дизайн исследования

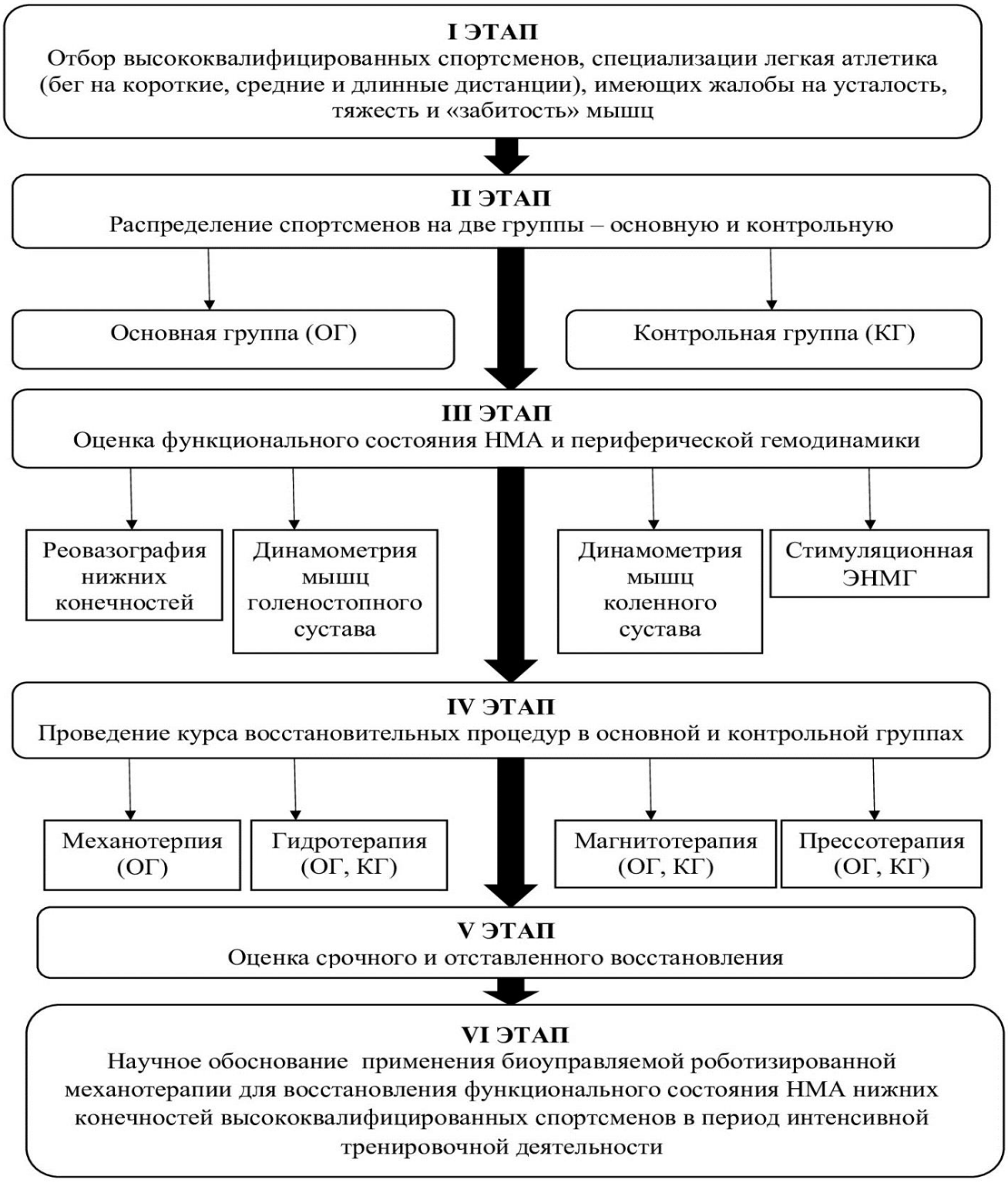


Рис.1. Дизайн исследования восстановления ОДА и периферической гемодинамики спортсменов в период интенсивной тренировочной деятельности с помощью комплекса физиотерапевтических процедур и биоуправляемой механотерапии

2.2 Исследование функционального состояния нервно-мышечного аппарата и периферической гемодинамики у высококвалифицированных легкоатлетов до и после проведения восстановительного комплекса процедур

Оценка функционального состояния НМА нижних конечностей высококвалифицированных легкоатлетов проводилась с помощью **стимуляционной ЭНМГ**. Использовался четырехканальный аппаратно-программный комплекс Нейро-МВП (Нейрософт, г. Иваново). Параметры регистрации: входной диапазон усилителя – 50-60 мВ, нижняя частота фильтра – 2-5 Гц, верхняя частота фильтра – 10 000 Гц. Чувствительность – 2-4 мВ/дел, развертка – 2 мс/дел. Эпоха анализа – 60 мс. При этом активный электрод накладывали на границе верхней и средней третей линии, соединяющей тыльную часть III плюснефалангового сустава и наиболее выступающую часть латеральной лодыжки, а референтный электрод – на тыльную часть V плюснефалангового сустава (С.Г. Николаев, 2010). Выполнялась регистрация М-ответа с короткого разгибателя пальцев стопы при электрической стимуляции (прямоугольные импульсы, длительность подачи импульса – 0,2 с) малоберцового нерва в точках «предплюсна», «головка малоберцовой кости», «подколенная ямка». Сила тока подбиралась индивидуально, до прекращения роста параметров М-ответа в ответ на электрическую стимуляцию и составляла 15-30 мА. Анализировались параметры СРВ (нормативные значения - выше 40 м/с) и М-ответа: латентность, резидуальная латентность (нормативные значения - до 3 мс), амплитуда (нормативные значения - выше 4 мВ) , площадь, длительность.

Оценка силовых показателей мышечного аппарата коленного и голеностопного суставов проводилась с помощью **динамометрического исследования на роботизированном биомеханическом диагностическом комплексе Con-trex** (PHYSIOMED Elektromedizin AG, Германия). Использовался модуль MJ, режим диагностического исследования – изокинетический (до 60^{o} в секунду), позиция спортсмена – сидя при исследовании коленного сустава, лежа при исследовании голеностопного сустава, движение в суставе – сгибание и разгибание. Исследуемые группы мышц: сгибатели коленного сустава (двуглавая

мышца бедра, полуперепончатая и полусухожильные мышцы), разгибатели коленного сустава (четырехглавая мышца бедра), мышцы подошвенного сгибания стопы (икроножная, камбаловидная и подошвенная мышцы), мышцы тыльного разгибания стопы (передняя большеберцовая мышца, длинный разгибатель пальцев, длинный разгибатель большого пальца стопы, малоберцовая мышца). Анализировались следующие параметры: крутящий момент максимальный, крутящий момент средний, крутящий момент относительный (крутящий момент средний/кг веса спортсмена), работа утомление, общая работа.

Исследование периферической гемодинамики нижних конечностей выполнялось с помощью **реографического комплекса «Валента»** (г. Санкт-Петербург). Электроды накладывались на стопу (область основания пальцев стопы), голень (на 2 см выше голеностопного сустава), бедро (область над коленным суставом). Исследовались параметры: реографический индекс (нормативный интервал 0,8-1,2 усл.ед.), время распространения реографической волны (нормативный интервал 0,25-0,27 с), время медленного наполнения сосудов (нормативный интервал 0,08-0,12 с), время максимального систолического наполнения сосудов (нормативный интервал 0,05-0,07 с), модуль упругости (нормативный интервал 11-16%), венозный отток (нормативный интервал 0-20%.), дикротический индекс (нормативный интервал 0,4-0,6 усл.ед.), диастолический индекс (нормативный интервал 0,3-0,55 усл.ед.), коэффициент асимметрии (нормативный интервал 0-20%).

2.3 Методы восстановления опорно-двигательного аппарата спортсменов

Для восстановления ОДА спортсменов ОГ и КГ использовались методы гидро-, прессо-, магнитотерапии.

Гидротерапия проводилась с использованием **четырехкамерной струйно-контрастной ванны** Beka hospitec (Германия) для верхних и нижних конечностей. Параметры выполнения процедуры: длительность сеанса – 10 минут, температура воды – 38^{o} и 14^{o}, 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, область воздействия – коленный и голеностопный суставы, время воздействия – 15 минут, плотность магнитного потока – 0,006 Тл, частота – 25 Гц.

У спортсменов ОГ, помимо физиотерапевтических процедур, проводилась механотерапия коленного и голеностопного суставов на РБК с БОС Con-trex MJ. Для тренировки мышечного аппарата коленного сустава использовались следующие параметры:

1. режим тренировки: изокинетический;
2. профиль тренировки: синусоидальный;
3. позиция спортсмена: сидя;
4. ограничение движений: по скорости – 60^{o}/с (спортсмен не может превысить заданную скорость);
5. движение в суставе: сгибание, разгибание;
6. амплитуда движения: задается индивидуально (до 90^{o});
7. режим сопротивления: эксцентрический, концентрический, пассивные движения;
8. пределы крутящего момента – 300 Нм;
9. количество повторений – 20 раз;
10. перерыв между режимами – 15 секунд (время отдыха);
11. время процедуры – 15-20 минут;
12. дополнительные параметры тренировки: активация режима с БОС.

Для тренировки мышечного аппарата голеностопного сустава использовались параметры:

1. режим тренировки: изокинетический;
2. профиль тренировки: синусоидальный;

3. позиция спортсмена: лежа;

4. ограничение движений: по скорости – 60°/с (спортсмен не может превысить заданную скорость);

5. движение в суставе: сгибание, разгибание;

6. амплитуда движения: задается индивидуально (до 30°);

7. режим сопротивления: эксцентрический, концентрический, пассивные движения;

8. пределы крутящего момента – 300 Нм;

9. количество повторений движения в одном режиме – 20 раз;

10. перерыв между режимами – 15 секунд (время отдыха);

11. время процедуры – 15-20 минут;

12. дополнительные параметры тренировки: активация режима с БОС.

2.4 Статистическая обработка данных

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 (для зависимых групп). Сравнение показателей спортсменов ОГ с параметрами атлетов КГ осуществлялось с помощью непараметрического U-критерия Манна-Уитни (для независимых групп).

ГЛАВА 3

РАЗРАБОТКА И ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КОМПЛЕКСА ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ ФИЗИОТЕРАПЕВТИЧЕСКИХ ПРОЦЕДУР НА ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ОПОРНО-ДВИГАТЕЛЬНОГО АППАРАТА СПОРТСМЕНОВ

Для восстановления ОДА и периферической гемодинамики спортсменов был выбран комплекс физиотерапевтических процедур, включающий сочетанное применение магнито-, гидро– и прессотерапии. Выбор комплексного воздействия был обусловлен взаимным потенцированием действия указанных процедур и проводился в последовательности, определенной их физиологическим действием – сначала применялась магнитотерапия, затем гидротерапия и в заключении прессотерапия. Параметры применения магнито-, гидро- и прессотерапии и этапность диагностического исследования ОДА и периферической гемодинамики спортсменов КГ представлены в таблице 2.

Таблица 2

Параметры применения магнито-, гидро-, прессотерапии и этапность диагностического исследования ОДА и периферической гемодинамики спортсменов КГ

М е т о д ы в о с с т а н о в л е н и я		
Магнитотерапия – аппарат для магнитотерапии Physiomed Mag-Expert, катушка 60 см., область воздействия – коленный и голеностопный сустав, время воздействия – 15 мин, плотность магнитного потока – 0,006 Тл, частота – 25 Гц	Гидротерапия – четырехкамерная струйно-контрастная ванна для рук и ног Beka hospitec, время процедуры – 10 минут, температура горячей воды – 38 ^{o}C, холодной – 14 ^{o}C, цикличность – 45 с, поток – 220 л/мин, давление – 1 атм	Прессотерапия – 12-канальный аппарат для прессотерапии BTL-6000 LYMPHASTIM 12, режим Physiological (физиологическая терапия), область процедуры – нижние конечности, время процедуры – 30 мин, давление манжеты – 60 мм рт. ст.

Продолжение таблицы 2

<table>
<tr><td colspan="4">М е т о д ы д и а г н о с т и к и</td></tr>
<tr><td>динамометрия мышечного аппарата коленного и голеностопного суставов</td><td colspan="2">стимуляционная электронейромиография n. Peroneus</td><td>реовазография нижних конечностей</td></tr>
<tr><td rowspan="4">Этапность диагностического исследования</td><td colspan="3">До применения комплекса магнито-, гидро-, прессотерапии в КГ.</td></tr>
<tr><td colspan="3">После однократного применения комплекса магнито-, гидро-, прессотерапии в КГ.</td></tr>
<tr><td colspan="3">После курсового (по 5 процедур) применения комплекса магнито-, гидро-, прессотерапии в КГ.</td></tr>
<tr><td colspan="3">После курсового (по 10 процедур) применения комплекса магнито-, гидро-, прессотерапии в КГ.</td></tr>
</table>

Исследование функционального состояния НМА у спортсменов КГ показало, что параметры резидуальной латентности и амплитуды М-ответа соответствовали нормативным показателям на всех этапах тестирования при проведении стимуляционной ЭНМГ. Данные скорости распространения возбуждения (СРВ) электрического импульса по моторным волокнам исследуемого нерва на участках «предплюсна» – «головка малоберцовой кости» и «головка малоберцовой кости» – «подколенная ямка» также соответствовали нормативным значениям. При оценке срочных и курсовых эффектов воздействия физиотерапевтических процедур на функциональное состояние НМА необходимо отметить отсутствие статистически значимых изменений параметров стимуляционной ЭНМГ после применения 1, 5 и 10 комплексов 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±0,001 с, после – 0,31±0,01 с, $p<0,02$) (рис. 2).

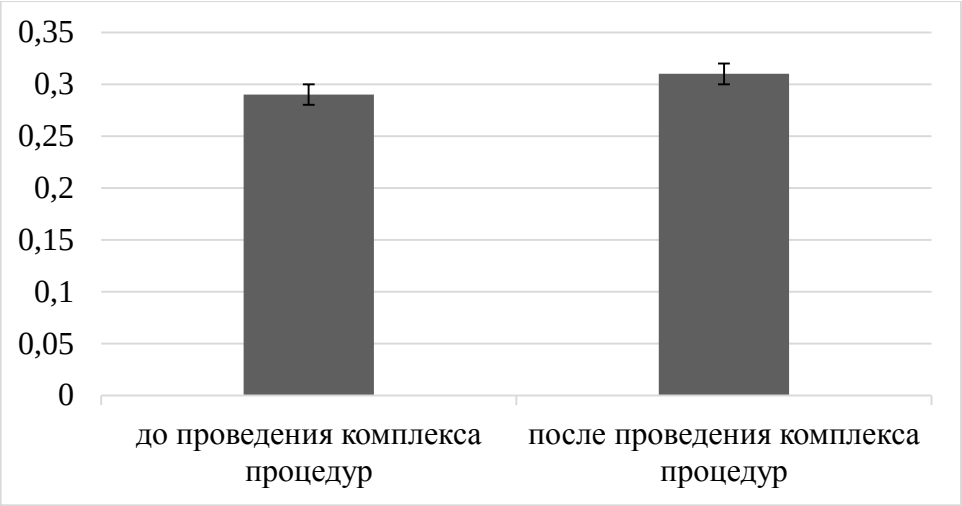


Рис. 2. Параметры изменения времени распространения реографических волн в сегменте «стопа» справа у легкоатлетов мужского пола до и после применения комплекса восстановительных физиопроцедур

Динамика показателей периферического кровотока после однократного применения комплекса восстановительных физиопроцедур у легкоатлеток представлена в таблице 3.

Таблица 3

Сравнительные данные параметров периферической гемодинамики у спортсменок до и после однократного применения комплекса восстановительных физиопроцедур

№ п/п	Показатели	правая нога		P<	левая нога		P<	Норма
		до	после		до	после		
Стопа								
1	РИ	1,10±0,07	0,91±0,12	-	1,16±0,14	0,76±0,10	-	0,8-1,2
2	Qa	0,30±0,01	0,31±0,01	-	0,29±0,001	0,31±0,01	-	0,25-0,27
3	Alfa	0,12±0,01	0,13±0,001	-	0,12±0,01	0,14±0,01	-	0,08-0,12
4	Alfa 2	0,08±0,01	0,09±0,001	-	0,08±0,01	0,09±0,01	-	0,05-0,07
5	МУ	10,1±0,77	13,7±0,67	0,01	10,3±0,87	14,0±1,04	-	11-16%
6	ВО	28,5±6,98	30,8±10,8	-	28,4±7,08	21,3±6,41	-	0-20%
7	ДКИ	0,13±0,06	0,36±0,07	0,04	0,22±0,04	0,37±0,08	-	0,4-0,6
8	ДСИ	0,21±0,09	0,37±0,05	-	0,34±0,03	0,36±0,06	-	0,3-0,55

Продолжение таблицы 3

9	КА	23,67±5,3	44,4±8,17	-	23,67±5,3	44,4±8,17	-	0-20%
Голень								
1	РИ	1,82±0,20	1,69±0,16	-	1,99±0,12	1,61±0,19	-	0,90-1,25
2	Qa	0,27±0,01	0,27±0,01	-	0,26±0,001	0,28±0,001	-	0,23-0,26
3	Alfa	0,15±0,001	0,16±0,001	-	0,15±0,01	0,17±0,01	-	0,08-0,12
4	Alfa 2	0,20±0,10	0,10±0,001	-	0,10±0,01	0,11±0,01	-	0,05-0,06
5	МУ	13,2±0,51	14,5±0,65	0,01	13,6±0,93	15,0±0,98	0,01	11-15%
6	ВО	19,5±3,11	29,6±7,14	-	19,6±3,24	24,2±5,74	-	0-20%
7	ДКИ	0,30±0,02	0,46±0,04	0,02	0,37±0,03	0,46±0,04	-	0,4-0,6
8	ДСИ	0,37±0,04	0,39±0,03	-	0,41±0,02	0,40±0,03	-	0,45-0,75
9	КА	10,2±2,48	18,5±7,71	-	10,2±2,48	18,5±3,71	-	0-20%

Примечание: n=10. Сравнение данных проводилось с помощью непараметрического критерия Вилкоксона. РИ – реографический индекс, Qa – время распространения реографических волн, Alfa – время максимального систолического наполнения сосудов, Alfa 2 – время медленного наполнения, МУ – модуль упругости (показатель тонуса артерий), ВО – показатель венозного оттока, ДКИ – дикротический индекс, ДСИ – диастолический индекс, КА – коэффициент асимметрии.

Анализ параметров реовазографического исследования после проведения восстановительных процедур позволил выявить повышение дикротического индекса в сегментах «стопа» справа ($p<0,04$), «голень» справа ($p<0,02$), что свидетельствует о повышении тонуса артерий мелкого и среднего калибра. Кроме того, во всех исследуемых сегментах, за исключением «стопа» слева, отмечено статистически значимое повышение показателя модуля упругости, в результате чего можно заключить о нормализации параметров интегрального тонуса артериального русла.

Курсовое применение восстановительных физиотерапевтических процедур в течение 5 дней у мужчин не позволило выявить каких-либо изменений периферического кровотока, в отличие от женщин. Динамика показателей периферической гемодинамики после курсового применения комплекса восстановительных физиопроцедур (по 5 процедур магнито-, прессо- и гидротерапии) у легкоатлеток представлена в таблице 4.

Таблица 4

Сравнительные данные параметров периферической гемодинамики у спортсменок до и после курсового применения комплекса восстановительных физиопроцедур

№ п/п	Показатели	правая нога		P<	левая нога		P<	Норма
		до	после		до	после		
Стопа								
1	РИ	1,10±0,07	1,04±0,15	-	1,16±0,14	1,07±0,13	-	0,8-1,2
2	Qa	0,30±0,01	0,29±0,01	-	0,29±0,001	0,28±0,01	-	0,25-0,27
3	Alfa	0,12±0,01	0,17±0,01	-	0,12±0,01	0,17±0,02	-	0,08-0,12
4	Alfa 2	0,08±0,01	0,12±0,01	-	0,08±0,01	0,11±0,01	-	0,05-0,07
5	МУ	10,1±0,77	18,6±1,65	0,01	10,3±0,87	18,0±1,82	0,01	11-16%
6	ВО	28,5±6,98	32,7±4,35		28,4±7,08	26,3±2,62	-	0-20%
7	ДКИ	0,13±0,06	0,44±0,06	0,01	0,22±0,04	0,48±0,07	0,02	0,4-0,6
8	ДСИ	0,21±0,09	0,49±0,06	0,01	0,34±0,03	0,49±0,07	-	0,30-0,55
9	КА	23,67±5,3	34,8±7,06	-	23,67±5,3	34,8±7,06	-	0-20%
Голень								
1	РИ	1,82±0,20	1,86±0,36	-	1,99±0,12	1,90±0,46	-	0,90-1,25
2	Qa	0,27±0,01	0,27±0,01	-	0,26±0,001	0,27±0,01	-	0,23-0,26
3	Alfa	0,15±0,001	0,18±0,01	-	0,15±0,01	0,17±0,01	-	0,08-0,12
4	Alfa 2	0,20±0,10	0,11±0,01	-	0,10±0,01	0,11±0,01	-	0,05-0,06
5	МУ	13,2±0,51	14,2±1,21	0,01	13,6±0,93	14,4±1,10	0,02	11-15%
6	ВО	19,5±3,11	30,8±3,24	-	19,6±3,24	28,0±3,23	-	0-20%
7	ДКИ	0,30±0,02	0,47±0,07	0,04	0,37±0,03	0,48±0,07	-	0,4-0,6
8	ДСИ	0,37±0,04	0,50±0,06	0,03	0,41±0,02	0,47±0,06	-	0,45-0,75
9	КА	10,2±2,48	24,3±1,47	-	10,2±2,48	24,3±1,47	-	0-20%

Примечание: n=10. Сравнение данных проводилось с помощью непараметрического критерия Вилкоксона. РИ – реографический индекс, Qa – время распространения реографических волн, Alfa – время максимального систолического наполнения сосудов, Alfa 2 – время медленного наполнения, МУ – модуль упругости (показатель тонуса артерий), ВО – показатель венозного оттока, ДКИ – дикротический индекс, ДСИ – диастолический индекс, КА – коэффициент асимметрии.

Анализ данных реовазографического исследования после проведения курса восстановительных процедур (по 5 процедур магнито-, прессо- и гидротерапии) позволил выявить повышение значений модуля упругости во всех исследуемых сегментах. Также отмечается статистически значимое повышение дикротического индекса во всех исследуемых сегментах, кроме «голень» слева, и нормализация диастолического индекса в сегментах «стопа» справа ($p<0,01$), «голень» справа ($p<0,03$).

Динамика показателей периферического кровотока после длительного курсового применения комплекса восстановительных физиопроцедур (по 10 процедур магнито-, прессо- и гидротерапии) у легкоатлетов-мужчин представлена в таблице 5.

Таблица 5

Сравнительные данные параметров периферической гемодинамики у легкоатлетов-мужчин до и после курсового применения комплекса восстановительных физиопроцедур

№ п/п	Показатели	правая нога		P<	левая нога		P<	Норма
		до	после		до	после		
Стопа								
1	РИ	1,33±0,12	0,80±0,10	0,01	1,28±0,14	0,80±0,12	0,01	0,8-1,2
2	Qa	0,29±0,001	0,31±0,001	-	0,29±0,01	0,30±0,01	-	0,25-0,27
3	Alfa	0,15±0,01	0,14±0,02	-	0,14±0,01	0,13±0,01	-	0,08-0,12
4	Alfa 2	0,10±0,001	0,10±0,01	-	0,09±0,01	0,09±0,01	-	0,05-0,07
5	МУ	14,8±1,02	13,5±1,67	-	14,3±0,8	12,6±1,13	-	11-16%
6	ВО	24,7±5,15	30,7±6,69	-	29,2±8,4	30,6±9,10	-	0-20%
7	ДКИ	0,41±0,04	0,27±0,10	-	0,38±0,04	0,14±0,22	-	0,4-0,6
8	ДСИ	0,46±0,04	0,32±0,11	-	0,44±0,04	0,24±0,17	-	0,30-0,55
9	КА	39,0±9,62	14,7±4,66	0,03	39,0±9,6	14,7±4,66	0,03	0-20%
Голень								
1	РИ	2,02±0,16	1,62±0,16	-	2,31±0,26	1,75±0,18	-	0,90-1,25
2	Qa	0,26±0,01	0,27±0,001	-	0,26±0,01	0,27±0,001	-	0,23-0,26

Продолжение таблицы 5

3	Alfa	0,17±0,01	0,15±0,01	0,01	0,17±0,001	0,15±0,01	-	0,08-0,12
4	Alfa 2	0,11±0,01	0,20±0,10	-	0,11±0,001	0,10±0,01	-	0,05-0,06
5	МУ	17,8±1,24	14,3±0,60	0,03	17,5±0,98	14,7±0,83	0,03	11-15%
6	ВО	29,8±5,80	31,1±8,60	-	27,9±4,29	28,5±7,13	-	0-20%
7	ДКИ	0,42±0,03	0,29±0,04	-	0,43±0,03	0,33±0,04	-	0,4-0,6
8	ДСИ	0,43±0,03	0,37±0,04	-	0,45±0,03	0,37±0,03	-	0,45-0,75
9	КА	17,9±5,61	17,6±4,27	-	17,9±5,61	17,6±4,27	-	0-20%

Примечание: n=10. Сравнение данных проводилось с помощью непараметрического критерия Вилкоксона. РИ – реографический индекс, Qa – время распространения реографических волн, Alfa – время максимального систолического наполнения сосудов, Alfa 2 – время медленного наполнения, МУ – модуль упругости (показатель тонуса артерий), ВО – показатель венозного оттока, ДКИ – дикротический индекс, ДСИ – диастолический индекс, КА – коэффициент асимметрии.

После проведения курса процедур у спортсменов выявлено снижение реографического индекса, что свидетельствует о нормализации пульсового кровенаполнения в сегменте «стопа» слева и справа ($p<0,01$). Кроме того, с обеих сторон в исследуемом сегменте отмечается значительное снижение коэффициента асимметрии ($p<0,03$). При анализе гемодинамических параметров в сегменте «голень» справа отмечается снижение времени максимального систолического наполнения сосудов, однако этот показатель все еще превышает нормативный интервал. Также, в сегменте «голень» и справа, и слева снизился до нормативного значения показатель модуль упругости, вследствие чего можно заключить о нормализации параметров интегрального тонуса артериального русла.

При анализе реографических данных у спортсменок после проведения длительного курса физиотерапевтических процедур (по 10 процедур магнито-, прессо- и гидротерапии) было выявлено снижение параметров времени максимального систолического наполнения сосудов (слева до – 0,15±0,01 с, после – 0,12±0,01 с $p<0,01$; справа до – 0,18±0,01 с, после – 0,12±0,01 с, $p<0,04$) и времени медленного наполнения сосудов (слева до – 0,11±0,01 с, после – 0,08±0,01 с $p<0,008$; справа до – 0,14±0,01 с, после – 0,08±0,01 с, $p<0,01$) в сегменте «стопа» с обеих сторон (рис. 3).

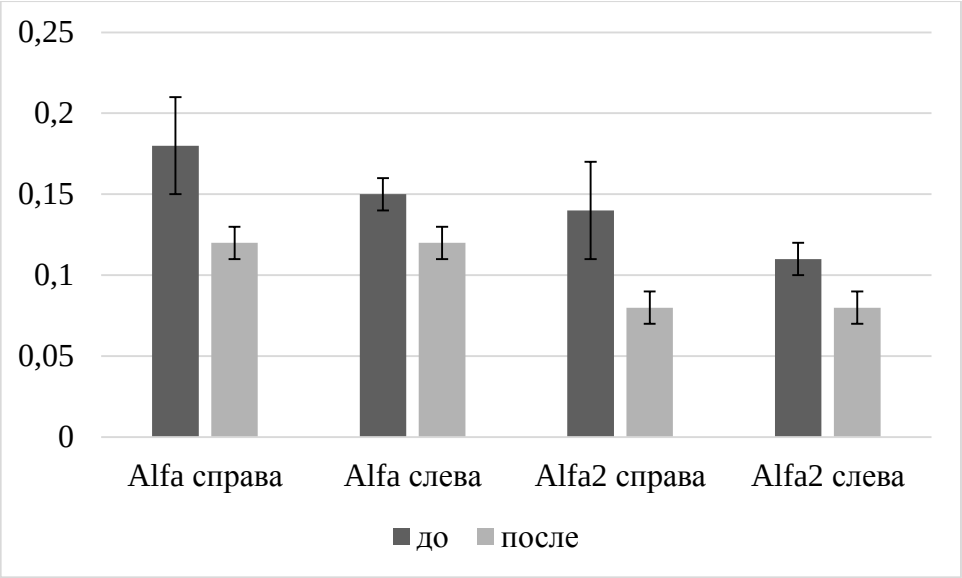


Рис. 3. Параметры времени максимального систолического наполнения сосудов и медленного наполнения сосудов в сегменте «стопа» у легкоатлеток до и после проведения курса физиотерапевтических процедур

Примечание: Alfa – время максимального систолического наполнения сосудов в сегменте «стопа», Alfa 2 – время медленного наполнения сосудов в сегменте «стопа».

Анализ данных динамометрического исследования показал отсутствие статистически значимых изменений параметров работы и крутящего момента мышечного аппарата коленного и голеностопного суставов.

Таким образом, можно заключить, что применение гидро-, прессо- и магнитотерапии способствует улучшению преимущественно периферической гемодинамики за счет нормализации артериального притока крови, венозного оттока и микроциркуляции.

ГЛАВА 4

МЕТОДИКА ПРИМЕНЕНИЯ БИОУПРАВЛЯЕМОЙ МЕХАНОТЕРАПИИ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ НЕРВНО-МЫШЕЧНОГО АППАРАТА НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ ВЫСОКОКВАЛИФИЦИРОВАННЫХ СПОРТСМЕНОВ В ПЕРИОД ИНТЕНСИВНОЙ ТРЕНИРОВОЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Методика восстановления функционального состояния НМА нижних конечностей высококвалифицированных спортсменов с помощью биоуправляемой механотерапии, оптимизирующей баланс мышечного аппарата суставов нижних конечностей, направлена на обеспечение возможности быстрого восстановления ОДА спортсменов после интенсивных физических нагрузок и снижение риска возникновения усталостных травм и повреждений. Оптимизация баланса мышц нижних конечностей спортсменов с помощью роботизированной механотерапии включает активное и пассивное движение в коленном и голеностопном суставе с заданной скоростью и регулируемым сопротивлением.

4.1 Задачи, показания и противопоказания методики восстановления опорно-двигательного аппарата с помощью биоуправляемой механотерапии

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, и, как следствие, ускорение восстановления после интенсивных физических нагрузок.

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

Условия проведения и оборудования.

Для проведения исследования рекомендованы следующие параметры окружающей среды:

- температура воздуха – +18 - +24 ^{o}C;

- относительная влажность воздуха – 40-80%;

- атмосферное давление – 84,0-106,7 кПа (от 630 до 800 мм рт. ст.).

Рекомендуемое оснащение:

- РБК с БОС Con-trex, модуль MJ;

- сантиметровая лента.

4.2 Содержание методики восстановления опорно-двигательного аппарата с помощью биоуправляемой механотерапии

Методика восстановления ОДА нижних конечностей спортсменов с помощью биоуправляемой механотерапии включает:

- тренировку мышц коленного сустава, которая происходит в изокинетическом режиме, профиль тренировки – синусоидальный, позиция спортсмена – сидя, ограничение движений – по скорости 60 градусов в секунду, тип движения в суставе – сгибание и разгибание, амплитуда движения не превышает 90 градусов, последовательное применение режимов сопротивления движения: пассивная мобилизация, активные движения в эксцентрическом и

концентрическом режиме сопротивления, пассивная мобилизация, пределы крутящего момента – 300 Нм, количество повторений – 20 раз, активация режима с БОС, перерыв между последовательным применением режимов сопротивления движения – 15 секунд, общее время тренировки мышц коленного сустава – 15-20 минут (рис. 4, 5);

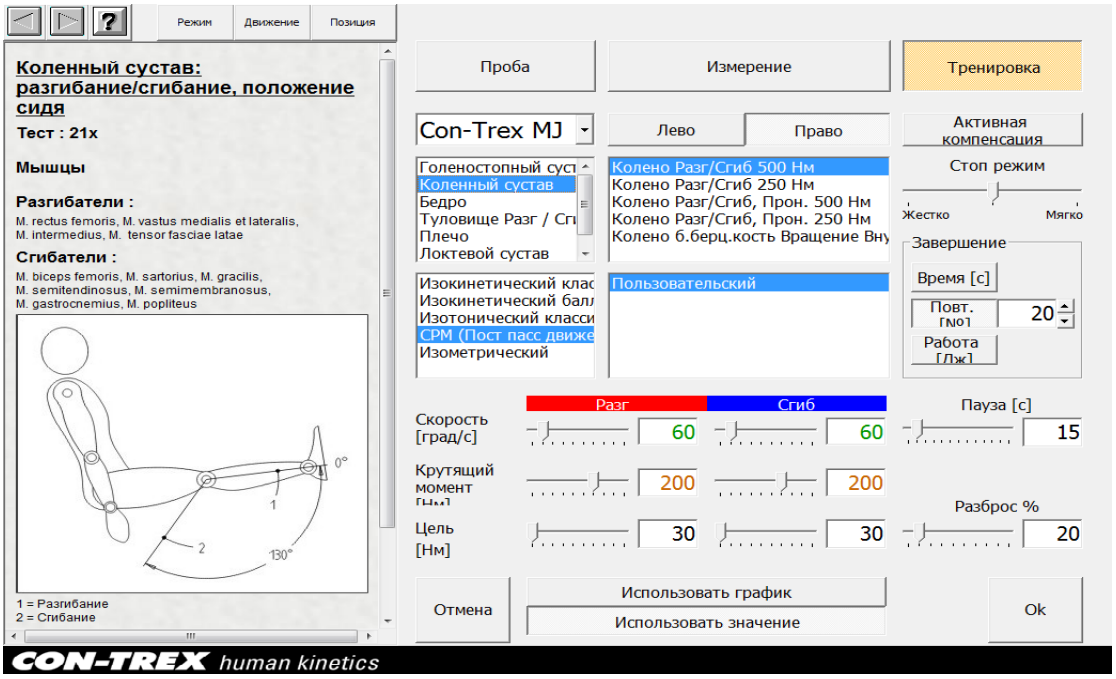


Рис. 4. Параметры скорости, силы и типа движения в коленном суставе при проведении механотерапии на РБК с БОС

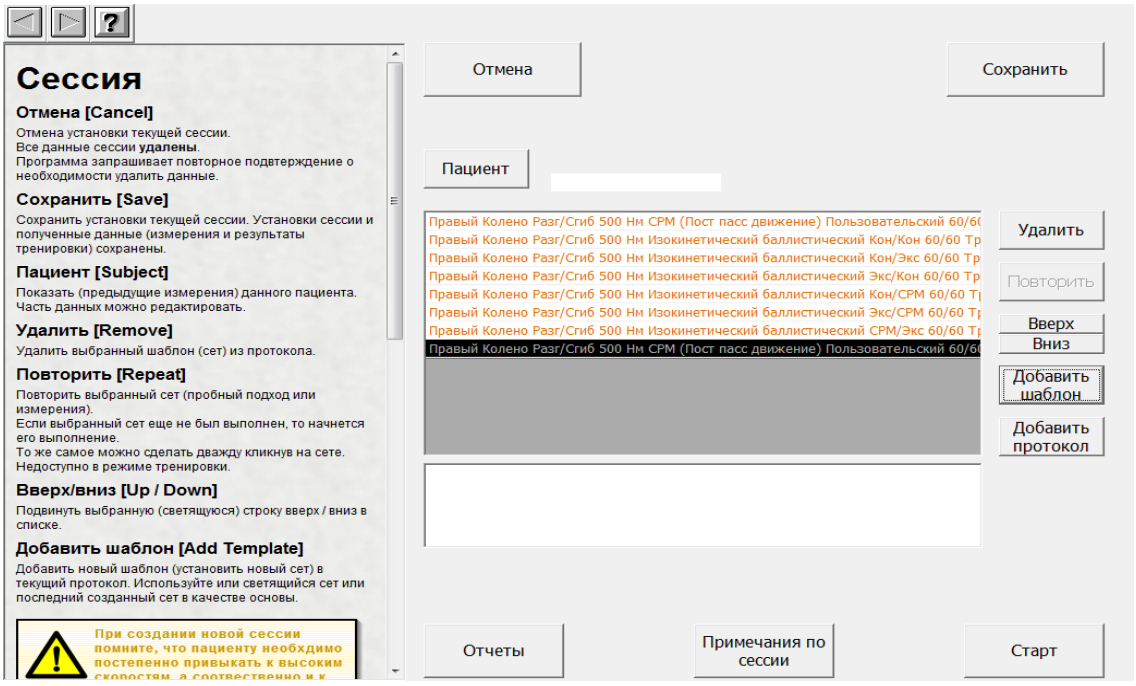


Рис. 5. Параметры режимов активной и пассивной мобилизации при проведении механотерапии мышечного аппарата коленного сустава

- тренировку мышц голеностопного сустава, которая проводится в изокинетическом режиме, профиль тренировки – синусоидальный, позиция спортсмена – лежа, ограничение движений – по скорости 60 градусов в секунду, тип движения в суставе – сгибание и разгибание, амплитуда движения не превышает 30 градусов, последовательное применение режимов сопротивления движения: пассивная мобилизация, активные движения в эксцентрическом и концентрическом режиме сопротивления, пассивная мобилизация, пределы крутящего момента – 300 Нм, количество повторений – 20 раз, перерыв между последовательным применением режимов сопротивления движения – 15 секунд, активация режима с БОС, общее время тренировки мышц голеностопного сустава – 15-20 минут (рис. 6).

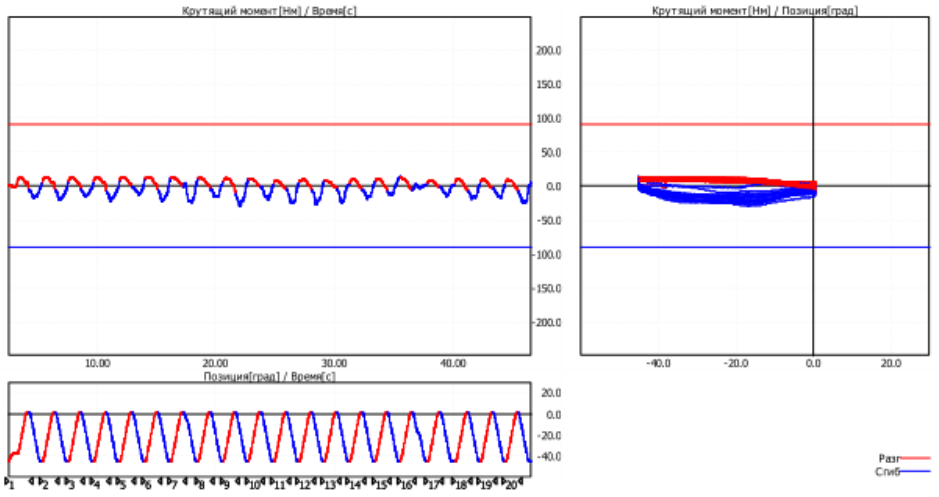


Рис. 6. Параметры крутящего момента при активной и пассивной мобилизации мышечного аппарата голеностопного сустава

Курс процедур как при оптимизации баланса мышц коленного сустава, так и голеностопного сустава составляет 10 процедур.

Физиологический эффект обеспечивается тем, что в зоне воздействия ликвидируется дисбаланс силовых параметров мышц-антагонистов, происходит снижение мышечного утомления, улучшается микроциркуляция, нормализуется артериальный приток и венозный отток, улучшается биоэлектрическая активность НМА, повышается скорость распространения электрических импульсов по моторным волокнам нервной ткани, а также по терминалям аксонов, не имеющих миелиновой оболочки.

Разработанная методика применения биоуправляемой механотерапии для восстановления функционального состояния НМА нижних конечностей высококвалифицированных спортсменов в период интенсивной тренировочной деятельности представлена на рисунке 7.

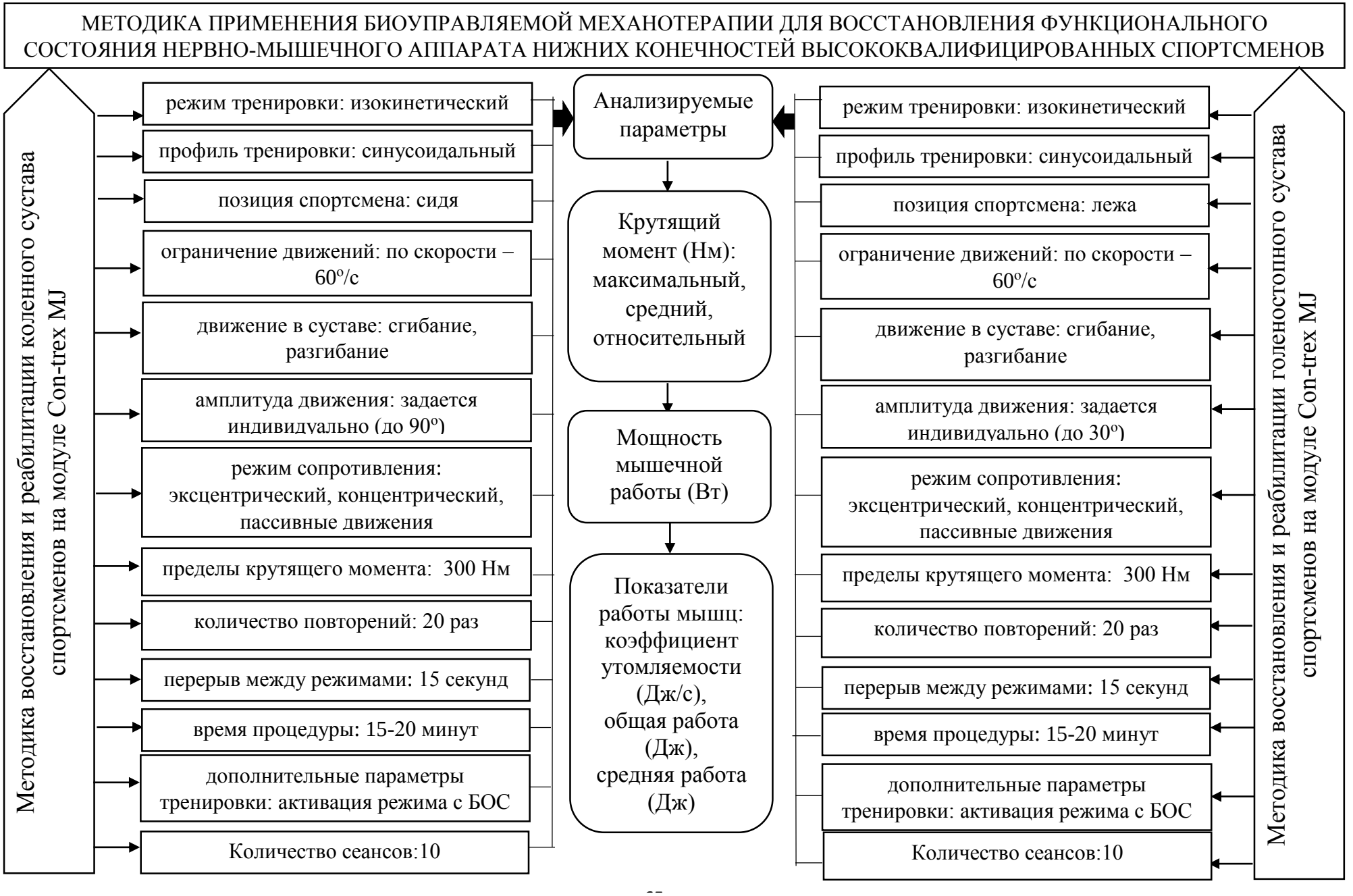


Рис.7 Методика применения биоуправляемой механотерапии для восстановления функционального состояния НМА нижних конечностей высококвалифицированных спортсменов в период интенсивной тренировочной деятельности

Таким образом, предполагается, что включение в программу восстановления нижних конечностей спортсменов биоуправляемой механотерапии, способствующей оптимизации баланса мышечной системы коленных и голеностопных суставов за счет изменения силовых параметров мышечного аппарата, улучшит способность атлетов точно дозировать прикладываемое усилие при длительной физической нагрузке. Нагрузка во время сеансов механотерапии является динамической, однако будет проводиться активная компенсация прилагаемого спортсменом усилия, в результате чего возможен контроль за усилением слабых мышечных групп и расслаблением спазмированных участков мышц. В результате такой нагрузки будет сформировано биомеханически правильное движение сустава, которое сохранится при реализации спортивного двигательный навыка.

ГЛАВА 5

ВЛИЯНИЕ БИОУПРАВЛЯЕМОЙ МЕХАНОТЕРАПИИ И КОМПЛЕКСА ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕДУР НА ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ОПОРНО-ДВИГАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ЛЕГКОАТЛЕТОВ

5.1 Влияние одного сеанса биоуправляемой механотерапии, оптимизирующей мышечный баланс, и комплекса восстановительных процедур на функциональное состояние опорно-двигательного аппарата спортсменов

Исследование восстановления ОДА и периферической гемодинамики спортсменов в период интенсивной тренировочной деятельности с помощью комплекса физиотерапевтических процедур и биоуправляемой механотерапии оценивались по параметрам роботизированной динамометрии мышечного аппарата коленного и голеностопного суставов, стимуляционной ЭНМГ глубокого малоберцового нерва и реовазографии нижних конечностей.

Результаты исследования показали, что проведение одной тренировки на РБК Con-trex способствует росту показателей крутящего момента мышц-разгибателей и сгибателей коленных суставов у спортсменов мужского пола (табл. 6).

Таблица 6

Параметры крутящего момента мышц-сгибателей и разгибателей коленных суставов у спортсменов мужского пола до и после сеанса механотерапии

№ п/п	Мышечные группы	Крутящий момент max, Нм 1		Крутящий момент max средний, Нм 2		Крутящий момент max средний/кг, Нм/кг 3		P<
		до	после	до	после	до	после	
1	Сгибатели правого коленного сустава	42,2±8,9	53,7±17,0	33,8±8,6	40,9±7,9	0,39±0,1	0,41±0,1	3 – p <0,005

Продолжение таблицы 6

2	Разгибатели правого коленного сустава	51,3±12,1	54,3±9,5	25,7±11,1	49,8±8,0	0,48±0,1	0,49±0,1	2 – p <0,03
3	Сгибатели левого коленного сустава	38±6,6	39,6±8,1	38,7±4,8	37,6±6,2	0,35±0,1	0,36±0,1	-
4	Разгибатели левого коленного сустава	34,9±3,9	36±3,9	23,8±10,2	32,2±10,2	0,39±0,1	0,40±0,1	1 – p <0,01

Примечание: n=23, p⩽0,05 – достоверные различия между группами сравнения, «-» – отсутствие достоверных различий между группами сравнения

При этом отмечается тенденция к снижению коэффициента утомления мышц-сгибателей (до – 0,26±0,08 Дж/с, после – 0,17±0,08 Дж/с) и разгибателей) (до – 0,36±0,17 Дж/с, после – 0,16±0,07 Дж/с) коленного сустава справа.

При анализе динамометрических показателей мышечного аппарата левого голеностопного сустава у легкоатлетов мужского пола не было выявлено никаких статистически значимых изменений. Динамометрическое исследование мышц правого голеностопного сустава позволило выявить повышение параметров крутящего момента подошвенных сгибателей стопы (крутящий момент средний до – 61,5±8,2 Нм, после – 65,1±7,7 Нм, p<0,02; крутящий момент средний/кг до – 0,88±0,11 Нм/кг, после – 0,91±0,12 Нм/кг, p<0,005) и тыльных разгибателей стопы после одного сеанса механотерапии (крутящий момент средний до – 40,3±7,6 Нм, после – 43,2±6,7 Нм, p<0,01; крутящий момент средний/кг до – 0,53±0,12 Нм/кг, после – 0,54±0,12 Нм/кг, p<0,01) (рис. 8).

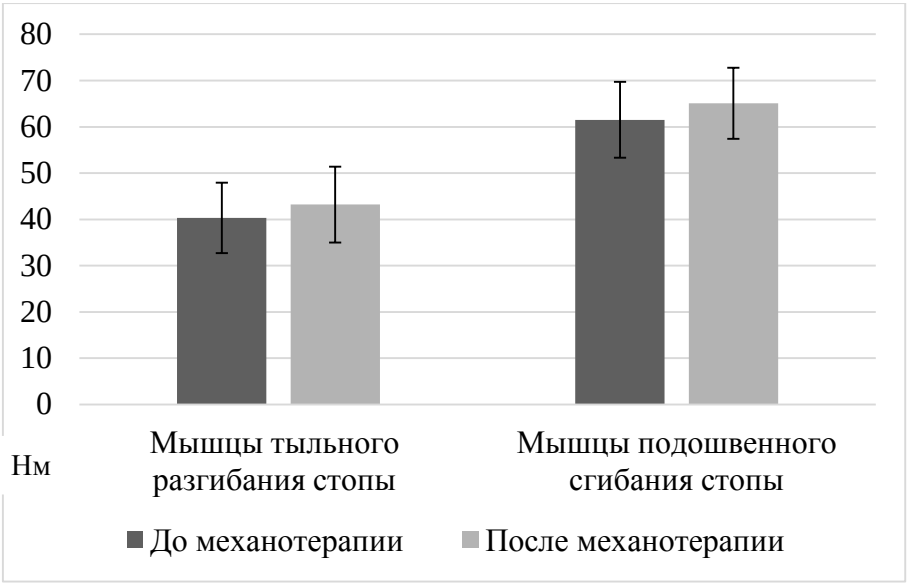


Рис. 8. Динамометрические показатели мышечного аппарата правого голеностопного сустава у легкоатлетов, Нм

Проведение динамометрического исследования мышц-сгибателей и разгибателей коленного сустава у спортсменов женского пола показало повышение крутящего момента всех исследуемых мышечных групп после проведения одного сеанса механотерапии, за исключением разгибателей левого коленного сустава. Кроме того, после механотерапии мышечного аппарата голеностопных суставов справа отмечается повышение показателей крутящего момента мышц задней поверхности голени, отвечающих за подошвенное сгибание стопы ($p<0,01$). Слева статистически значимые изменения силовых показателей отмечаются только у мышц передней поверхности голени ($p<0,03$) (табл. 7).

Таблица 7

Параметры крутящего момента мышц-сгибателей и разгибателей коленных и голеностопных суставов у спортсменов женского пола до и после сеанса механотерапии

№ п/п	Мышечные группы	Крутящий момент max, Нм 1		Крутящий момент max средний, Нм 2		Крутящий момент max средний/кг, Нм/кг 3		P<
		до	после	до	после	до	после	
1	Сгибатели правого коленного сустава	44,5± 4,7	52,9± 4,7	32,9± 4,7	38,5± 4,7	0,62± 0,09	0,64± 0,09	2 – p <0,005; 3 – p <0,005
2	Разгибатели правого коленного сустава	58,1± 8,6	66,1± 10,6	52,7± 6	58,5± 9,4	0,91± 0,1	1,02± 0,1	3 – p <0,04
3	Сгибатели левого коленного сустава	36,9± 4,7	51± 4,66	32,9± 4,5	41,4± 4,5	0,63± 0,06	0,64± 0,06	2 – p <0,03; 3 – p <0,03
4	Разгибатели левого коленного сустава	74,5± 11	83,4± 8,5	57,8± 8,9	54,2± 7,4	0,88± 0,1	0,82± 0,08	-
5	Мышцы подошвенного сгибания стопы справа	36,7± 3,1	43,9± 4,9	33,7± 3,6	36,4± 4,0	0,56± 0,08	0,6± 0,09	1 – p <0,01
6	Мышцы тыльного разгибания стопы справа	38,6± 6,8	40,7± 5,9	26,7± 2,7	28,5± 2,4	0,36± 0,07	0,39± 0,07	-
7	Мышцы подошвенного сгибания стопы слева	34,1± 4,1	39,6± 6,9	27,1± 3,8	27,8± 6,1	0,43± 0,09	0,51± 0,11	-
8	Мышцы тыльного разгибания стопы слева	27,3± 3,8	33,3± 6,2	20,9± 3,6	21,8± 4,2	0,37± 0,06	0,4± 0,08	1 – p <0,03

Примечание: n=21, $p \leqslant 0,05$ – достоверные различия между группами сравнения, «-» – отсутствие достоверных различий между группами сравнения

Исследование параметров нервно-мышечной передачи показало, что до проведения механотерапии параметры М-ответа, регистрируемого с короткого разгибателя пальцев стопы при стимуляции глубокого малоберцового нерва

электрическим током, укладывались в рамки нормативных значений амплитуды, резидуальной латентности и СРВ по нервному волокну у спортсменов женского пола. Статистически значимых изменений параметров М-ответа после сеанса механотерапии выявлено не было.

Исследование нервно-мышечной передачи у спортсменов мужского пола позволило выявить снижение длительности М-ответа, регистрируемого с короткого разгибателя пальцев стопы во всех точках стимуляции глубокого малоберцового нерва справа ($p<0,01$), что свидетельствует о снижении времени, необходимого для возникновения возбуждения и расслабления мышечных волокон при их стимуляции, и, как следствие, повышения скорости мышечной координации. При проведении повторного исследования после сеанса механотерапии было также выявлено снижение показателя резидуальной латентности справа ($p<0,02$), в результате чего можно сделать вывод об увеличении скорости прохождения электрического импульса по терминалям аксонов, не имеющих миелиновой оболочки. Параметры М-ответа, регистрируемые с короткого разгибателя пальцев стопы у спортсменов мужского пола до и после проведения механотерапии представлены в таблице 8.

Таблица 8

Параметры М-ответа, регистрируемые с короткого разгибателя пальцев стопы при стимуляции глубокого малоберцового нерва у легкоатлетов мужского пола до и после проведения механотерапии

№ п/п	Параметры ЭНМГ	Правая нога		P<	Левая нога		P<	Норма
		до	после		до	после		
Точка стимуляции «предплюсна»								
1	Латентность, мс	3,7± 0,19	3,75± 0,15	-	4,00± 0,31	3,73± 0,18	-	-
2	Амплитуда, мВ	5,11± 0,3	5,62± 0,50	-	5,35± 0,39	5,95± 0,48	-	>3,5 мВ

Продолжение таблицы 8

3	Длительность, мс	6,7± 0,20	5,89± 0,16	0,009	6,34± 0,27	6,85± 0,27	-	-
4	Площадь, мВ*мс	15,7± 1,0	19,4± 1,6	-	17,0± 1,23	19,9± 1,4	-	-
5	Резидуальная латентность, мс	2,59± 0,2	1,99± 0,14	0,02	2,55± 0,19	2,74± 0,18	-	<3,0 мс
	Точка стимуляции «головка малоберцовой кости»							
1	Латентность, мс	10,6± 0,31	10,24± 0,2	-	10,5± 0,26	10,3± 0,19	-	-
2	Амплитуда, мВ	4,85± 0,3	5,12± 0,46	-	4,85± 0,34	5,51± 0,47	-	>3,5 мВ
3	Длительность, мс	7,27± 0,21	6,50± 0,12	0,01	7,11± 0,42	7,58± 0,39	-	-
4	Площадь, мВ*мс	16,0± 0,92	18,3± 1,5	-	15,8± 1,1	19,2± 1,4	-	-
5	СРВ, м/с	53,2± 1,5	55,8± 1,4	-	52,8± 1,8	54,8± 0,9	-	>40 м/с
Точка стимуляции «подколенная ямка»								
1	Латентность, мс	11,7± 0,26	11,38± 0,2	-	11,6± 0,27	11,5± 0,2	-	-
2	Амплитуда, мВ	4,85± 0,32	5,50±0, 51	-	5,19± 0,37	5,75± 0,45	-	>3,5 мВ
3	Длительность, мс	7,23± 0,21	6,36±0, 17	0,009	6,92± 0,41	7,41± 0,40	-	-
4	Площадь, мВ*мс	16,06 ± 0,9	19,7±1, 6	-	17,1± 1,2	20,3± 1,5	-	-
5	СРВ, м/с	58,9± 1,5	71,3± 2,2	-	64,1± 2,0	67,7± 1,9	-	>40 м/с

Примечание: n=23, p⩽0,05 – достоверные различия между группами сравнения, «-» - отсутствие достоверных различий между группами сравнения

При проведении реовазографии нижних конечностей регистрировались данные артериального притока, венозного оттока и параметры микроциркуляции в сегментах «голень» и «стопа». При анализе параметров периферической гемодинамики нижних конечностей у спортсменов мужского пола в исследуемых сегментах были выявлены значения, превышающие норму (реографический индекс, время быстрого и медленного наполнения сосудов, венозного оттока, модуля упругости и коэффициента асимметрии). Анализ гемодинамических показателей позволил выявить статистически значимое снижение параметров реографического индекса в сегменте «голень» справа (до – 2,14±0,33, после – 1,17±0,12, p<0,006) и слева (до – 1,98±0,22, после – 1,17±0,11, p<0,005) у

спортсменов мужского пола, что свидетельствует о нормализации у них пульсового кровенаполнения.

Исследование показателей кровотока нижних конечностей у спортсменок женского пола позволило выявить снижение параметров реографического индекса в сегменте «голень» справа (до – 1,56±0,15, после – 1,21±0,09, $p<0,01$), а также нормализацию показателя времени распространения реографических волн в сегменте «стопа» слева (до – 0,29±0,01, после – 0,27±0,01, $p<0,01$).

Таким образом, анализируя данные динамометрического, нейромиографического и реовазографического исследования, можно заключить о положительном влиянии механотерапии на силовые показатели мышц, нервно-мышечную передачу и периферический кровоток. Было выявлено, что применение одного сеанса роботизированной лечебной гимнастики способствует росту силовых показателей мышечной ткани, повышению скорости распространения электрического импульса по терминалям аксонов, не имеющих миелиновой оболочки, росту мышечной координации и нормализации параметров артериального кровотока. Оценивая срочные эффекты применения механотерапии, необходимо отметить перспективу их применения в тренировочном процессе на этапе восстановления спортсменов после интенсивных физических нагрузок.

5.2 Влияние курсового применения (5 процедур) биоуправляемой механотерапии, оптимизирующей мышечный баланс, и комплекса восстановительных процедур на функциональное состояние опорно-двигательного аппарата спортсменов

Анализ динамометрических показателей мышечного аппарата голеностопного сустава позволил выявить статистически значимое снижение параметров крутящего момента всех исследуемых мышечных групп после 5 процедур роботизированной механотерапии у легкоатлетов мужского пола (табл. 9).

Таблица 9

Сравнительные данные параметров крутящего момента мышц подошвенного сгибания и тыльного разгибания стопы у легкоатлетов мужского пола до и после курса механотерапии (5 процедур)

№ п/п	Мышечные группы	Крутящий момент max, Нм 1		Крутящий момент max средний, Нм 2		Крутящий момент max средний/кг, Нм/кг 3		p<0,05
		до	после	до	после	до	после	
1	Мышцы тыльного разгибания стопы справа	58,2±9,1	50,4±9,1	40,3±7	34,9±6,3	0,53±0,1	0,48±0,1	1 – p <0,001; 2 - p <0,02; 3- p <0,002
2	Мышцы подошвен-ного сгибания стопы справа	75,3±8,4	52,3±7,1	61,5±8	37,9±6,7	0,88±0,1	0,51±0,1	1 – p <0,001; 2 – p <0,001; 3 – p <0,001
3	Мышцы тыльного разгибания стопы слева	60,8±8,5	53,5±6,0	31,4±7	34,2±6,2	0,46±0,1	0,48±0,1	1 – p <0,03
4	Мышцы подошвен-ного сгибания стопы слева	78,6±7,3	54,9±4,4	63,3±6	38,3±4,0	0,91±0,1	0,53±0,1	1 – p <0,02; 2 - p <0,002; 3 - p <0,002

Примечание: n=23, p⩽0,05 – достоверные различия между группами сравнения, «-» – отсутствие достоверных различий между группами сравнения

При этом необходимо отметить, что до проведения курса механотерапии разница между параметрами среднего крутящего момента сгибателей и разгибателей стопы составляла до 51% (p<0,002). А разница между значениями максимального крутящего момента мышц-антагонистов составляла до 33% (p<0,03). После курса механотерапии достоверных различий между силовыми показателями подошвенных сгибателей стопы и тыльных разгибателей стопы выявлено не было, что свидетельствует о приложении спортсменом одинаковой силы при сгибании и разгибании голеностопных суставов (рис. 9).

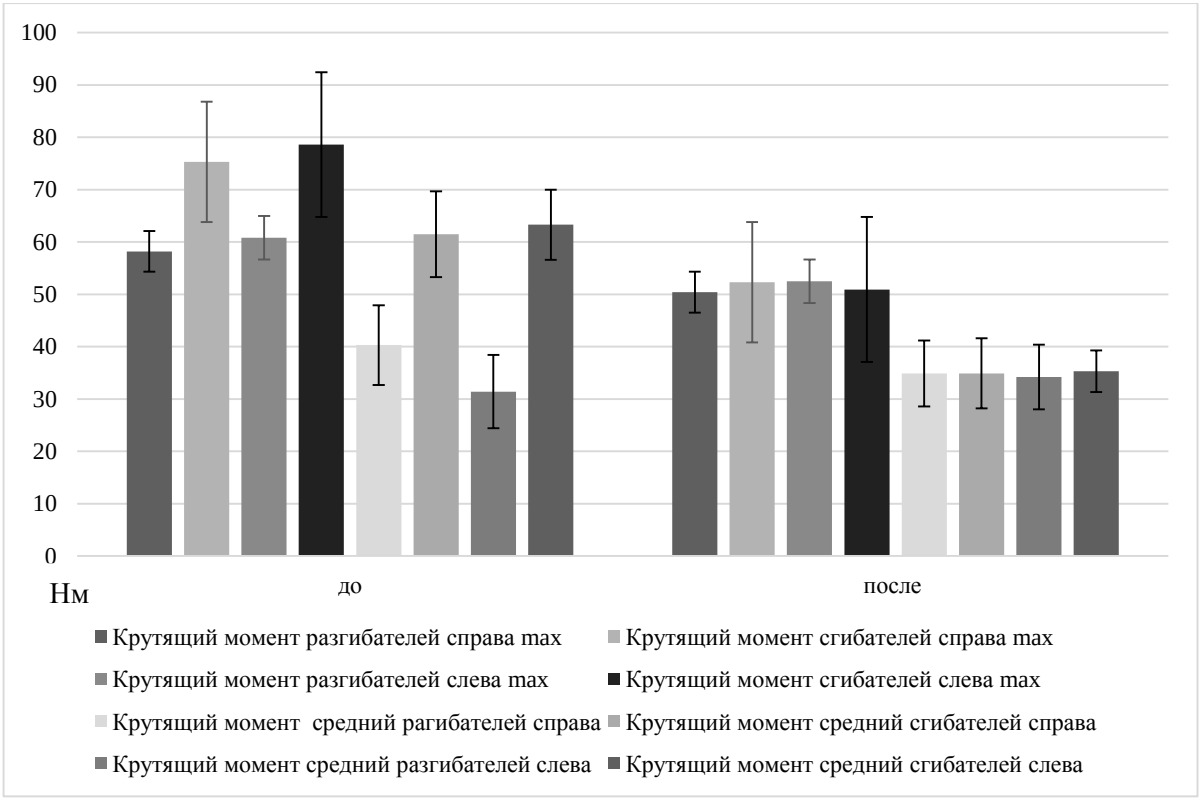


Рис. 9. Сравнительные данные среднего и максимального крутящего момента подошвенных сгибателей стопы и тыльных разгибателей стопы до и после курса механотерапии у спортсменов мужского пола

Анализируя показатели работы, необходимо отметить статистически значимое снижение значений мышечного утомления левого тыльного разгибателя стопы после курса механотерапии (до – 0,7±0,1 Дж/с, после – 0,5±0,1 Дж/с $p<0,002$). Параметры общей работы у спортсменов мужского пола также снизились как справа (сгибатели до – 404±44,1 Дж, после – 222±22,8 Дж, $p<0,002$; разгибатели до – 124,1±9,1 Дж, после – 112,3±7,9 Дж, $p<0,02$) так и слева (сгибатели до – 404±43,6 Дж, после – 213,7±35,2 Дж, $p<0,005$; разгибатели до – 120,6±10,3 Дж, после – 108±9,3 Дж, $p<0,002$) после курса роботизированной гимнастики.

Анализируя силовые параметры мышечного аппарата голеностопного сустава у спортсменок, необходимо отметить, что при первом исследовании был выявлен дисбаланс силы мышц-сгибателей и разгибателей левой стопы (21%, $p<0,001$), который был полностью корригирован после проведения курса механотерапии (рис. 10). Также было отмечено снижение параметров среднего

крутящего момента мышц подошвенного сгибания стопы справа (до – 33,7±3,6 Нм, после – 25,6±2,2 Нм, p<0,04).

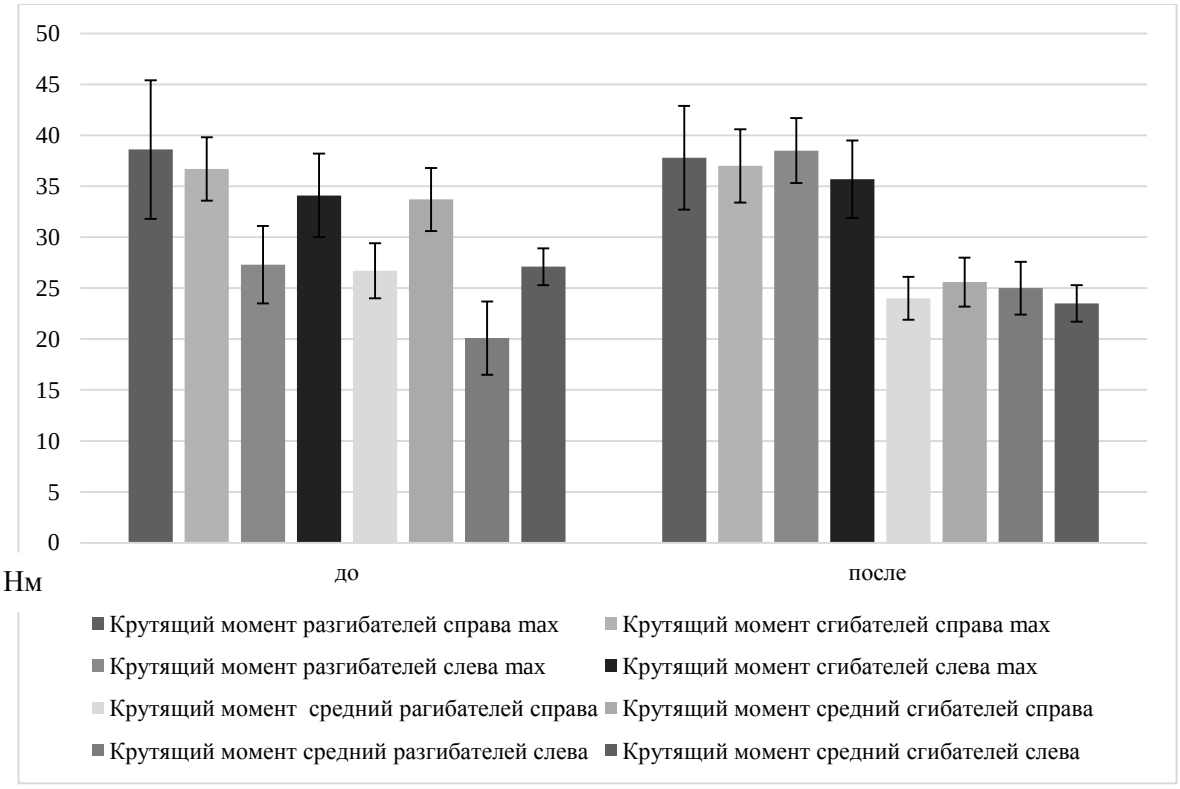


Рис. 10. Сравнительные данные среднего и максимального крутящего момента подошвенных сгибателей стопы и тыльных разгибателей стопы до и после курса механотерапии у спортсменов женского пола

Сравнительный анализ данных общей работы показал снижение исследуемых значений у спортсменок легкой атлетики после курса роботизированной механотерапии. Так, параметры работы мышц подошвенных сгибателей стопы справа снизились с 266,7±10,5 Дж до 215±10,5 Дж (p<0,003). Слева после курса механотерапии отмечалось снижение параметров работы как мышц-сгибателей стопы (до – 236,3±39,6 Дж, после – 147,6±47,3 Дж, p<0,003), так и разгибателей (до – 88,9±13,5 Дж, после – 76,3±13,5 Дж, p<0,003).

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±4,8 Нм, после – 30,2±2,2 Нм, p<0,03). При этом после курса механотерапии отмечается

симметричность параметров приложения силы как в направлении сгибания, так и разгибания (рис. 11).

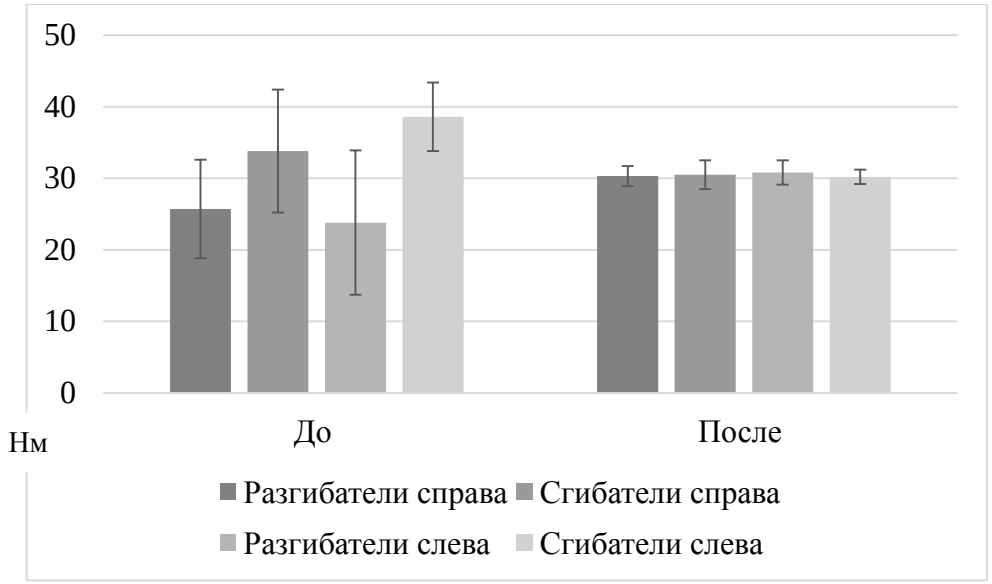


Рис. 11. Динамика параметров среднего крутящего момента мышечного аппарата коленного сустава до и после курса механотерапии у спортсменов мужского пола

Сравнительный анализ параметров работы мышечного аппарата позволил выявить снижение утомления сгибателей (до – 0,18±0,08 Дж/с, после – 0,16±0,08 Дж/с, $p<0,02$) и разгибателей (до – 0,22±0,07 Дж/с, после – 0,15±0,07 Дж/с, $p<0,01$) левого коленного сустава. Данные статистического анализа показали также значительное снижение параметров общей работы. Так, значения показателей работы мышц-разгибателей правого коленного сустава составляли 591±156,6 Дж до начала лечения, а после – 173±40 Дж ($p<0,01$), сгибателей – 683±102 Дж до начала механотерапии, а после – 401±130 Дж ($p<0,005$). Слева параметры работы разгибателей коленного сустава до механотерапии составляли 314±60,37 Дж, после – 138±26,1 Дж ($p<0,01$), а сгибателей до – 442,3±92,3 Дж, после – 208,4±33,7 Дж ($p<0,01$).

Динамометрическое исследование силовых показателей мышц у спортсменок легкой атлетики показало статистически значимое снижение параметров относительного крутящего момента правого (до – 0,91±0,15 Нм, после – 0,79±0,11 Нм, $p<0,005$) и левого (до – 0,88±0,13 Нм, после – 0,70±0,08 Нм, $p<0,03$) разгибателя коленного сустава. Было отмечено снижение параметров среднего крутящего момента мышц-разгибателей правого коленного сустава (до – 52,7±6,0

Нм, после – 38,1±1,98 Нм, p<0,03). Был выявлен ряд статистически значимых отличий между параметрами работы у легкоатлеток до проведения механотерапии и после курса процедур роботизированной гимнастики (табл. 10).

Таблица 10

Сравнительные данные параметров работы мышц-разгибателей и сгибателей коленных суставов у легкоатлеток до и после проведения курса механотерапии (5 процедур)

№ п/п	Мышечные группы	Работа утомление, Дж/с, 1		Общая работа, Дж, 2		p<0,05
		до	после	до	после	
1	Мышцы-разгибатели коленного сустава справа	0,32±0,08	0,29±0,08	772±138	440±51,7	1 – <0,005, 2 – p<0,02
2	Мышцы-сгибатели коленного сустава справа	0,22±0,07	0,20±0,07	518±70	246±28,3	1 –p<0,005, 2 – p<0,01
3	Мышцы-разгибатели коленного сустава слева	0,19±0,04	0,14±0,04	696±138	366±42,2	1 – p<0,05, 2 – p<0,03
4	Мышцы-сгибатели коленного сустава слева	0,16±0,04	0,14±0,04	517±75	263±14,2	1 – p<0,03, 2 – p<0,03

Примечание: n=21, p⩽0,05 – достоверные различия между группами сравнения, «-» – отсутствие достоверных различий между группами сравнения

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» (p<0,04) и «подколенная ямка» (p<0,04) справа. В точке стимуляции «головка малоберцовой кости» слева помимо роста значений амплитуды (p<0,04) также зарегистрировано увеличение параметров площади (p<0,02) М-ответа. Данные, полученные в результате ЭМГ-исследования, свидетельствуют об увеличении количества волокон, рекрутируемых в мышечное сокращение при стимуляции двигательного нерва. Кроме того, было выявлено статистически значимое увеличение СРВ по моторным волокнам исследуемого нерва на участке «головка малоберцовой кости» – «подколенная ямка» слева (p<0,01). Сравнительные данные

параметров М-ответа, регистрируемых с короткого разгибателя пальцев стопы при стимуляции глубокого малоберцового нерва, у спортсменов мужского пола до и после курса механотерапии (5 процедур) представлены в таблице 11.

Таблица 11

Показатели М-ответа, регистрируемые с короткого разгибателя пальцев стопы при стимуляции глубокого малоберцового нерва у легкоатлетов мужского пола до и после проведения курса механотерапии (5 процедур)

№ п/п	Показатели	Правая нога		P<	Левая нога		P<	Норма
		до	после		до	после		
Точка стимуляции «предплюсна»								
1	Латентность, мс	3,7±0,19	3,8±0,15	-	4,00±0,31	3,69±0,15	-	-
2	Амплитуда, мВ	5,11±0,3	6,4±0,46	0,04	5,35±0,39	6,96±0,64	-	>3,5 мВ
3	Длительность, мс	6,7±0,20	6,6±0,18	-	6,34±0,27	6,73±0,45	-	-
4	Площадь, мВ*мс	15,7±1,0	18,2±1,8	-	17,0±1,23	21,4±1,7	-	-
5	Резидуальная латентность, мс	2,59±0,2	2,6±0,14	-	2,55±0,19	2,4±0,1	-	<3,0 мс
Точка стимуляции «головка малоберцовой кости»								
1	Латентность, мс	10,6±0,3	10,5±0,2	-	10,5±0,26	10,43±0,3	-	-
2	Амплитуда, мВ	4,85±0,3	5,7±0,46	-	4,85±0,34	6,67±0,61	0,04	>3,5 мВ
3	Длительность, мс	7,27±0,2	7,4±0,23	-	7,11±0,42	7,34±0,41	-	-
4	Площадь, мВ*мс	16±0,92	18,9±1,7	-	15,8±1,1	21,8±1,7	0,02	-
5	СРВ, м/с	53,2±1,5	53,0±0,9	-	52,8±1,8	53,2±1,9	-	>40 м/с
Точка стимуляции «подколенная ямка»								
1	Латентность, мс	11,7±0,3	11,8±0,3	-	11,6±0,27	11,76±0,4	-	-
2	Амплитуда, мВ	4,85±0,3	5,98±0,4	0,04	5,19±0,37	6,60±0,58	-	>3,5 мВ
3	Длительность, мс	7,23±0,2	7,31±0,2	-	6,92±0,41	7,02±0,34	-	-
4	Площадь, мВ*мс	16,1±0,9	19,3±1,7	-	17,1±1,2	21,5±1,6	-	-
5	СРВ, м/с	58,9±1,5	63,7±2,0	-	64,1±2,0	68,7±2,3	0,01	>40 м/с

Примечание: n=23, p⩽0,05 – достоверные различия между группами сравнения, «-» – отсутствие достоверных различий между группами сравнения

Анализ параметров М-ответа, регистрируемых с короткого разгибателя пальцев стопы у спортсменок легкой атлетики до и после курса механотерапии, показал снижение параметров латентности в точках стимуляции глубокого малоберцового нерва «предплюсна» (p<0,02) и «головка малоберцовой кости» (p<0,04) справа. Полученные данные свидетельствуют о сокращении промежутка времени, необходимого для изменения мембранного потенциала и возникновения возбуждения в нервных клетках в ответ на внешний раздражитель (электрический ток). Сравнительные данные параметров М-ответа, регистрируемых с короткого разгибателя пальцев стопы при стимуляции глубокого малоберцового нерва, у спортсменок до и после курса механотерапии (5 процедур) представлены в таблице 12.

Таблица 12

Показатели М-ответа, регистрируемые с короткого разгибателя пальцев стопы при стимуляции глубокого малоберцового нерва у легкоатлеток до и после проведения курса механотерапии (5 процедур)

№ п/п	Показатели	Правая нога		P<	Левая нога		P<	Норма
		до	после		до	после		
Точка стимуляции «предплюсна»								
1	Латентность, мс	4,15±0,27	3,56±0,12	0,02	3,95±0,13	3,82±0,09	-	-
2	Амплитуда, мВ	4,47±0,37	5,27±0,21	-	5,04±0,37	6,45±0,48	-	>3,5 мВ
3	Длительность, мс	6,50±0,23	6,17±0,21	-	6,41±0,24	6,39±0,21	-	-
4	Площадь, мВ*мс	15,0±1,1	16,6±0,8	-	20,9±1,6	20,3±1,7	-	-
5	Резидуальная латентность, мс	2,36±0,13	2,25±0,11	-	2,52±0,12	2,48±0,10	-	<3,0 мс
Точка стимуляции «головка малоберцовой кости»								
1	Латентность, мс	11,0±0,3	10,3±0,2	0,04	11,3±0,3	10,6±0,2	-	-
2	Амплитуда, мВ	4,33±0,38	5,47±0,29	-	5,86±0,53	6,13±0,47	-	>3,5 мВ

Продолжение таблицы 12

3	Длительность, мс	7,06±0,26	6,93±0,25	-	7,14±0,32	7,22±0,29	-	-
4	Площадь, мВ*мс	15,2±1,1	17,0±1,5	-	19,6±1,8	20,4±1,8	-	-
5	СРВ, м/с	50,4±0,7	51,7±1,0	-	50,2±0,8	52,2±1,2	-	>40 м/с
Точка стимуляции «подколенная ямка»								
1	Латентность, мс	12,5±0,4	11,9±0,2	-	12,6±0,3	12,0±0,2	-	-
2	Амплитуда, мВ	4,44±0,39	5,42±0,22	-	6,26±0,51	6,32±0,48	-	>3,5 мВ
3	Длительность, мс	7,05±0,26	6,85±0,26	-	7,03±0,31	7,16±0,29	-	-
4	Площадь, мВ*мс	15,8±1,2	19,0±1,4	-	20,7±1,6	21,1±1,8	-	-
5	СРВ, м/с	60,0±2,4	63,7±2,5	-	63,1±2,5	64,9±3,6	-	>40 м/с

Примечание: n=21, $p \leqslant 0,05$ – достоверные различия между группами сравнения, «-» – отсутствие достоверных различий между группами сравнения

Сравнение параметров реовазографического исследования нижних конечностей у легкоатлетов-мужчин позволило выявить снижение показателей артериального кровотока, изначально превышающих нормативный интервал. Так, в сегменте «стопа» слева значения реографического индекса статистически значимо снизились после курса механотерапии ($p<0,04$). В сегменте «голень» справа ($p<0,006$) и слева ($p<0,002$) параметры реографического индекса после курса роботизированной гимнастики также уменьшились до нормативных значений. Отмечается значительное снижение параметров модуля упругости в сегменте «стопа» слева ($p<0,01$), «голень» справа ($p<0,03$) и слева ($p<0,01$), в результате чего уменьшается часть кардиоцикла, которая затрачивается на преодоление упругого сопротивления артерий малого, среднего и крупного калибра. Кроме того, было выявлено значительное снижение показателей венозного оттока в сегменте «голень» слева ($p<0,003$), а также их уменьшение до нормативных значений в сегменте «стопа» справа ($p<0,002$) и слева ($p<0,001$). Повышение диастолического индекса, характеризующего процесс оттока крови из артерий в вены и тонус венозных сосудов, главным образом на уровне посткапилляров свидетельствует об улучшении микроциркуляции в сегменте «стопа» справа ($p<0,005$).

Сравнительные данные параметров периферической гемодинамики у спортсменов-мужчин до и после курса механотерапии (5 процедур) представлены в таблице 13.

Таблица 13

Сравнительные данные параметров периферической гемодинамики у спортсменов-мужчин до и после курса механотерапии (5 процедур)

№ п/п	Показатели	правая нога		P<	левая нога		P<	Нормативные значения
		до	после		до	после		
Стопа								
1	РИ	1,76±0,11	1,39±0,14	-	1,90±0,16	1,51±0,11	0,04	0,8-1,2
2	Qa	0,32±0,01	0,30±0,01	-	0,26±0,01	0,27±0,01	-	0,25-0,27
3	Alfa	0,16±0,01	0,15±0,01	-	0,19±0,01	0,15±0,01	-	0,08-0,12
4	Alfa 2	0,11±0,01	0,11±0,01	-	0,15±0,01	0,11±0,01	-	0,05-0,07
5	МУ	20,8±1,2	19,2±1,4	-	24,6±1,8	18,0±1,7	0,01	11-16%
6	ВО	45,0±5,8	19,4±2,4	0,002	41,2±4,4	20,7±1,6	0,001	0-20%
7	ДКИ	0,33±0,05	0,45±0,04	-	0,30±0,08	0,44±0,05	-	0,4-0,6
8	ДСИ	0,31±0,05	0,51±0,04	0,005	1,16±0,34	0,50±0,04	-	0,30-0,55
9	КА	38,7±7,7	29,1±5,3	-	38,7±7,7	29,1±5,3	-	0-20%
Голень								
1	РИ	2,14±0,33	1,20±0,13	0,006	1,98±0,22	1,23±0,18	0,002	0,90-1,25
2	Qa	0,31±0,01	0,28±0,01	-	0,27±0,001	0,27±0,01	-	0,23-0,26
3	Alfa	0,17±0,01	0,15±0,01	-	0,16±0,01	0,16±0,01	-	0,08-0,12
4	Alfa 2	0,12±0,01	0,10±0,01	-	0,10±0,01	0,11±0,01	-	0,05-0,06
5	МУ	29,5±3,5	20,1±1,4	0,03	30,1±3,1	21,2±1,7	0,01	11-15%
6	ВО	33,3±3,5	27,3±1,8	-	37,6±2,6	27,7±2,1	0,003	0-20%
7	ДКИ	0,42±0,07	0,40±0,07	-	0,43±0,05	0,38±0,05	-	0,4-0,6
8	ДСИ	0,41±0,06	0,41±0,05	-	0,48±0,05	0,42±0,05	-	0,45-0,75
9	КА	38,5±8,6	33,3±7,5	-	38,5±8,6	33,3±7,5	-	0-20%

Примечание: n=23. Сравнение данных проводилось с помощью непараметрического критерия Вилкоксона. РИ – реографический индекс, Qa – время распространения реографических волн, Alfa – время максимального систолического наполнения сосудов, Alfa 2 –

время медленного наполнения, МУ – модуль упругости (показатель тонуса артерий), ВО – показатель венозного оттока, ДКИ – дикротический индекс, ДСИ – диастолический индекс, КА – коэффициент асимметрии.

Сравнение параметров периферической гемодинамики у спортсменок легкой атлетики до и после курса роботизированной механотерапии позволило выявить снижение значений реографического индекса в сегменте «стопа» с обеих сторон, при этом справа они опустились до нормативного интервала ($p<0,01$). Выявлено статистически значимое снижение параметров венозного оттока в сегменте «стопа» справа ($p<0,01$) и «голень» слева ($p<0,05$). По параметрам микроциркуляции в сегменте «голень» было зарегистрировано повышение показателей дикротического индекса, отражающего периферическое сосудистое сопротивление и сосудистый тонус на уровне прекапилляров в исследуемом сегменте ($p<0,02$), и диастолического индекса, характеризующего процесс оттока крови из артерий в вены и тонус венозных сосудов, главным образом на уровне посткапилляров ($p<0,03$).

Сравнительные данные параметров периферической гемодинамики у спортсменок до и после курса механотерапии (5 процедур) представлены в таблице 14.

Таблица 14

Сравнительные данные параметров периферической гемодинамики у спортсменок до и после курса механотерапии (5 процедур)

№ п/п	Пока-затели	правая нога		P<	левая нога		P<	Норма
		до	после		до	после		
Стопа								
1	РИ	2,01±0,40	1,04±0,11	0,01	2,06±0,1	1,56±0,10	0,02	0,8-1,2
2	Qa	0,33±0,03	0,30±0,01	-	0,29±0,01	0,28±0,01	-	0,25-0,27
3	Alfa	0,19±0,01	0,15±0,01	-	0,18±0,01	0,15±0,01	-	0,08-0,12
4	Alfa 2	0,13±0,02	0,10±0,01	-	0,12±0,01	0,11±0,01	-	0,05-0,07
5	МУ	19,6±1,4	16,6±0,9	-	19,8±1,7	17,2±0,8	-	11-16%
6	ВО	37,0±5,0	21,3±1,9	0,01	30,9±3,7	22,9±1,5	-	0-20%
7	ДКИ	0,40±0,04	0,39±0,04	-	0,44±0,04	0,37±0,04	-	0,4-0,6
8	ДСИ	0,41±0,04	0,41±0,04	-	0,43±0,03	0,47±0,06	-	0,30-0,55
9	КА	20,3±3,8	24,6±4,5	-	20,3±3,8	24,6±4,5	-	0-20%

Продолжение таблицы 14

Голень								
1	РИ	1,56±0,15	1,39±0,12	-	1,41±0,16	1,30±0,11	-	0,90-1,25
2	Qa	0,29±0,01	0,27±0,01	-	0,28±0,01	0,26±0,01	-	0,23-0,26
3	Alfa	0,16±0,01	0,16±0,01	-	0,16±0,01	0,17±0,01	-	0,08-0,12
4	Alfa 2	0,10±0,01	0,11±0,01	-	0,10±0,01	0,11±0,01	-	0,05-0,06
5	МУ	17,5±1,3	19,3±1,0	-	17,1±1,2	18,9±1,1	-	11-15%
6	ВО	31,7±4,1	24,0±1,1	-	34,4±4,5	24,2±1,3	0,05	0-20%
7	ДКИ	0,28±0,05	0,46±0,03	0,02	0,27±0,04	0,47±0,03	0,01	0,4-0,6
8	ДСИ	0,37±0,04	0,50±0,03	0,03	0,35±0,03	0,49±0,03	0,01	0,45-0,75
9	КА	22,5±4,6	18,7±3,1	-	22,5±4,6	19,5±4,1	-	0-20%

Примечание: n=21. Сравнение данных проводилось с помощью непараметрического критерия Вилкоксона. РИ – реографический индекс, Qa – время распространения реографических волн, Alfa – время максимального систолического наполнения сосудов, Alfa 2 – время медленного наполнения, МУ – модуль упругости (показатель тонуса артерий), ВО – показатель венозного оттока, ДКИ – дикротический индекс, ДСИ – диастолический индекс, КА –коэффициент асимметрии.

Таким образом, данные динамометрического исследования свидетельствуют об оптимизации работы мышечного аппарата коленных и голеностопных суставов после курса роботизированной механотерапии (5 процедур), проявлением которой является нивелирование дисбаланса силовых параметров мышц-сгибателей и разгибателей, а также снижение мышечного утомления и параметров работы. При этом данные ЭМГ-исследования после курса процедур позволили выявить улучшение функционального состояния НМА как со стороны мышечной системы (повышение параметров амплитуды и площади М-ответа), так и со стороны нервной регуляции (снижение латентности, увеличение СРВ электрического импульса по нервному волокну). Кроме того, полученные данные реовазографического исследования свидетельствуют об улучшении параметров артериального, венозного кровотока и микроциркуляции. Анализируя результаты курсового применения роботизированной механотерапии, можно сделать вывод о высокой эффективности применения этой методики у спортсменов на этапе восстановления функционального состояния ОДА после интенсивных физических нагрузок.

5.3 Влияние длительного применения курса биоуправляемой механотерапии (10 процедур), оптимизирующей мышечный баланс, и комплекса восстановительных процедур на функциональное состояние опорно-двигательного аппарата спортсменов

Анализ данных динамометрического исследования мышечного аппарата голеностопного сустава у легкоатлетов мужчин до и после проведения курса механотерапии, позволил выявить ряд изменений силовых показателей мышц подошвенных сгибателей и тыльных разгибателей стопы, значения и динамика которых приведены в таблице 15.

Таблица 15

Сравнительные данные параметров крутящего момента мышц подошвенного сгибания и тыльного разгибания стопы у легкоатлетов-мужчин до и после курса механотерапии (10 процедур)

№ п/п	Мышечные группы	Крутящий момент max, Нм 1		Крутящий момент max средний, Нм 2		Крутящий момент max средний/кг, Нм/кг 3		p<0,05
		до	после	до	после	до	после	
1	Мышцы тыльного разгибания стопы справа	58±9,1	39±6,5	40,3±7,6	39±1,8	0,53±0,1	0,5±0,1	1-p<0,002, 3 – p<0,03
2	Мышцы подошвен-ного сгибания стопы справа	75±8,4	40±3,8	61,5±8,2	39±2,2	0,88±0,1	0,53±0,07	1-p<0,005, 2-p<0,05, 3-p<0,002
3	Мышцы тыльного разгибания стопы слева	60±8,5	40±9,8	31,4±7,0	39±3,9	0,46±0,1	0,5±0,1	1-p<0,02, 3 – p<0,03
4	Мышцы подошвен-ного сгибания стопы слева	78±7,3	39±3,0	63,3±6,7	39±1,3	0,91±0,1	0,5±0,06	1-p<0,002, 2-p<0,01, 3-p<0,004

Примечание: n=23, p⩽0,05 – достоверные различия между группами сравнения, «-» – отсутствие достоверных различий между группами сравнения

Анализируя полученные данные, необходимо отметить, что на первых трех этапах динамометрического исследования (до механотерапии, после 1 процедуры механотерапии, после 5 процедур механотерапии) были выявлены статистически значимые различия между параметрами максимального крутящего момента и

среднего крутящего момента, что является результатом неравномерного приложения спортсменом усилия.

Однако после 10 процедур механотерапии 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.

Сравнение показателей мышечного утомления и работы показало статистически значимое снижение значений мышечного утомления левого тыльного разгибателя стопы после курса механотерапии (до – 0,7±0,01 Дж/с, после – 0,4±0,01 Дж/с $p<0,007$), а также правого подошвенного сгибателя стопы (до – 0,23±0,04 Дж/с, после – 0,19±0,04 Дж/с $p<0,002$). Параметры общей работы у спортсменов мужского пола также снизились как справа (сгибатели до – 404±44,1 Дж, после – 194±39,1 Дж, $p<0,002$; разгибатели до – 124,1±9,1 Дж, после – 84±9,1 Дж, $p<0,02$) так и слева (сгибатели до – 404±43,6 Дж, после – 108,9±16,3 Дж, $p<0,005$; разгибатели до – 120,6±10,3 Дж, после – 92,3±10,3 Дж, $p<0,002$) после курса роботизированной гимнастики (рис. 12).

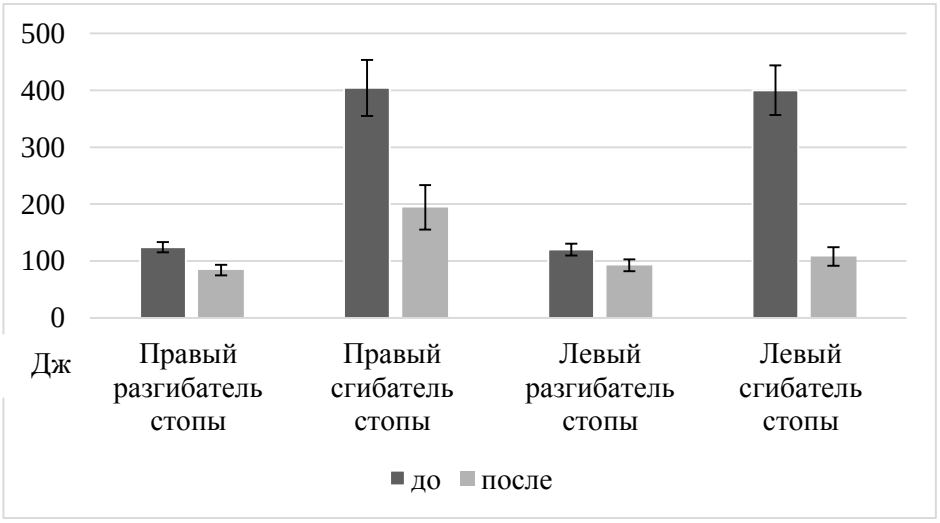


Рис. 12. Параметры показателя общей работы у спортсменов мужского пола до и после курса роботизированной механотерапии

Проведение динамометрического исследования мышечного аппарата голеностопного сустава у спортсменок, специализирующихся в легкой атлетике, после 10 процедур механотерапии показало, что значения максимального и среднего крутящего момента исследуемой группы мышц не имело достоверных отличий, в отличие от предыдущих исследований, при этом мощность работы не менялась, что свидетельствует о приложении спортсменками одинакового усилия на всем протяжении упражнения и об оптимизации работы мышц подошвенного сгибания стопы и мышц тыльного разгибания стопы. Был выявлен ряд статистически значимых отличий между силовыми показателями и параметрами работы у легкоатлеток до проведения механотерапии и после курса процедур роботизированной гимнастики (табл. 16).

Таблица 16

Сравнительный данные динамометрического исследования мышечного аппарата голеностопного сустава до и после курса механотерапии (10 процедур) у спортсменок легкой атлетики

№ п/п	Мышечные группы	Крутящий момент max, Нм 1		Крутящий момент max средний, Нм 2		Крутящий момент max средний/кг, Нм/кг 3		Работа утомление, Дж/с, 4		Общая работа, Дж, 5		p<0,05
		до	после	до	после	до	после	до	после	до	после	
1	Мышцы тыльного разгибания стопы справа	38,6±6,8	36,5±5,1	26,7±2,7	35,5±2,0	0,36±0,0,7	0,43±0,03	0,07±0,02	0,06±0,02	74±14,7	56,8±9,9	2 – p <0,003
2	Мышцы подошвен-ного сгибания стопы справа	36,7±3,1	37,9±3,1	33,7±3,6	36,7±2,9	0,56±0,08	0,54±0,09	0,14±0,04	0,1±0,04	266±10	139±10,5	4 – p <0,003, 5 – p <0,003
3	Мышцы тыльного разгибания стопы слева	27,3±3,8	37,6±5,5	20,8±3,6	36,6±2,0	0,37±0,06	0,42±0,06	0,11±0,02	0,07±0,02	88,9±13	60,6±13	2 – p <0,01, 4 – p <0,003, 5 – p <0,02
4	Мышцы подошвен-ного сгибания стопы слева	34,1±4,1	37,9±4,1	27,1±3,8	37,6±1,3	0,43±0,09	0,43±0,11	0,15±0,05	0,11±0,05	236±39	97,1±36	2 – p <0,01, 4 – p <0,01, 5 – p <0,003

Примечание: n=21, p⩽0,05 – достоверные различия между группами сравнения, «-» - отсутствие достоверных различий между группами сравнения

Динамометрическое исследование силовых показателей мышц у спортсменок легкой атлетики показало статистически значимое снижение параметров относительного крутящего момента правого (до – 0,91±0,15 Нм, после – 0,82±0,15 Нм, $p<0,05$) и левого (до – 0,88±0,13 Нм, после – 0,85±0,13 Нм, $p<0,03$) разгибателя коленного сустава. Было отмечено повышение параметров среднего крутящего момента мышц-сгибателей правого коленного сустава (до – 32,9±4,73 Нм, после – 43,9±4,76 Нм, $p<0,03$) и снижение этого параметра у разгибателя левого коленного сустава (до – 57,8±8,9 Нм, после – 45,4±8,8 Нм, $p<0,03$). Был выявлен ряд статистически значимых отличий между параметрами работы у легкоатлеток до проведения механотерапии и после курса процедур роботизированной гимнастики (табл. 17).

Таблица 17

Сравнительные данные параметров работы мышц-разгибателей и сгибателей коленных суставов у спортсменок легкой атлетики до и после проведения курса механотерапии (10 процедур)

№ п/п	Мышечные группы	Работа утомление, Дж/с, 1		Общая работа, Дж, 2		p<0,05
		до	после	до	после	
1	Мышцы разгибатели коленного сустава справа	0,32±0,08	0,28±0,08	772±138	167±23,1	1 – p<0,005, 2 – p<0,005
2	Мышцы сгибатели коленного сустава справа	0,22±0,07	0,20±0,07	518±70	195±33,2	1 – p <0,03, 2 – p <0,005
3	Мышцы разгибатели коленного сустава слева	0,19±0,04	0,14±0,04	696±138	203±29,3	1 – p <0,05, 2 – p <0,03
4	Мышцы сгибатели коленного сустава слева	0,16±0,04	0,13±0,04	517±75	187±19,8	1 – p <0,03, 2 – p<0,03

Примечание: n=21, $p \leqslant 0,05$ – достоверные различия между группами сравнения, «-» –отсутствие достоверных различий между группами сравнения

Проведение динамометрического исследования мышечного аппарата коленного сустава у спортсменов-мужчин, специализирующихся в легкой атлетике, после 10 процедур механотерапии показало, что значения максимального и среднего крутящего момента исследуемой группы мышц не имело достоверных отличий, в отличие от предыдущих исследований, при этом мощность работы не менялась, что свидетельствует о приложении спортсменами одинакового усилия на всем протяжении упражнения и об оптимизации работы мышц сгибателей и разгибателей коленного сустава.

Был выявлен ряд статистически значимых отличий между силовыми показателями и параметрами работы у легкоатлетов до проведения механотерапии и после курса процедур роботизированной гимнастики (табл. 18)

Таблица 18

Сравнительный данные динамометрического исследования мышечного аппарата коленного сустава до и после курса механотерапии у спортсменов мужчин (10 процедур)

№ п/п	Мышечные группы	Крутящий момент max, Нм 1		Крутящий момент max средний, Нм 2		Крутящий момент max средний/кг, Нм/кг 3		Работа утомление, Дж/с, 4		Общая работа, Дж, 5		p<0,05
		до	после	до	после	до	после	до	после	до	после	
1	Мышцы разгибатели коленного сустава справа	51±12,2	48,4±4,6	25,7±7,0	46,3±4,5	0,48±0,15	0,47±0,14	0,36±0,17	0,30±0,17	591±156	118,5±25	2 – p <0,005, 4 – p <0,009, 5 – p <0,005
2	Мышцы сгибатели коленного сустава справа	42,2±8,9	47,7±1,8	33,8±8,7	45,2±1,8	0,39±0,1	0,48±0,11	0,26±0,08	0,24±0,08	683±102	129±8,6	4 – p <0,008, 5 – p <0,005
3	Мышцы разгибатели коленного сустава слева	34,9±3,9	47,0±1,3	23,8±10	44,1±1,2	0,39±0,12	0,52±0,1	0,26±0,08	0,14±0,07	683±102	110±6,3	1 – p <0,05, 4 – p <0,02, 5 – p <0,02
4	Мышцы сгибатели коленного сустава слева	38±6,6	45,5±1,4	38,7±4,8	43,6±1,4	0,35±0,19	0,50±0,12	0,18±0,08	0,16±0,08	442±91	155±18,2	4 – p <0,02, 5 – p <0,01

Исследование функционального состояния опорно-двигательной системы спортсменов после продолжительного курсового применения роботизированной механотерапии (10 процедур) показало ряд статистически значимых изменений параметров биоэлектрической активности НМА по данным стимуляционной электромиографии. Так, у спортсменов мужского пола было выявлено повышение показателей амплитуды М-ответа в точке стимуляции «предплюсна» справа ($p<0,01$). В точке стимуляции «головка малоберцовой кости» было зарегистрировано увеличение амплитуды и справа ($p<0,004$), и слева ($p<0,02$). Аналогично амплитуде М-ответа, его площадь в точке стимуляции «предплюсна» статистически значимо изменилась только справа ($p<0,02$), в то время как в точке стимуляции «головка малоберцовой кости» повышение значений отмечалось с обеих сторон ($p<0,05$). В точке стимуляции глубокого малоберцового нерва «подколенная ямка» выявлено симметричное повышение амплитуды М-ответа, регистрируемого с короткого разгибателя пальцев стопы и с правой ($p<0,001$) и с левой стороны ($p<0,01$). СРВ по двигательным волокнам глубокого малоберцового нерва на участке «головка малоберцовой кости» – «подколенная ямка» справа увеличилась в сравнении с исходными данными ($p<0,02$).

Сравнительные данные параметров М-ответа, регистрируемых с короткого разгибателя пальцев стопы при стимуляции глубокого малоберцового нерва, у спортсменов-мужчин до и после курса механотерапии (10 процедур) представлены в таблице 19.

Таблица 19

Показатели М-ответа, регистрируемые с короткого разгибателя пальцев стопы при стимуляции глубокого малоберцового нерва у легкоатлетов-мужчин до и после проведения курса механотерапии (10 процедур)

№ п/п	Показатели	Правая нога		P<	Левая нога		P<	Норма
		до	после		до	после		
Точка стимуляции «предплюсна»								
1	Латентность, мс	3,7±0,2	4,02±0,2	-	4,0±0,31	3,8±0,15	-	-
2	Амплитуда, мВ	5,11±0,3	6,6±0,3	0,01	5,3±0,4	6,4±0,33	-	>3,5 мВ
3	Длительность, мс	6,7±0,20	6,3±0,1	-	6,3±0,3	6,3±0,22	-	-
4	Площадь, мВ*мс	15,7±1,0	20±1,4	0,02	17±1,2	20,5±1,2	-	-
5	Резидуальная латентность, мс	2,59±0,2	2,6±0,2	-	2,5±0,2	2,42±0,1	-	<3,0 мс
Точка стимуляции «головка малоберцовой кости»								
1	Латентность, мс	10,6±0,3	10,4±0,3	-	10,5±0,3	10,2±0,3	-	-
2	Амплитуда, мВ	4,85±0,3	6,8±0,5	0,004	4,8±0,3	6,9±0,55	0,02	>3,5 мВ
3	Длительность, мс	7,27±0,2	6,9±0,1	-	7,1±0,4	6,9±0,37	-	-
4	Площадь, мВ*мс	16,0±0,92	22±1,5	0,003	15±1,1	21±1,4	0,05	-
5	СРВ, м/с	53,2±1,5	52±1,0	-	52±1,8	52±1,0	-	>40 м/с
Точка стимуляции «подколенная ямка»								
1	Латентность, мс	11,7±0,3	11,9±0,3	-	11,6±0,3	11,7±0,4	-	-
2	Амплитуда, мВ	4,8±0,32	6,8±0,4	0,001	5,2±0,4	6,7±0,44	0,01	>3,5 мВ
3	Длительность, мс	7,2±0,21	7,01±0,1	-	6,9±0,41	7,03±0,3	-	-
4	Площадь, мВ*мс	16,06±0,9	22±1,9	-	17±1,2	23±1,3	-	-
5	СРВ, м/с	58,9±1,5	65±2,4	0,02	64,1±2	60±2,2	-	>40 м/с

Примечание: n=23, p⩽0,05 – достоверные различия между группами сравнения, «-» - отсутствие достоверных различий между группами сравнения

Анализ ЭМГ данных спортсменок, специализирующихся в легкой атлетике, позволил выявить двустороннее повышение амплитуды М-ответа, регистрируемого с короткого разгибателя пальцев стопы в точке стимуляции глубокого малоберцового нерва «предплюсна» (p<0,02). В точках стимуляции

«головка малоберцовой кости» и «подколенная ямка» статистически значимое увеличение амплитуды М-ответа отмечается только с правой стороны ($p<0,005$). С левой стороны в этих же точках стимуляции выявлено снижение параметров латентности М-ответа ($p<0,03$), в результате чего процесс активации двигательных единиц значительно ускоряется. СРВ по моторным волокнам исследуемого нерва на участке «предплюсна» – «головка малоберцовой кости» повысилась с обеих сторон ($p<0,01$). При этом СРВ по моторным волокнам исследуемого нерва на участке «головка малоберцовой кости» – «подколенная ямка» статистически значимо изменилась только с правой стороны ($p<0,002$).

Сравнительные данные параметров М-ответа, регистрируемых с короткого разгибателя пальцев стопы при стимуляции глубокого малоберцового нерва, у спортсменок до и после курса механотерапии (10 процедур) представлены в таблице 20.

Таблица 20

Параметры М-ответа, регистрируемые с короткого разгибателя пальцев стопы при стимуляции глубокого малоберцового нерва у легкоатлеток до и после проведения курса механотерапии (10 процедур)

№ п/п	Показатели	Правая нога		P<	Левая нога		P<	Норма
		до	после		до	после		
Точка стимуляции «предплюсна»								
1	Латентность, мс	4,15±0,3	3,8±0,1	-	3,9±0,13	3,84±0,16	-	-
2	Амплитуда, мВ	4,5±0,4	6,7±0,5	0,001	5,04±0,37	6,77±0,53	0,02	>3,5 мВ
3	Длительность, мс	6,5±0,2	6,5±0,3	-	6,41±0,24	6,60±0,22	-	-
4	Площадь, мВ*мс	15±1,1	21 ±1,3	-	20,9±1,6	17,2±1,2	-	-
5	Резидуальная латентность, мс	2,4±0,1	3,2±0,3	-	2,52±0,12	2,74±0,16	-	<3,0 мс
Точка стимуляции «головка малоберцовой кости»								
1	Латентность, мс	11±0,3	10±0,3	-	11,3±0,3	10,2±0,2	0,03	-
2	Амплитуда, мВ	4,3±0,4	7,0±0,6	0,005	5,86±0,53	6,49±0,32	-	>3,5 мВ
3	Длительность, мс	7,1±0,3	7,3±0,3	-	7,14±0,32	7,16±0,22	-	-

Продолжение таблицы 20

4	Площадь, мВ*мс	15±1,1	21±1,3	-	19,6±1,8	25,8±1,2	-	-
5	СРВ, м/с	50±0,7	54±1,0	0,003	50,2±0,8	55,0±1,7	0,01	>40 м/с
Точка стимуляции «подколенная ямка»								
1	Латентность, мс	12±0,4	11±0,2	-	12,6±0,3	11,4±0,2	0,02	-
2	Амплитуда, мВ	4,4±0,4	7,5±0,6	0,001	6,26±0,51	6,99±0,36	-	>3,5 мВ
3	Длительность, мс	7,1± 0,3	7,3±0,2	-	7,03±0,31	6,94±0,22	-	-
4	Площадь, мВ*мс	15±1,2	25±1,8	-	20,7±1,6	17,5±1,2	-	-
5	СРВ, м/с	60±2,4	69±1,5	0,002	63,1±2,5	68,7±2,8	-	>40 м/с

Примечание: n=21, p⩽0,05 – достоверные различия между группами сравнения, «-» – отсутствие достоверных различий между группами сравнения

Сравнение параметров реовазографического исследования нижних конечностей у легкоатлетов мужского пола позволило выявить снижение показателей артериального кровотока в сегменте «стопа» с обеих сторон (p<0,02). Кроме того, отмечается снижение параметров модуля упругости и венозного оттока во всех исследуемых сегментах (p<0,03).

Сравнительные данные параметров периферической гемодинамики у спортсменов-мужчин до и после курса механотерапии (10 процедур) представлены в таблице 21.

Таблица 21

Сравнительные данные параметров периферической гемодинамики у спортсменов мужского пола до и после курса механотерапии (10 процедур)

№ п/п	Пока-затели	правая нога		P<	левая нога		P<	Норма
		до	после		до	после		
Стопа								
1	РИ	1,76±0,11	1,4±0,07	0,01	1,9±0,16	1,31±0,08	0,01	0,8-1,2
2	Qa	0,32±0,01	0,3±0,01	-	0,2±0,01	0,28±0,01	-	0,25-0,27
3	Alfa	0,16±0,01	0,15±0,01	-	0,19±0,01	0,16±0,01	-	0,08-0,12
4	Alfa 2	0,11±0,01	0,10±0,01	-	0,15±0,01	0,11±0,01	-	0,05-0,07
5	МУ	20,8±1,2	17,0±1,2	0,02	24±1,8	17,7±1,2	0,03	11-16%
6	ВО	45,0±5,8	23,2±1,4	0,01	41±4,4	23,3±1,6	0,01	0-20%

Продолжение таблицы 21

7	ДКИ	0,33±0,05	0,40±0,03	-	0,30±0,08	0,4±0,05	-	0,4-0,6
8	ДСИ	0,31±0,05	0,39±0,03	-	1,16±0,3	0,4±0,04	-	0,30-0,55
9	КА	38,7±7,7	29,0±3,5	-	38±7,7	29,0±3,5	-	0-20%
Голень								
1	РИ	2,14±0,33	1,42±0,10	-	1,98±0,2	1,5±0,14	-	0,90-1,25
2	Qa	0,31±0,01	0,27±0,01	-	0,27±0,01	0,27±0,01	-	0,23-0,26
3	Alfa	0,17±0,01	0,16±0,01	-	0,16±0,01	0,17±0,01	-	0,08-0,12
4	Alfa 2	0,12±0,01	0,10±0,01	-	0,10±0,01	0,11±0,01	-	0,05-0,06
5	МУ	29,5±3,5	18,5±0,9	0,01	30±3,1	18,8±0,9	0,01	11-15%
6	ВО	33,3±3,5	22,0±1,1	0,01	37,6±2,6	27,9±1,3	0,01	0-20%
7	ДКИ	0,42±0,07	0,42±0,04	-	0,43±0,05	0,4±0,04	-	0,4-0,6
8	ДСИ	0,41±0,06	0,42±0,03	-	0,48±0,05	0,5±0,12	-	0,45-0,75
9	КА	38,5±8,6	24,6±3,3	-	38,5±8,6	24±3,3	-	0-20%

Примечание: n=23. Сравнение данных проводилось с помощью непараметрического критерия Вилкоксона. РИ – реографический индекс, Qa – время распространения реографических волн, Alfa – время максимального систолического наполнения сосудов, Alfa 2 – время медленного наполнения, МУ – модуль упругости (показатель тонуса артерий), ВО – показатель венозного оттока, ДКИ – дикротический индекс, ДСИ – диастолический индекс, КА – коэффициент асимметрии.

Сравнение параметров периферической гемодинамики у спортсменок легкой атлетики до и после курса роботизированной механотерапии позволило выявить снижение значений реографического индекса в сегменте «стопа» справа ($p<0,02$). Также, в сегменте «стопа» справа выявлено статистически значимое снижение параметров венозного оттока ($p<0,04$). В сегменте «голень» с обеих сторон наблюдается уменьшение значений венозного оттока ($p<0,03$). Кроме того, в сегменте «голень» слева наблюдается повышение показателей микроциркуляции – дикротический индекс, диастолический индекс до нормативных значений ($p<0,003$).

Сравнительные данные параметров периферической гемодинамики у спортсменок до и после курса механотерапии (10 процедур) представлены в таблице 22.

Таблица 22

Сравнительные данные параметров периферической гемодинамики у спортсменок до и после курса механотерапии (10 процедур)

№ п/п	Показатели	правая нога		P<	левая нога		P<	Норма
		до	после		до	после		
Стопа								
1	РИ	2,01±0,40	1,26±0,11	0,02	2,06±0,15	1,09±0,06	-	0,8-1,2
2	Qa	0,33±0,03	0,30±0,01	-	0,29±0,01	0,28±0,01	-	0,25-0,27
3	Alfa	0,19±0,01	0,14±0,01	-	0,18±0,01	0,14±0,01	-	0,08-0,12
4	Alfa 2	0,13±0,02	0,10±0,01	-	0,12±0,01	0,10±0,01	-	0,05-0,07
5	МУ	19,6±1,4	16,0±1,3	-	19,8±1,7	15,9±1,6	-	11-16%
6	ВО	37,0±5,0	24,8±1,5	0,04	30,9±3,7	23,6±3,3	-	0-20%
7	ДКИ	0,40±0,04	0,35±0,04	-	0,44±0,04	0,31±0,05	-	0,4-0,6
8	ДСИ	0,41±0,04	0,38±0,04	-	0,43±0,03	0,56±0,12	-	0,30-0,55
9	КА	20,3±3,8	27,9±2,6	-	20,3±3,8	36,4±4,6	-	0-20%
Голень								
1	РИ	1,56±0,15	1,50±0,16	-	1,41±0,16	1,73±0,14	-	0,90-1,25
2	Qa	0,29±0,01	0,29±0,01	-	0,28±0,01	0,27±0,01	-	0,23-0,26
3	Alfa	0,16±0,01	0,16±0,01	-	0,16±0,01	0,17±0,01	-	0,08-0,12
4	Alfa 2	0,10±0,01	0,11±0,01	-	0,10±0,01	0,11±0,01	-	0,05-0,06
5	МУ	17,5±1,3	18,1±1,1	-	17,1±1,2	18,6±1,3	-	11-15%
6	ВО	31,7±4,1	21,7±1,3	0,02	34,4±4,5	23,8±2,1	0,03	0-20%
7	ДКИ	0,28±0,05	0,40±0,04	-	0,27±0,04	0,44±0,02	0,003	0,4-0,6
8	ДСИ	0,37±0,04	0,41±0,03	-	0,35±0,03	0,62±0,14	0,003	0,45-0,75
9	КА	22,5±4,6	24,2±4,0	-	22,5±4,6	24,2±4,0	-	0-20%

Примечание: n=23. Сравнение данных проводилось с помощью непараметрического критерия Вилкоксона. РИ – реографический индекс, Qa – время распространения реографических волн, Alfa – время максимального систолического наполнения сосудов, Alfa 2 – время медленного наполнения, МУ – модуль упругости (показатель тонуса артерий), ВО – показатель венозного оттока, ДКИ – дикротический индекс, ДСИ – диастолический индекс, КА – коэффициент асимметрии.

Таким образом, проведение динамометрического исследования после курса роботизированной механотерапии (10 процедур) позволило выявить оптимизацию баланса мышечной системы коленных и голеностопных суставов, которая произошла за счет изменения силовых параметров мышечного напряжения для осуществления движения. Кроме наблюдаемого ранее (после 5 процедур механотерапии) уравновешивания баланса мышц-сгибателей и разгибателей, после 10 процедур механотерапии нами было отмечено нивелирование разницы между параметрами максимального и среднего приложения силы во время выполнения упражнения, что свидетельствует о приложении спортсменом одинакового равномерного усилия при длительной физической нагрузке. При этом нагрузка во время сеансов механотерапии хоть и была динамической, проводилась активная компенсация прилагаемого спортсменом усилия, в результате чего осуществлялся контроль за усилением слабых мышечных групп и расслаблением спазмированных участков мышц. В результате такой нагрузки был сформирован правильный динамический стереотип движений, при этом сознательное управление мышечным напряжением способствовало формированию правильных двигательных навыков не только в повседневной жизни, но и на тренировочном и соревновательном этапе спортивной подготовки. Данные, полученные по результатам ЭМГ-диагностики и реовазографического исследования, свидетельствуют о закреплении положительного влияния механотерапии на функциональное состояние НМА (повышение амплитуды, площади М-ответа, снижение латентности, повышение СРВ по нервным волокнам) и периферической гемодинамики легкоатлетов (нормализация параметров артериального, венозного кровотока и микроциркуляции).

Выявленные эффекты применения роботизированной механотерапии являются свидетельством целесообразности использования этого метода в восстановительном и реабилитационном процессе спортсменов и как срочного симптоматического способа терапевтического воздействия (ликвидация спазмированных участков мышечной ткани, нормализация биоэлектрической активности НМА, нормализация периферического кровотока), и как длительной лечебной меры оказания помощи при повреждениях и травмах ОДА (устранение мышечного дисбаланса, усиление слабых мышечных групп, нормализация кровотока и нервно-мышечной передачи, формирование правильных двигательных навыков).

5.4 Оценка комплексного воздействия биоуправляемой механотерапии, оптимизирующей мышечный баланс, и физиотерапевтических процедур на функциональное состояние нижних конечностей легкоатлетов

Анализ электромиографических, реовазографических и динамометрических данных позволил выявить ряд статистически значимых отличий у спортсменов ОГ, получающих помимо комплекса восстановительных физиотерапевтических процедур (гидро-, прессо-, магнитотерапии) биоуправляемую роботизированную механотерапию.

Так, сравнение параметров М-ответа, регистрируемого с короткого разгибателя пальцев стопы при стимуляции глубокого малоберцового нерва у спортсменов-мужчин ОГ и КГ, после 1 процедуры механотерапии и комплекса физиотерапевтических процедур показало более высокие значения длительности М-ответа у спортсменов КГ во всех точках стимуляции малоберцового нерва справа («предплюсна» ОГ – 5,89±0,16 мс, КГ – 6,58±0,32 мс, $p<0,03$; «головка малоберцовой кости» ОГ – 6,5±0,12 мс, КГ – 7,38±0,38 мс, $p<0,02$; «подколенная ямка» ОГ – 6,36±0,17 мс, КГ – 7,37±0,43 мс, $p<0,03$) (рис.13).

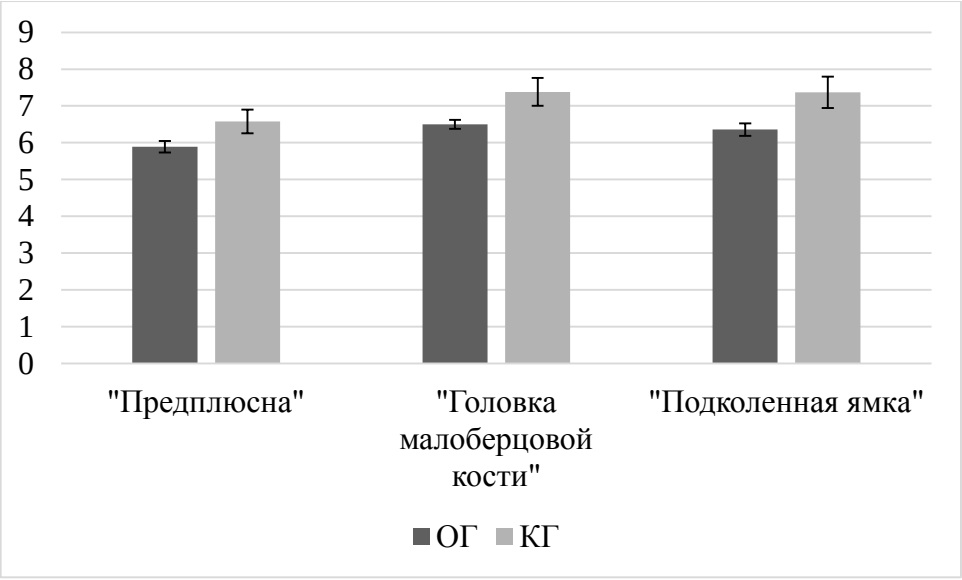


Рис. 13. Параметры длительности М-ответа у легкоатлетов мужчин ОГ и КГ после одного сеанса механотерапии и комплекса физиотерапевтических процедур

Выявлено, что у спортсменов КГ СРВ на отрезке «предплюсна» – «головка малоберцовой кости» справа ниже, чем у спортсменов ОГ (КГ – 50,4±1,4 м/с, ОГ – 55,8±1,4 м/с, $p<0,01$).

Таким образом, анализируя данные стимуляционной ЭНМГ, можно сделать вывод об улучшении мышечной координации и нервной лабильности в ОГ легкоатлетов-мужчин, у которых, помимо стандартного комплекса восстановительных процедур, был проведен сеанс роботизированной биоуправляемой механотерапии.

Анализ данных стимуляционной ЭНМГ после проведения 5 сеансов роботизированной биоуправляемой механотерапии и комплекса восстановительных процедур у спортсменов-мужчин показал статистически более низкие значения латентности у легкоатлетов ОГ в точках стимуляции глубокого малоберцового нерва «головка малоберцовой кости» (справа: ОГ – 10,5±0,3 мс, КГ – 11,3±0,4 мс, $p<0,01$; слева: ОГ – 10,4±0,4 мс, КГ – 11,7±0,5 мс, $p<0,007$) и «подколенная ямка» (справа: ОГ – 11,9±0,3 мс, КГ – 12,6±0,4 мс, $p<0,02$; слева: ОГ – 11,8±0,4 мс, КГ – 13,2±0,6 мс, $p<0,009$) (рис. 14).

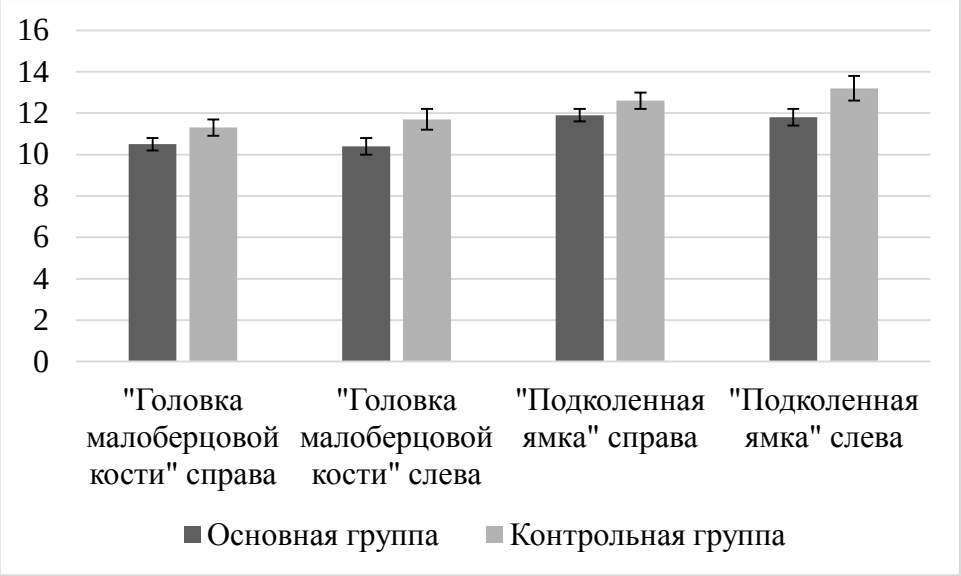


Рис. 14. Параметры латентности у легкоатлетов мужчин ОГ и КГ после проведения 5 сеансов роботизированной биоуправляемой механотерапии и комплекса восстановительных процедур

Статистически значимые отличия резидуальной латентности были выявлены у спортсменов ОГ и КГ в точке стимуляции «предплюсна» слева (ОГ – 2,42±0,14 мс, КГ – 2,93±0,25 мс, $p<0,04$).

Таким образом, необходимо заключить, что применение 5 сеансов роботизированной биоуправляемой механотерапии у мужчин-легкоатлетов способствовало повышению возбудимости моторных волокон исследуемого нерва как на участках с наличием миелиновой оболочки, так и в терминалях аксонов, не имеющих миелиновой оболочки.

Сравнительные данные параметров М-ответа, регистрируемые с короткого разгибателя пальцев стопы у спортсменок ОГ и КГ после проведения 5 сеансов роботизированной биоуправляемой механотерапии и комплекса восстановительных процедур представлены в таблице 23.

Таблица 23

Параметры М-ответа, регистрируемые с короткого разгибателя пальцев стопы при стимуляции глубокого малоберцового нерва у легкоатлеток ОГ и КГ после проведения курса механотерапии и комплекса восстановительных процедур

№ п/п	Показатели	Правая нога		P<	Левая нога		P<	Норма
		ОГ, n=21	КГ, n=10		ОГ, n=21	КГ, n=10		
Точка стимуляции «предплюсна»								
1	Латентность, мс	3,56±0,12	3,93±0,25	-	3,82±0,09	4,04±0,25	-	-
2	Амплитуда, мВ	5,27±0,21	6,80±0,49	-	6,45±0,48	5,67±0,49	-	>3,5 мВ
3	Длительность, мс	6,17±0,21	6,81±0,27	0,04	6,39±0,21	6,48±0,25	-	-
4	Площадь, мВ*мс	16,6±0,8	21,9±1,28	-	20,3±1,7	19,5±1,52	-	-
5	Резидуальная латентность, мс	2,25±0,11	3,11±0,25	0,01	2,48±0,10	2,68±0,18	-	<3,0 мс
Точка стимуляции «головка малоберцовой кости»								
1	Латентность, мс	10,3±0,2	11,6±0,55	0,02	10,6±0,2	11,0±0,24	-	-
2	Амплитуда, мВ	5,47±0,29	5,72±0,39	-	6,13±0,47	5,52±0,47	-	>3,5 мВ
3	Длительность, мс	6,93±0,25	6,98±0,37	-	7,22±0,29	6,95±0,29	-	-
4	Площадь, мВ*мс	17,0±1,5	22,4±1,26	-	20,4±1,8	19,6±1,54	-	-
5	СРВ, м/с	51,7±1,0	51,0±1,67	-	52,2±1,2	49,4±2,08	-	>40 м/с
Точка стимуляции «подколенная ямка»								
1	Латентность, мс	11,9±0,2	13,9±0,49	0,003	12,0±0,2	12,6±0,63	-	-
2	Амплитуда, мВ	5,42±0,22	5,46±0,39	-	6,32±0,48	5,51±0,46	-	>3,5 мВ
3	Длительность, мс	6,85±0,26	6,80±0,34	-	7,16±0,29	7,09±0,25	-	-
4	Площадь, мВ*мс	19,0±1,4	21,8±1,24	-	21,1±1,8	19,6±1,82	-	-
5	СРВ, м/с	63,7±2,5	54,3±3,98	0,02	64,9±3,6	50,6±4,02	0,02	>40 м/с

Примечание: p⩽0,05 – достоверные различия между группами сравнения, «-» – отсутствие достоверных различий между группами сравнения

Необходимо отметить, что у спортсменок ОГ, прошедших курс биоуправляемой механотерапии (5 сеансов) и комплекс восстановительных процедур (по 5 процедур гидро-, прессо- и магнитотерапии) отмечаются более

низкие значения латентности (p<0,02), резидуальной латентности (p<0,01), длительности (p<0,04) М-ответа и более высокие СРВ электрического импульса по моторных волокнам глубокого малоберцового нерва (p<0,02).

Сравнение параметров М-ответа, регистрируемого с короткого разгибателя пальцев стопы при стимуляции глубокого малоберцового нерва у спортсменов мужчин ОГ и КГ после 10 сеансов механотерапии и комплекса физиотерапевтических процедур представлено в таблице 24.

Таблица 24

Параметры М-ответа, регистрируемые с короткого разгибателя пальцев стопы при стимуляции глубокого малоберцового нерва у легкоатлетов-мужчин ОГ и КГ после проведения курса механотерапии и комплекса восстановительных процедур

№ п/п	Показатели	Правая нога		P<	Левая нога		P<	Норма
		ОГ, n=23	КГ, n=10		ОГ,n=23	КГ, n=10		
Точка стимуляции «предплюсна»								
1	Латентность, мс	4,02±0,2	4,36±0,22	-	3,8±0,15	4,73±0,40	-	-
2	Амплитуда, мВ	6,6±0,3	7,55±0,74	-	6,4±0,33	5,54±0,62	-	>3,5 мВ
3	Длительность, мс	6,3±0,1	6,70±0,37	-	6,3±0,22	6,95±0,28	-	-
4	Площадь, мВ*мс	20±1,4	25,0±2,40	-	20,5±1,2	19,9±2,47	-	-
5	Резидуальная латентность, мс	2,6±0,2	2,94±0,24	-	2,42±0,1	3,21±0,35	-	<3,0 мс
Точка стимуляции «головка малоберцовой кости»								
1	Латентность, мс	10,4±0,3	11,9±0,47	0,005	10,2±0,3	12,4±0,54	0,002	-
2	Амплитуда, мВ	6,8±0,5	5,54±0,37	-	6,9±0,55	5,87±0,53	-	>3,5 мВ
3	Длительность, мс	6,9±0,1	7,56±0,44	-	6,9±0,37	7,78±0,39	0,02	-
4	Площадь, мВ*мс	22±1,5	24,3±2,47	-	21±1,4	22,0±1,47	-	-
5	СРВ, м/с	52±1,0	46,0±1,48	0,001	52±1,0	48,3±2,36	0,002	>40 м/с
Точка стимуляции «подколенная ямка»								

Продолжение таблицы 24

1	Латентность, мс	11,9±0,3	13,1±0,48	0,01	11,7±0,4	13,5±0,52	0,01	-
2	Амплитуда, мВ	6,8±0,4	4,96±0,28	-	6,7±0,44	6,11±0,60	-	>3,5 мВ
3	Длительность, мс	7,01±0,1	7,55±0,46	-	7,03±0,3	7,90±0,35	0,05	-
4	Площадь, мВ*мс	22±1,9	21,8±1,09	-	23±1,3	23,5±2,12	-	-
5	СРВ, м/с	65±2,4	52,1±1,97	0,001	60±2,2	51,9±2,18	-	>40 м/с

Примечание: p⩽0,05 – достоверные различия между группами сравнения, «-» – отсутствие достоверных различий между группами сравнения

Сравнительный анализ данных параметров М-ответа у легкоатлетов показал более высокие значения латентности у спортсменов КГ в точках стимуляции «головка малоберцовой кости», «подколенная ямка» слева и справа (p<0,01), длительности М-ответа слева (p<0,05) и более низкие значения СРВ на отрезках «предплюсна» – «головка малоберцовой кости» с обеих сторон (p<0,002), «головка малоберцовой кости» – «подколенная ямка» справа (p<0,001).

Параметры М-ответа, регистрируемого с короткого разгибателя пальцев стопы при стимуляции глубокого малоберцового нерва у спортсменок ОГ и КГ после 10 сеансов механотерапии и комплекса физиотерапевтических процедур, представлены в таблице 25.

Таблица 25

Параметры М-ответа, регистрируемые с короткого разгибателя пальцев стопы при стимуляции глубокого малоберцового нерва у спортсменок ОГ и КГ после проведения курса механотерапии и комплекса восстановительных процедур

№ п/п	Показатели	Правая нога		P<	Левая нога		P<	Норма
		ОГ, n=21	КГ, n=10		ОГ,n=21	КГ, n=10		
Точка стимуляции «предплюсна»								
1	Латентность, мс	3,8±0,1	4,3±0,28	-	3,8±0,16	4,2±0,20	-	-
2	Амплитуда, мВ	6,7±0,5	6,8±0,89	-	6,7±0,53	6,0±0,47	-	>3,5 мВ

Продолжение таблицы 25

3	Длительность, мс	6,5±0,3	7,0±0,18	-	6,6±0,22	6,8±0,28	-	-
4	Площадь, мВ*мс	21 ±1,3	24±3,0	-	17,2±1,2	23,6±1,8	-	-
5	Резидуальная латентность, мс	3,2±0,3	3,1±0,2	-	2,7±0,16	2,7±0,19	-	<3,0 мс
Точка стимуляции «головка малоберцовой кости»								
1	Латентность, мс	10±0,3	11,7±0,52	0,02	10,2±0,2	11,7±0,35	0,003	-
2	Амплитуда, мВ	7,0±0,6	5,6±0,60	-	6,5±0,32	6,7±0,64	-	>3,5 мВ
3	Длительность, мс	7,3±0,3	7,7±0,28	-	7,2±0,22	7,3±0,32	-	-
4	Площадь, мВ*мс	21±1,3	23,8±2,84	-	25,8±1,2	23,9±2,06	-	-
5	СРВ, м/с	54±1,0	48,7±1,64	0,003	55,0±1,7	47,1±1,93	0,001	>40 м/с
Точка стимуляции «подколенная ямка»								
1	Латентность, мс	11±0,2	13,1±0,49	0,004	11,4±0,2	13,1±0,38	0,002	-
2	Амплитуда, мВ	7,5±0,6	5,5±0,66	-	6,9±0,36	6,6±0,65	-	>3,5 мВ
3	Длительность, мс	7,3±0,2	7,5±0,23	-	6,9±0,22	7,2±0,27	-	-
4	Площадь, мВ*мс	25±1,8	24,2±2,77	-	17,5±1,2	23,5±1,78	-	-
5	СРВ, м/с	69±1,5	47,4±4,18	0,001	68,7±2,8	47,5±3,35	0,004	>40 м/с

Примечание: $p \leqslant 0,05$ – достоверные различия между группами сравнения, «-» – отсутствие достоверных различий между группами сравнения

Сравнение результатов проведенного ЭМГ-исследования показало, что параметры СРВ на участках «предплюсна» – «головка малоберцовой кости» ($p<0,003$) и «головка малоберцовой кости» – «подколенная ямка» ($p<0,004$) в ОГ выше, чем в КГ. Кроме того, выявлено статистически значимое отличие параметров латентности у легкоатлеток ОГ и КГ в точках стимуляции «головка малоберцовой кости» ($p<0,02$) и «подколенная ямка» ($p<0,004$).

Таким образом, выявлено, что применение в восстановлении спортсменов биоуправляемой роботизированной механотерапии способствует преимущественно улучшению нервно-мышечной координации за счет более быстрого переключения между сокращением и расслаблением мышечных волокон, повышения скорости распространения электрического импульса по нервному волокну, более быстрому возникновению возбуждения и его распространению по миелинизированным волокнам и немиелинизированным участкам терминалей аксонов двигательных нервов.

Сравнительный анализ данных реовазографического исследования нижних конечностей после проведения одной процедуры биоуправляемой механотерапии и комплекса восстановительных процедур позволил выявить ряд статистически значимых отличий параметров периферического кровотока у спортсменов ОГ и КГ (табл. 26).

Таблица 26

Сравнительные данные параметров периферической гемодинамики у легкоатлетов мужского пола ОГ и КГ после однократного применения комплекса восстановительных физиопроцедур и сеанса биоуправляемой механотерапии

№ п/п	Показатели	правая нога		P<	левая нога		P<	Норма
		ОГ, n=23	КГ, n=10		ОГ, n=23	КГ, n=10		
Стопа								
1	РИ	1,35±0,12	1,19±0,12	-	1,67±0,11	1,17±0,13	0,005	0,8-1,2
2	Qa	0,31±0,01	0,31±0,01	-	0,27±0,01	0,29±0,01	-	0,25-0,27
3	Alfa	0,17±0,01	0,16±0,02	-	0,19±0,01	0,16±0,02	-	0,08-0,12
4	Alfa 2	0,12±0,01	0,12±0,01	-	0,13±0,01	0,11±0,01	-	0,05-0,07
5	МУ	22,2±1,1	18,1±2,1	0,05	24,1±1,7	17,4±2,1	0,02	11-16%
6	ВО	32,8±2,3	36,7±10,9	-	31,3±1,7	19,1±3,6	0,005	0-20%
7	ДКИ	0,36±0,03	0,42±0,07	-	0,44±0,03	0,46±0,10	-	0,4-0,6
8	ДСИ	0,34±0,02	0,37±0,06	-	1,76±0,93	0,50±0,05	-	0,30-0,55
9	КА	28,4±6,4	26,1±7,7	-	28,4±6,4	26,1±7,7	-	0-20%

Продолжение таблицы 26

Голень								
1	РИ	1,17±0,12	2,10±0,21	0,001	1,17±0,11	1,96±0,28	0,003	0,90-1,25
2	Qa	0,27±0,01	0,26±0,00	-	0,26±0,01	0,26±0,001	-	0,23-0,26
3	Alfa	0,14±0,01	0,16±0,01	0,03	0,15±0,01	0,17±0,01	-	0,08-0,12
4	Alfa 2	0,09±0,01	0,10±0,01	-	0,10±0,01	0,12±0,01	-	0,05-0,06
5	МУ	18,0±0,8	17,7±1,1	-	19,1±0,8	18,9±1,6	-	11-15%
6	ВО	37,0±3,0	28,4±4,7	-	37,4±2,9	30,5±7,5	0,04	0-20%
7	ДКИ	0,17±0,06	0,25±0,14	-	0,42±0,07	0,43±0,09	-	0,4-0,6
8	ДСИ	0,25±0,04	0,25±0,13	-	0,33±0,03	0,45±0,08	-	0,45-0,75
9	КА	31,7±4,7	24,0±6,7	-	41,2±10,2	24,0±6,7	-	0-20%

Примечание: Сравнение данных проводилось с помощью непараметрического критерия Вилкоксона. РИ – реографический индекс, Qa – время распространения реографических волн, Alfa – время максимального систолического наполнения сосудов, Alfa 2 – время медленного наполнения, МУ – модуль упругости (показатель тонуса артерий), ВО – показатель венозного оттока, ДКИ – дикротический индекс, ДСИ – диастолический индекс, КА – коэффициент асимметрии.

Результаты проведенного исследования показали, что изолированное применение комплекса восстановительных процедур способствовало нормализации показателей реографического индекса ($p<0,005$) и венозного оттока ($p<0,005$) в сегменте «стопа» слева у атлетов КГ. Параметры модуля упругости в этом сегменте также ниже у спортсменов КГ ($p<0,05$), однако они также превышают нормативный предел. В сегменте «голень» реографический индекс у атлетов ОГ ниже ($p<0,003$), чем у КГ и не превышает рамки референсных значений. Параметры времени максимального систолического наполнения сосудов у спортсменов обеих групп выше нормы, однако у спортсменов ОГ этот показатель более приближен к нормативным значениям ($p<0,03$). Венозный отток в сегменте «голень» значительно выше нормы у атлетов обеих групп, но у спортсменов КГ он ниже ($p<0,04$).

Таким образом, несмотря на положительную динамику показателей артериального кровотока у спортсменов ОГ после одного сеанса механотерапии и

комплекса восстановительных процедур, нарушения периферического кровотока по большей части остаются не корригированными у атлетов обеих групп.

Сравнительные данные параметров периферической гемодинамики у легкоатлетов мужского пола ОГ и КГ после 5 сеансов биоуправляемой механотерапии и комплекса восстановительных физиопроцедур представлены в таблице 27.

Таблица 27

Сравнительные данные параметров периферической гемодинамики у легкоатлетов мужского пола ОГ и КГ после 5 сеансов биоуправляемой механотерапии и комплекса восстановительных физиопроцедур

№ п/п	Показатели	правая нога		P<	левая нога		P<	Норма
		ОГ, n=23	КГ, n=10		ОГ, n=23	КГ, n=10		
Стопа								
1	РИ	1,39±0,14	1,27±0,14	-	1,51±0,11	1,25±0,14	-	0,8-1,2
2	Qa	0,30±0,01	0,30±0,01	-	0,27±0,01	0,30±0,01	0,04	0,25-0,27
3	Alfa	0,15±0,01	0,14±0,01	-	0,15±0,01	0,14±0,01	-	0,08-0,12
4	Alfa 2	0,11±0,01	0,09±0,01	-	0,11±0,01	0,09±0,01	-	0,05-0,07
5	МУ	19,2±1,4	14,4±1,2	0,05	18,0±1,7	14,1±0,9	-	11-16%
6	ВО	19,4±2,4	29,9±8,1	-	20,7±1,6	35,8±8,0	-	0-20%
7	ДКИ	0,45±0,04	0,36±0,07	-	0,44±0,05	0,35±0,06	-	0,4-0,6
8	ДСИ	0,51±0,04	0,40±0,05	-	0,50±0,04	0,37±0,04	0,05	0,30-0,55
9	КА	29,1±5,3	15,8±3,5	-	29,1±5,3	15,8±3,5	-	0-20%
Голень								
1	РИ	1,20±0,13	1,94±0,17	0,01	1,23±0,18	1,89±0,11	0,003	0,90-1,25
2	Qa	0,28±0,01	0,27±0,01	-	0,27±0,01	0,27±0,01	-	0,23-0,26
3	Alfa	0,15±0,01	0,18±0,01	-	0,16±0,01	0,18±0,01	-	0,08-0,12
4	Alfa 2	0,10±0,01	0,11±0,01	0,04	0,11±0,01	0,12±0,01	-	0,05-0,06
5	МУ	20,1±1,4	18,5±1,0	-	21,2±1,7	18,1±1,0	-	11-15%
6	ВО	27,3±1,8	33,1±7,4	-	27,7±2,1	31,1±6,0	-	0-20%

Продолжение таблицы 27

7	ДКИ	0,40±0,07	0,38±0,06	-	0,38±0,05	0,38±0,03	-	0,4-0,6
8	ДСИ	0,41±0,05	0,41±0,04	-	0,42±0,05	0,41±0,02	-	0,45-0,75
9	КА	33,3±7,5	10,7±3,4	-	33,3±7,5	10,7±3,4	-	0-20%

Примечание: Сравнение данных проводилось с помощью непараметрического критерия Вилкоксона. РИ – реографический индекс, Qa – время распространения реографических волн, Alfa – время максимального систолического наполнения сосудов, Alfa 2 – время медленного наполнения, МУ – модуль упругости (показатель тонуса артерий), ВО – показатель венозного оттока, ДКИ – дикротический индекс, ДСИ – диастолический индекс, КА – коэффициент асимметрии.

Выявлено, что у спортсменов ОГ время распространения реографических волн в сегменте «стопа» слева не превышает норму, в отличие от аналогичного параметра атлетов КГ ($p<0,04$). Параметры диастолического индекса выше в ОГ, однако он не выходит за рамки нормативных значений ($p<0,01$). Значения реографического индекса в сегменте «голень» у спортсменов ОГ ниже ($p<0,04$), чем у атлетов КГ, у которых они значительно превышают норму. Параметры времени медленного наполнения сосудов выше нормативного предела у спортсменов обеих групп, однако у атлетов ОГ они ближе к нормативным значениям ($p<0,04$).

Таким образом, выявлена положительная динамика показателей артериального притока и микроциркуляции у спортсменов мужчин ОГ после применения 5 сеансов механотерапии и комплекса восстановительных физиотерапевтических процедур.

Сравнительные данные параметров периферической гемодинамики у легкоатлетов мужского пола ОГ и КГ после 10 сеансов биоуправляемой механотерапии и комплекса восстановительных физиопроцедур представлены в таблице 28.

Таблица 28

Сравнительные данные параметров периферической гемодинамики у легкоатлетов мужского пола ОГ и КГ после 10 сеансов биоуправляемой механотерапии и комплекса восстановительных физиопроцедур

№ п/п	Показатели	правая нога		P<	левая нога		P<	Норма
		ОГ, n=23	КГ, n=10		ОГ, n=23	КГ, n=10		
Стопа								
1	РИ	1,4±0,07	0,80±0,10	0,002	1,31±0,08	0,80±0,12	0,001	0,8-1,2
2	Qa	0,3±0,01	0,31±0,001	-	0,28±0,01	0,30±0,01	-	0,25-0,27
3	Alfa	0,15±0,01	0,14±0,02	-	0,16±0,01	0,13±0,01	-	0,08-0,12
4	Alfa 2	0,10±0,01	0,10±0,01	-	0,11±0,01	0,09±0,01	-	0,05-0,07
5	МУ	17,0±1,2	13,5±1,67	-	17,7±1,2	12,6±1,13	0,006	11-16%
6	ВО	23,2±1,4	30,7±6,69	-	23,3±1,6	30,6±9,10	-	0-20%
7	ДКИ	0,40±0,03	0,27±0,10	-	0,4±0,05	0,14±0,22	-	0,4-0,6
8	ДСИ	0,39±0,03	0,32±0,11	-	0,4±0,04	0,24±0,17	-	0,30-0,55
9	КА	29,0±3,5	14,7±4,66	-	29,0±3,5	14,7±4,66	-	0-20%
Голень								
1	РИ	1,42±0,10	1,62±0,16	-	1,51±0,14	1,75±0,18	-	0,90-1,25
2	Qa	0,27±0,01	0,27±0,001	-	0,27±0,01	0,27±0,001	-	0,23-0,26
3	Alfa	0,16±0,01	0,15±0,01	-	0,17±0,01	0,15±0,01	-	0,08-0,12
4	Alfa 2	0,10±0,01	0,20±0,10	-	0,11±0,01	0,10±0,01	-	0,05-0,06
5	МУ	18,5±0,9	14,3±0,60	0,01	18,8±0,9	14,7±0,83	0,01	11-15%
6	ВО	22,0±1,1	31,1±8,60	-	27,9±1,3	28,5±7,13	-	0-20%
7	ДКИ	0,42±0,04	0,29±0,04	0,03	0,4±0,04	0,33±0,04	-	0,4-0,6
8	ДСИ	0,42±0,03	0,37±0,04	-	0,5±0,12	0,37±0,03	-	0,45-0,75
9	КА	38,5±8,6	17,6±4,27	-	38,5±8,6	17,6±4,27	-	0-20%

Примечание: Сравнение данных проводилось с помощью непараметрического критерия Вилкоксона. РИ – реографический индекс, Qa – время распространения реографических волн, Alfa – время максимального систолического наполнения сосудов, Alfa 2 – время медленного наполнения, МУ – модуль упругости (показатель тонуса артерий), ВО – показатель венозного оттока, ДКИ – дикротический индекс, ДСИ – диастолический индекс, КА – коэффициент асимметрии.

Результаты проведенного исследования показали, что у спортсменов КГ параметры реографического индекса в сегменте «стопа» и модуля упругости в сегменте «голень» ниже, чем у атлетов ОГ ($p<0,01$). Параметры дикротического индекса в сегменте «голень» справа не выходят за рамки нормативных значений только у спортсменов ОГ ($p<0,03$).

Таким образом, можно заключить, что применение комплекса восстановительных физиотерапевтических процедур у мужчин-легкоатлетов способствует нормализации параметров артериального притока крови, а включение в программу восстановления 10 сеансов биоуправляемой механотерапии оказывает положительное действие на кровоток и в микроциркуляторном русле.

Сравнительный анализ данных реовазографического исследования нижних конечностей после 1 и 5 сеансов механотерапии и комплекса восстановительных физиотерапевтических процедур не позволил выявить каких-либо статистически значимых различий у спортсменок ОГ и КГ. Однако после 10 сеансов механотерапии параметры венозного оттока у легкоатлеток ОГ в сегменте «стопа» слева (ОГ – 23,5±3,3 усл.ед., КГ – 38,2±5,6 усл.ед., $p<0,03$) и «голень» слева (ОГ – 23,7±2,1 усл.ед., КГ – 34,4±4,22 усл.ед., $p<0,04$) отличались от аналогичных показателей спортсменок КГ (рис.15).

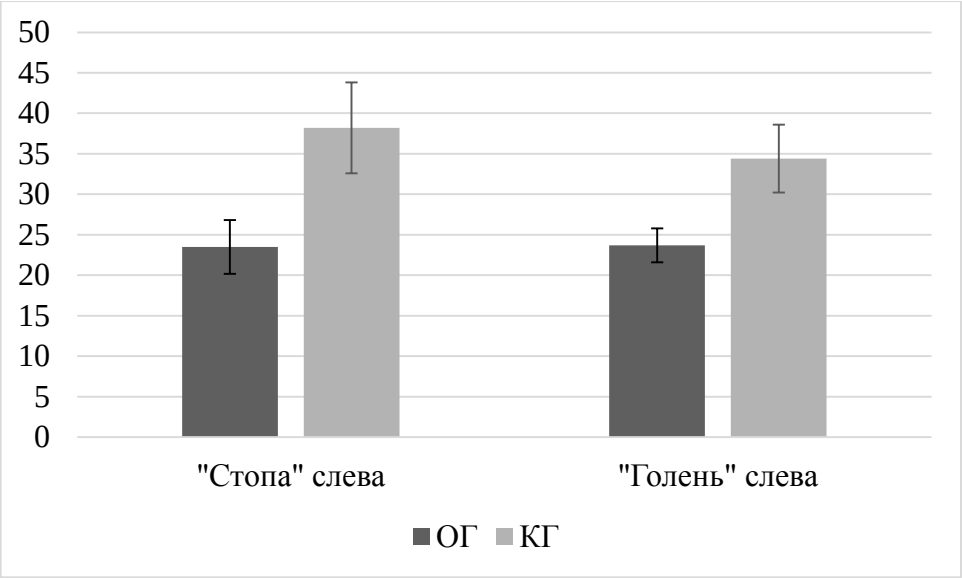


Рис. 15. Параметры венозного оттока у спортсменок ОГ и КГ после применения 10 сеансов биоуправляемой механотерапии и комплекса физиотерапевтических процедур

Таким образом, можно заключить, что применение курса механотерапии и физиотерапевтического комплекса процедур способствовало нормализации именно венозного звена гемоциркуляторного русла у спортсменок ОГ.

Динамометрическое исследование мышечного аппарата голеностопного сустава после 1 сеанса механотерапии показало более низкие значения утомления мышц тыльного разгибания стопы у спортсменов мужчин ОГ (ОГ – 0,06±0,01 Дж/с, КГ – 0,14±0,04 Дж/с, $p<0,04$). После проведения 5 сеансов механотерапии выявлены более высокие параметры мощности работы мышц тыльного разгибания (ОГ – 10,38±1,35 Вт, КГ – 5,03±1,04 Вт, $p<0,01$) и подошвенного сгибания правой стопы (ОГ – 29,6±2,8 Вт, КГ – 14,4±2,9 Вт, $p<0,004$) у спортсменов ОГ. Сравнительные данные динамометрического исследования мышечного аппарата голеностопного сустава после 5 сеансов механотерапии и комплекса восстановительных процедур у спортсменок ОГ и КГ представлены в таблице 29.

Таблица 29

Сравнительные данные динамометрического исследования мышечного аппарата голеностопного сустава после 5 сеансов механотерапии и комплекса восстановительных процедур у спортсменок ОГ и КГ

№ п/п	Мышечные группы	Крутящий момент max, Нм 1		Крутящий момент max средний, Нм 2		Мощность работы, Вт 3		Работа средняя, Дж/с, 4		Общая работа, Дж, 5		p<0,05
		ОГ,n=21	КГ, n=10	ОГ,n=21	КГ, n=10	ОГ, n=21	КГ, n=10	ОГ, n=21	КГ, n=10	ОГ,n=21	КГ, n=10	
1	Мышцы тыльного разгибания стопы справа	39,8±5,1	56,4±10	24,0±1,8	32,3±8,6	3,25±0,9	7,7±1,1	2,5±0,7	5,3±0,8	70±11,9	105,5±15	3 – p<0,01; 4 – p<0,04;
2	Мышцы подошвен-ного сгибания стопы справа	34±3,6	68,9±8,9	25,6±2,2	55,9±8,9	5,62±2,2	27±5,1	6,38±1,3	17,5±2,9	215±10,5	350±57,4	1 –p<0,003, 2 – p<0,02; 3 –p<0,001; 4– p<0,001; 5 – p<0,02;
3	Мышцы тыльного разгибания стопы слева	28,5±6,1	58±11,5	25,0±3,2	33,0±8,6	4,85±0,9	8,6±1,2	3,55±0,68	6,01±1,07	76,3±13	120±21,4	1– p<0,05; 4 –p<0,01; 5 – p<0,03
4	Мышцы подошвен-ного сгибания стопы слева	35,6±4,9	65,8±12	23,5±4,5	53±10,8	9,0±2,9	25,8±6,02	4,2±2,3	16,4±3,3	147,5±17	327±67,1	2 – p<0,05; 4 – p<0,01; 5 – p<0,02

Примечание: p⩽0,05 – достоверные различия между группами сравнения (U-критерий Манна-Уитни), «-» – отсутствие достоверных различий между группами сравнения

Результаты исследования показали, что спортсменки ОГ имеют более низкие значения крутящего момента ($p<0,05$), параметров мощности ($p<0,04$) и работы ($p<0,03$) мышечного аппарата голеностопного сустава в сравнении с легкоатлетками КГ, что свидетельствует об оптимизации работы мышц-сгибателей и разгибателей стопы и более точной их координации после проведения 5 сеансов биоуправляемой механотерапии.

После применения 10 сеансов механотерапии разница между параметрами максимального (правый разгибатель стопы – 39,5±6,5 Нм, правый сгибатель стопы – 40,7±3,8 Нм, левый разгибатель стопы – 40,6±2,7 Нм, левый сгибатель стопы – 39,1±3,0 Нм) и среднего крутящего момента (правый разгибатель стопы – 39,0±1,8 Нм, правый сгибатель стопы – 39,6±2,2 Нм, левый разгибатель стопы – 39,2±3,9 Нм, левый сгибатель стопы – 39,0±1,3 Нм) практически отсутствует, что свидетельствует о точном дозировании усилия, приложенном спортсменом для выполнения упражнения. У спортсменов КГ значения максимального (правый разгибатель стопы – 36,5±6,6 Нм, правый сгибатель стопы – 48,9±7,6 Нм, левый разгибатель стопы – 51,3±10,8 Нм, левый сгибатель стопы – 62,5±11,3 Нм) и среднего крутящего момента (правый разгибатель стопы – 20,0±5,5 Нм, правый сгибатель стопы – 35,0±6,9 Нм, левый разгибатель стопы – 29,3±7,5 Нм, левый сгибатель стопы – 47,9±10,4 Нм) имеют статистически значимые различия ($p<0,04$), а их параметры свидетельствуют о неравномерном приложении силы, в результате чего их движения более энергозатратны и менее продуктивны (рис. 16).

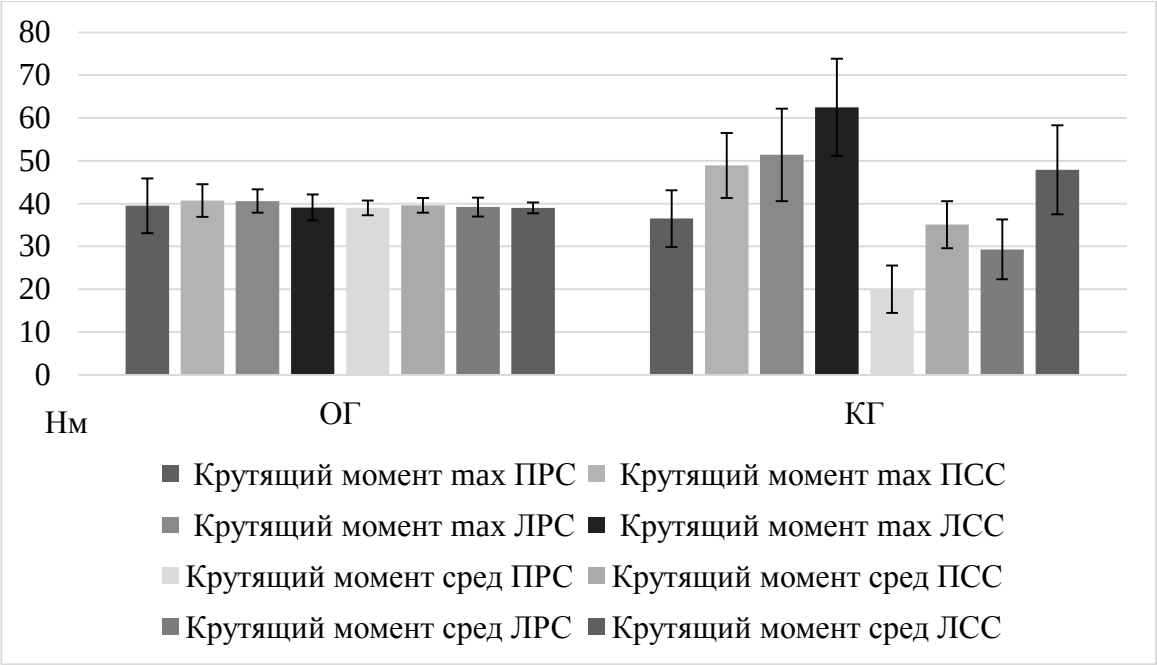


Рис. 16. Параметры крутящего момента мышц голеностопного сустава у спортсменов мужчин ОГ и КГ после применения 10 сеансов биоуправляемой механотерапии

Примечание: ПРС – правый разгибатель стопы, ЛРС – левый разгибатель стопы, ПСС – правый сгибатель стопы, ЛСС – левый сгибатель стопы

Аналогичные данные динамометрического тестирования мышечного аппарата голеностопных суставов были получены и у спортсменок ОГ и КГ (табл. 30).

Таблица 30

Параметры крутящего момента у спортсменок ОГ и КГ после 10 сеансов биоуправляемой механотерапии мышечного аппарата голеностопного сустава и комплекса восстановительных процедур

Группа	КМ max ПРС	КМ max ПСС	КМ max ЛРС	КМ max ЛСС	КМ средний ПРС	КМ средний ПСС	КМ средний ЛРС	КМ средний ЛСС
ОГ,n=21	36,5±5,1	37,8±3,1	37,6±5,4	37,8±4,1	35,0±2,0	36,6±2,9	36,2±2,0	37,6±1,3
КГ,n=10	28,3±6,8	36,5±6,1	54,7±9,4	62,4±9,8	15,6±4,9	25,9±3,4	36,5±8,0	47,6±8,8

Примечание: КМmax – максимальный крутящий момент, КМ средний – средний крутящий момент, ПРС – правый разгибатель стопы, ЛРС- левый разгибатель стопы, ПСС – правый сгибатель стопы, ЛСС – левый сгибатель стопы

Помимо разницы значений силовых показателей, у спортсменок ОГ параметры работы мышц тыльного разгибания (ОГ – 60,6±13,5 Дж, КГ – 148,8±32,7 Дж, $p<0,002$) и подошвенного сгибания стопы (ОГ – 97,1±36,4 Дж, КГ – 305,6±67,1 Дж, $p<0,005$) ниже, чем у легкоатлеток КГ.

Таким образом, применение биоуправляемой механотерапии способствовало оптимизации баланса мышечной системы голеностопных суставов, которая произошла преимущественно за счет изменения силовых параметров, в результате чего повысилась точность и координация опорно-двигательной системы.

Результаты динамометрического исследования после 1 сеанса биоуправляемой механотерапии мышечного аппарата коленного сустава показали, более низкие значения параметров утомления у легкоатлеток ОГ (правый разгибатель – 0,18±0,06 Дж/с, $p<0,03$; левый разгибатель – 0,14±0,04 Дж/с, $p<0,02$) в сравнении с КГ (правый разгибатель – 0,71±0,17 Дж/с; левый разгибатель – 0,79±0,15 Дж/с).

После 5 сеансов механотерапии у спортсменов ОГ разница между антагонистами мышечного аппарата коленного сустава была полностью корригирована (крутящий момент максимальный: правый разгибатель – 41,8±2,2 Нм, правый сгибатель – 42,7±1,8 Нм, левый разгибатель – 42,2±2,8 Нм, левый сгибатель – 40,6±2,9 Нм; крутящий момент средний: правый разгибатель – 32,3±1,44 Нм, правый сгибатель – 30,5±2,1 Нм, левый разгибатель – 31,8±1,7 Нм, левый сгибатель – 32,5±2,2 Нм) в то время как у легкоатлетов КГ выявлены статистически значимые различия между этими мышечными группами (крутящий момент максимальный: правый разгибатель – 40,1±5,1 Нм, правый сгибатель – 30,6±6,7 Нм, $p<0,03$, левый разгибатель – 49,2±5,5 Нм, левый сгибатель – 32,1±7,9 Нм $p<0,001$; крутящий момент средний: правый разгибатель – 28,9±4,5, правый сгибатель – 19,8±3,3 Нм, левый разгибатель – 35,4±6,8 Нм, левый сгибатель – 25,3±7,0) (рис. 17).

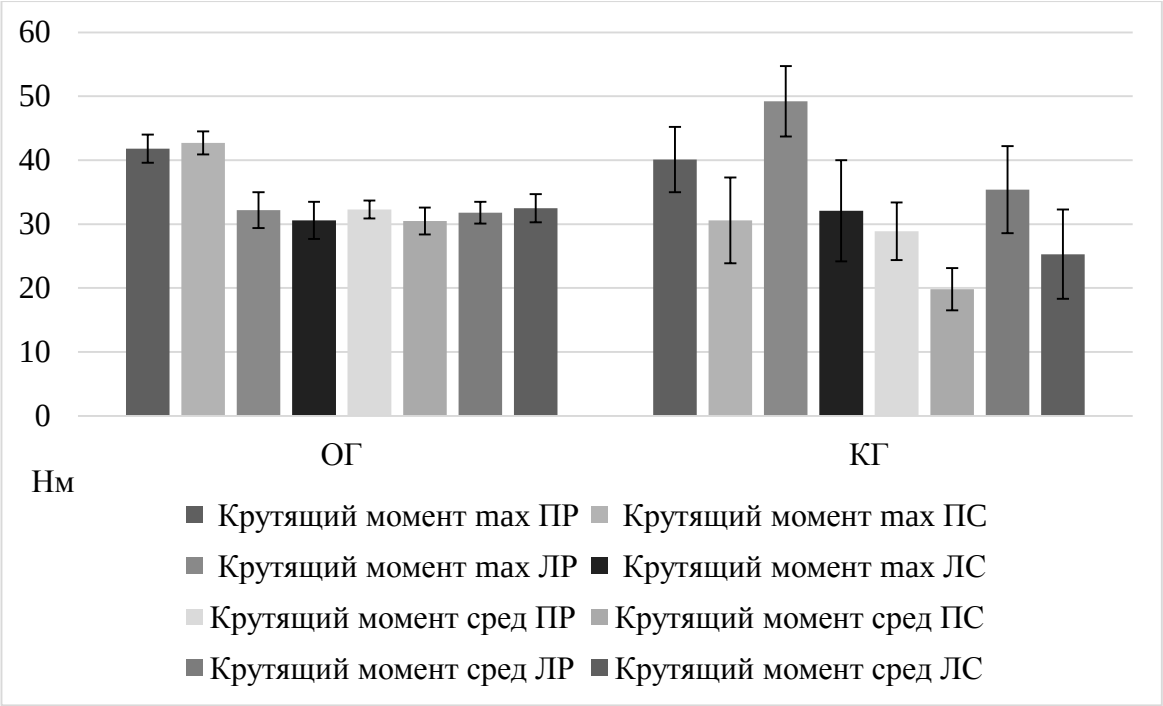


Рис. 17. Параметры крутящего момента мышц коленного сустава у спортсменов-мужчин ОГ и КГ после применения 5 сеансов биоуправляемой механотерапии

Примечание: ПР – правый разгибатель, ЛР – левый разгибатель, ПС – правый сгибатель, ЛС – левый сгибатель

Сравнительные данные динамометрического исследования мышечного аппарата коленного сустава после 10 сеансов механотерапии и комплекса восстановительных процедур у спортсменов ОГ и КГ представлены в таблице 31. Выявлено, что у спортсменов ОГ параметры максимального крутящего момента мышц-разгибателей коленного сустава как справа ($p<0,01$), так и слева ($p<0,05$) значительно ниже, чем у спортсменов КГ. Анализ силовых параметров также показал, что значения максимального крутящего момента практически не отличаются от параметров среднего крутящего момента у легкоатлетов ОГ, в отличие от спортсменов КГ. Данные динамометрического исследования позволили выявить более низкие параметры мышечной работы у спортсменов ОГ($p<0,05$).

Таблица 31

Сравнительные данные динамометрического исследования мышечного аппарата коленного сустава после 10 сеансов механотерапии и комплекса восстановительных процедур у спортсменов ОГ и КГ

№ п/п	Мышечные группы	Крутящий момент max, Нм 1		Крутящий момент max средний, Нм 2		Мощность работы, Вт 3		Работа средняя, Дж/с, 4		Общая работа, Дж, 5		p<0,05
		ОГ,n=23	КГ, n=10	ОГ,n=23	КГ, n=10	ОГ,n=23	КГ, n=10	ОГ,n=23	КГ, n=10	ОГ,n=23	КГ, n=10	
1	Правый разгибатель коленного сустава	48,4±4,6	78,1±10	46,3±4,5	62,7±9,4	26,4±2,5	34,1±5,5	21,7±7,3	38,6±6,9	118±5,8	772±138	1 – p<0,01; 4 – p<0,04; 5 – p<0,002
2	Правый сгибатель коленного сустава	47,7±1,8	52,8±4,7	45,2±1,8	38,5±4,7	26,5±2,0	23,3±2,8	16,7±5,8	25,9±3,5	129±8,6	518,6±70	4 – p<0,05; 5 – p<0,002
3	Левый разгибатель коленного сустава	47±1,28	69,8±9,7	44,1±1,1	52,9±7,6	27,5±1,4	29,2±4,7	18,5±5,9	33,4±6,0	110±6,3	636±124	1– p<0,05; 4 – p<0,02; 5 – p<0,004
4	Левый сгибатель коленного сустава	45,5±1,4	49,8±5,1	43,5±1,4	36,1±4,3	22,8±3,1	20,8±2,6	20,9±4,1	23,9±3,1	155±18,1	456±67	5 – p<0,01

Примечание: p⩽0,05 – достоверные различия между группами сравнения (U-критерий Манна-Уитни), «-» – отсутствие достоверных различий между группами сравнения

Анализ динамометрических параметров после проведения 10 сеансов биоуправляемой механотерапии мышечного аппарата коленного сустава позволил выявить более низкие значения утомления правого разгибателя коленного сустава у спортсменок ОГ в сравнении с КГ (ОГ – 0,28±0,08 Дж/с, КГ – 2,49±0,9 Дж/с, $p<0,04$).

Таким образом, сравнение динамометрических, электронейромиографических и реовазографических параметров показало, что применение комплекса физиотерапевтических процедур без механотерапии способствовало только нормализации параметров периферического кровотока, в то время как использование в программе восстановления роботизированной биоуправляемой механотерапии позволяет не только восстанавливать функциональное состояние опорно-двигательной системы и периферической гемодинамики после интенсивных физических нагрузок, но и оптимизировать силовой баланс мышечного аппарата, повышать координацию нервно-мышечной системы, в результате чего у спортсменов появляется возможность более точно дозировать мышечное усилие, что в свою очередь способствует экономизации энерготрат и формированию правильных двигательных стереотипов. Данные, полученные по результатам ЭМГ-диагностики и реовазографического исследования, свидетельствуют о закреплении положительного влияния механотерапии на функциональное состояние НМА (снижение латентности, длительности М-ответа, повышение СРВ по нервным волокнам) и периферической гемодинамики легкоатлетов (нормализация параметров артериального, венозного кровотока и микроциркуляции).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проблема разработки методики быстрого и эффективного восстановления ОДА высококвалифицированных спортсменов после интенсивных тренировочных нагрузок особенно актуальна в настоящее время. В условиях жестких антидопинговых правил и высокой спортивной конкуренции все большее предпочтение атлеты отдают именно немедикаментозным методам восстановления (Ю.В. Корягина с соавт., 2022; Ю.А. Букреева, Т.Н. Мостовая, 2020). Кроме того, действие интенсивных, иногда предельных физических нагрузок на организм, делает вопрос сохранения здоровья спортсменов первостепенным и крайне важным. Необходимо учитывать, что рост уровня спортивного мастерства неизменно коррелирует с адаптационными перестройками организма атлета, связанными с оптимизацией работы органов и систем, обеспечивающих достижение спортивного результата (Е.В. Быков с соавт., 2019; Е.Е. Ачкасов с соавт, 2019).

Анализируя биомеханику движений в суставах нижних конечностей бегуна, необходимо отметить, что ее стоит рассматривать в рамках концепции динамического равновесия, то есть движения в суставе определяются балансом мышечного аппарата, нарушение которого при систематических циклических однотипных нагрузках приводит к смещению суставных поверхностей и напряжению связочного аппарата (А.А. Сорокин, 2015).

Несмотря на значительные научные достижения в спортивной медицине, вопрос поиска высокоэффективных методов восстановления ОДА спортсменов остается по-прежнему открытым среди специалистов в этой области (В.В. Арьков с соавт., 2022; Е.М. Кабаев с соавт., 2021). Ряд научных исследований показал высокий потенциал применения таких методов как магнито-, прессо- и гидротерапии.

Серия проведенных работ выявила, что применение низкочастотной магнитотерапии способствует стабилизации мембранного потенциала миофибрилл мышечной ткани (Е.С. Каченкова, И.Г. Красов, 2022).

Выявлено, что действие прессотерапии ограничено местным воздействием и не оказывает системного действия на организм спортсмена. При этом массажное действие на мышечный аппарат способствует улучшению венозного оттока и лимфоциркуляции (Д.Г. Седов с соавт., 2020).

Сочетанное применение физиотерапевтических процедур достаточно популярно на сегодняшний день. Многие ученые отмечают выраженную эффективность именно при комплексном воздействии. Так, исследование, проведенное на базе ФГБУ ФНЦ ВНИИФК, показало, что комплексное применение низкочастотной магнитотерапии и аппаратной прессотерапии способствует профилактике состояний переутомления и перенапряжения ОДА и ускоряет процессы посттренировочного восстановления (Л.В. Сафонов, 2012).

Таким образом, необходимо отметить, что изолированное применение таких физиотерапевтических средств как гидро- прессо- и магнитотерапия в восстановлении спортсменов широко распространенно как в России, так и за рубежом. Исследования и научные работы публикуются на протяжении длительного времени, и база научных исследований достаточно широка и труднообозрима. Научных трудов, посвященных изучению сочетанного применения физиотерапевтических процедур, значительно меньше, однако результаты исследований свидетельствуют о более выраженной терапевтической эффективности именно комплексного воздействия (Д.К. Зубковский, 2022, Е.А. Галкина с соавт., 2022).

В нашей работе также был выбран комплекс физиотерапевтических процедур, включающий сочетанное применение магнито-, прессо– и гидротерапии. Выбор комплексного воздействия был обусловлен взаимным потенцированием действия указанных процедур и более выраженной эффективностью при восстановлении НМА и периферической гемодинамики спортсменов после интенсивных тренировочных нагрузок, а также более длительным посттерапевтическим периодом. Последовательность применения процедур определялась их физиологическим действием. Так, спортсмены сначала проходили

магнитотерапию для изменения заряда ионов межклеточной жидкости и увеличения проницаемости клеточной мембраны. Таким образом, жидкость с продуктами энергораспада и воспалительными агентами из клеток и межклеточного пространства попадает в капилляры и лимфатические сосуды. Далее проводилась струйно-контрастная ванна, которая способствовала увеличению кровотока и эвакуации метаболитов мышечной деятельности из микроциркуляторного русла в более крупные сосуды. Затем следовала процедура прессотерапии, которая способствовала транспортировке продуктов обмена в вышележащие отделы сосудистой системы и их утилизации и выводу из организма (вывод креатинина и лактата с мочой, синтез мочевины в печени), что способствовало более быстрому восстановлению спортсменов. Результаты проведенного исследования показали, что комплексное применение магнито-, гидро- и прессотерапии способствует в большей степени улучшению параметров периферической гемодинамики, за счет нормализации артериального притока крови, венозного оттока и микроциркуляции. Проведенный анализ научных литературных данных показал, что к сочетанному действию процедур у спортсменов гораздо реже развивается привыкание даже при длительном курсовом применении (Д.К. Зубковский, 2022; Е.А. Галкина с соавт., 2022).

Сравнение результатов диагностического тестирования показало, что у спортсменов ОГ, получавших процедуры биоуправляемой механотерапии отмечаются более низкие значения латентности, длительности М-ответа, более высокая СРВ по нервным волокнам при проведении стимуляционной ЭНМГ в сравнении с показателями спортсменов КГ. Кроме того, по данным реовазографического исследования, помимо нормализации параметров артериального и венозного кровотока, наблюдаемых в КГ, выявлено повышение показателей микроциркуляции до нормативных значений в ОГ легкоатлетов. Результаты динамометрического исследования показали, что у спортсменов ОГ сравнялись параметры крутящего момента мышц антагонистов и нивелировалась разница между максимальными и средними показателями приложения силы,

отмечены более низкие параметры работы, в сравнении с аналогичными показателями спортсменов КГ.

Включение в программу биоуправляемой механотерапии способствовало восстановлению функционального состояния НМА спортсменов. Как известно, развитие утомления осуществляется за счет нескольких механизмов. Основными из них являются активация тормозно-релаксационной функциональной системы защиты организма спортсмена, снижение энергетических ресурсов, а также накопление в организме продуктов энергораспада. В работе В.Д. Даминова было показано, что применение механотерапии после интенсивных физических нагрузок способствует оптимизации процессов торможения и возбуждения на уровне ЦНС (В.Д. Даминов, 2022). Кроме того, применяемый нами изокинетический режим тренировки с элементами пассивной мобилизации позволяет при минимальном усилии в баллистическом режиме вызывать сокращение мышечных волокон и запускать биохимические процессы, связанные с выработкой нейротрансмиттеров, что способствует улучшению нервно-мышечной передачи, что в свою очередь подтвердилось результатами стимуляционной ЭНМГ (снижение латентности и резидуальной латентности, увеличение амплитуды М-ответа и СРВ). Кроме того, подобное мышечное сокращение способствует более высокому снабжению мышечной ткани кислородом и энергоресурсами и более качественному выводу продуктов распада.

Помимо восстановления функционального состояния НМА спортсменов после интенсивных физических нагрузок, механотерапия на РБК способствует профилактике развития деструктивно-дегенеративных заболеваний ОДА. Так, движения, выполняемые атлетом, при проведении механотерапии способствуют увеличению кровоснабжения околосуставных тканей и увеличению выработки синовиальной жидкости, как и при движениях, совершаемых в повседневной жизни. Однако отсутствие осевой нагрузки на сустав позволяет исключить стирание и разрушение хрящевой поверхности сустава. Таким образом, питание сустава улучшается, при этом не происходит его деструкция.

Результаты нашего исследования также показали, что применение биоуправляемой механотерапии у спортсменов способствует формированию правильных двигательных стереотипов за счет оптимизации баланса мышц-антагонистов и синергистов, укрепления слабых мышечных групп и расслабления спазмированных участков мышц. В это же время способность спортсмена точно дозировать мышечное усилие позволяет сократить траты энергоресурсов. Все вышеперечисленное несомненно является профилактикой состояний локального переутомления, а также значительно снижает риск развития усталостных травм и повреждений ОДА спортсмена.

Таким образом, разработанная методика восстановления ОДА нижних конечностей легкоатлетов, специализирующихся в беговых дисциплинах, включающая применение биоуправляемой механотерапии, направленной на оптимизацию мышечного баланса, и комплекса физиотерапевтических процедур, способствовала восстановлению функционального состояния НМА после интенсивных физических нагрузок, а следовательно – профилактике развития деструктивно-дегенеративных заболеваний суставов, состояний переутомления, возникновения усталостных травм и повреждений ОДА спортсменов.

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±0,12 до 0,8±0,1, $p<0,04$), венозного оттока (с 30,7±6,6% до 24,7±5,1%, $p<0,05$) и микроциркуляции (с 0,3±0,02 до 0,47±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±8,2 Нм до 65,1±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±0,2 с до 1,99±0,14 с, $p<0,02$) и нормализации параметров артериального кровотока по данным реографического индекса с 2,14±0,33 до 1,17±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±2,0 м/с до 68,7±2,3 м/с, $p<0,05$), увеличению амплитуды (с 4,8±0,3мВ до 6,0±0,4 мВ, $p<0,05$), площади (с 15,8±1,1 мВ*мс до 21,8±1,7 мВ*мс, $p<0,04$), снижению латентности моторного ответа (с 4,1±0,3мс до 3,6±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

Методика восстановления ОДА спортсменов, включающая комплекс физиотерапевтических процедур и биоуправляемой механотерапии, направленной на оптимизацию мышечного баланса, может применяться в период учебно-тренировочных сборов в рамках медико-биологического сопровождения врачами спортивной медицины, травматологами-ортопедами, неврологами, терапевтами, физиотерапевтами, врачами ЛФК, реабилитологами.

Комплекс физиотерапевтических процедур рекомендуется проводить в следующем порядке с указанными параметрами:

1. Магнитотерапия – катушка индуктивности 600 мм, область воздействия – коленный и голеностопный суставы, время воздействия – 15 минут, плотность магнитного потока – 0,006 Тл, частота – 25 Гц.

2. Гидротерапия – четырехкамерная струйно-контрастная ванна для верхних и нижних конечностей: длительность сеанса – 10 минут, температура воды – 38^{o} и 14^{o}, время цикла – 45 секунд, скорость потока – 220 литров в минуту, давление – 1 атм.

3. Прессотерапия – режим «физиологической терапии», длительность сеанса – 30 минут, давление манжеты – 60 мм рт. ст.

Длительность курса физиотерапевтических процедур – 10 процедур ежедневно.

Перед проведением процедуры биоуправляемой механотерапии суставов нижних конечностей рекомендуется выполнить динамометрическое исследование в изокинетическом режиме с концентрическим сопротивлением.

Параметры биоуправляемой механотерапии голеностопного сустава: режим тренировки: изокинетический; профиль тренировки: синусоидальный; позиция спортсмена: лежа; ограничение движений: по скорости – 60^{o}/с; тип движения в суставе: сгибание, разгибание; амплитуда движения: задается индивидуально по результатам проведенной диагностической динамометрии (до 30^{o}); режим сопротивления: эксцентрический, концентрический; пределы крутящего момента:

300 Нм; количество повторений: 20 раз; перерыв между режимами: 15 секунд; время процедуры: 15-20 минут; дополнительные параметры тренировки: активация режима с БОС. Курс – 10 процедур ежедневно.

Разработанная методика восстановления ОДА, включающая комплекс физиотерапевтических процедур и биоуправляемую механотерапию, направленную на оптимизацию мышечного баланса, рекомендована к применению у спортсменов в период интенсивной тренировочной деятельности для повышения эффективности физической подготовки и профилактики развития усталостных травм и повреждений ОДА.

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 СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

БОС – биологическая обратная связь

ДЕ – двигательные единицы

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

ЦНС –центральная нервная система

ЭМГ – электромиография

ЭНМГ – электронейромиография

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абзалутдинов Д. М. Тренажёр для нейрореабилитации больных с двигательными нарушениями, вызванными травматической болезнью спинного мозга или инсультом / Д.М. Абзалутдинов //Медицинские технологии и оборудование. – 2019. – С. 11-13.

2. Акопян А.Л. Подготовка опорно-двигательного аппарата к повышенным нагрузкам и ее морфологический контроль у высококвалифицированных пловцов / А.Л. Акопян // автореф дис канд пед наук. – Москва– 1987. – С. 23.

3. Анарбаев А.К. Виды восстановительных средств спортсменов / А.К. Анарбаев, Е.Е. Сейдахметов, А. Халиллаев // Вестник современной науки. – 2016. – №. 6-2. – С. 26-29.

4. Арьков В.В. Нарушения биомеханики опорно-двигательного аппарата у спортсменов / В.В. Арьков, Н.В. Сичинава, В.А. Бадтиева, О.Н. Миленина, А.В. Пилиева // III конгресс ортобиология 2022 «От исследования к клинической практике». – 2022. – С. 80-81.

5. Арьков В.В. Применение комбинированной инъекционной терапии хондропротекторами для коррекции пателлофеморального болевого синдрома у спортсменов после реконструкции / В.В. Арьков, А.А. Дмитриев, П.Ю. Ершов, О.В. Кузнецов, О.Н. Миленин // Лечащий врач. – 2019. – №. 5. – С. 78.

6. Ачкасов Е.Е. Медико-биологические аспекты восстановления в профессиональном и любительском спорте / Е.Е. Ачкасов, Е.В. Машковский, Э.Н. Безуглов, К.А. Предатко // Медицинский вестник северного Кавказа. – 2018. – Т. 13. – №. 1.1. – С. 126-132.

7. Балданов В.Б. Применение магнитотерапии в травматологии / В.Б. Балданов, С.С. Ямпилов, Ж.Б. Цыбенов //Образование и наука. – 2021. – С. 66-71.

8. Башкин В.М. Системообразующие факторы индивидуальной адаптации организма спортсменов к тренировочным нагрузкам / В.М. Башкин // Ученые записки университета им. ПФ Лесгафта. – 2021. – №. 12 (202). – С. 26-29.

9. Бегун П.И. Модель передачи усилий от филаментов к сухожилиям и гипертрофия скелетных мышц / П.И. Бегун // Биотехносфера. – 2016. – №. 1 (43). – С. 39-43.

10. Беляева А.В. Спортивные травмы. Причины возникновения и профилактика / А.В. Беляева, А.С. Улаев //Проекты и программы в психологии, педагогике и образовании. – 2022. – С. 176-184.

11. Береснева К.Г. Особенности строения мышечных волокон у разных категорий атлетов / К.Г. Береснева, А.В. Спиридонова // Матрица научного познания. – 2021. – №. 7-2. – С. 65-68.

12. Бондаренко А.Е. Биомеханические параметры движения ноги на опоре при беге на короткие дистанции / А.Е. Бондаренко // Проблемы физической культуры и спорта в современных социально-экономических условиях. – 2020. – С. 8-11.

13. Бражник Л.И. Спортивная медицина и лечебная физическая культура / Л.И. Бражник // ББК 94.3 С23. – 2020. – С. 16.

14. Букреева Ю.А. Массаж как средство восстановления физической работоспособности пловцов / Ю.А. Букреева, Т.Н. Мостовая // Наука-2020. – 2017. – №. 1 (12). – С. 133-137.

15. Бурцев В.А. Методика предварительного разминочного массажа в велоспорте / В.А. Бурцев, Е.В. Бурцева, А.С. Мартынова // Известия Тульского государственного университета. Физическая культура. Спорт. – 2014. – №. 3. – С. 73-78.

16. Вадутов Р.Р. Крио-массаж в реабилитации спортсменов после оперативного лечения травм поясничного отдела позвоночника / Р.Р. Вадутов // Вестник восстановительной медицины. – 2019. – №. 2. – С. 66-68.

17. Ванюшин Ю.С. Адаптация кардиореспираторной системы спортсменов к двигательной деятельности / Ю.С. Ванюшин, Р.Р. Хайруллин, Д.Е. Елистратов, Н.А. Федоров, Н.Ф. Ишмухаметова // Теория и практика физической культуры. – 2020. – №. 2. – С. 30-32.

18. Высочин Ю.В. Тормозно–релаксационная функциональная система срочной адаптации и защиты организма от экстремальных воздействий при спортивной деятельности / Ю.В. Высочин // ПолесГУ. – 2012. – С.150-154.

19. Германов Г.Н. Изучение скорости распространения пульсовой волны как одной из характеристик периферической гемодинамики у юных и квалифицированных бегунов на средние дистанции / Г.Н. Германов, Ю.А. Купцов, Е.Г. Цуканова // Культура физическая и здоровье. – 2013. – №. 3. – С. 51-55.

20. Горохова Д.А. Применение ЛФК и средств срочной информации в комплексной реабилитации стрелков-спортсменов с остеохондрозом грудного отдела позвоночника / Д.А. Горохова // Проблемы развития физической культуры и спорта в новом тысячелетии. – 2015. – С. 391.

21. Гусинец Е.В. Управление тренировочным процессом квалифицированных бегунов на короткие дистанции на основе миометрических показателей мышечной системы / Е.В. Гусинец, В.Ф. Костюченко, Е.П. Врублевский // Ученые записки университета им. ПФ Лесгафта. – 2012. – №. 5 (87). – С. 30-34.

22. Даминов В.Д. Настоящее и будущее реабилитационной службы Пироговского центра / В.Д. Даминов, П.В. Ткаченко, И.Г. Горохова, Н.И. Слепнева, М.В. Даминов, А.В. Карташов, О.А. Баракшаева // Вестник Национального медико-хирургического Центра им. НИ Пирогова. – 2022. – Т. 17. – №. 4 Часть 1. –С.54-63.

23. Данилова О.А. Массаж как профилактика спортивных травм у спортсменов-легкоатлетов / О.А. Данилова, Ж.А. Жунисбекова, Н.О. Ордабаев, В.В. Есипов, И.А. Данилов, М.А. Керимбеков // Успехи современного естествознания. – 2015. – №. 1-4. – С. 687-691.

24. Двурекова Е.А. Генетические маркеры спортивных способностей у бегунов на короткие дистанции / Е.А. Двурекова, И.А. Денисова // Медико-биологические и педагогические основы адаптации, спортивной деятельности и здорового образа жизни. – 2020. – С. 41-46.

25. Демиденко М.О. Женский триатлон. Профилактика травматизма в годичном цикле подготовки / М.О. Демиденко, Ю.А. Попадюха // Велес. – 2016. – №. 4-2. – С. 158-162.

26. Демьянова Л.М. Комплексная система восстановления в спортивной подготовке / Л.М. Демьянова, А.М. Чубаров, Н.С. Кравец //Актуальные проблемы науки и техники. – 2020. – С. 1763-1765.

27. Елисеев Д.П. Взаимосвязь опорно-рессорных свойств стопы и функционального состояния бегунов на средние дистанции / Д.П. Елисеев, И.А. Черкашин // Современные проблемы физической культуры, спорта и молодежи. – 2018. – С. 160-163.

28. Епифанов А. В. Спортивная медицина / А.В. Епифанов, В.А. Епифанов, Э.И. Аухадеев, Р.А. Бодрова, В.С. Владимиров, Г.В. Владимирова, Ф.В. Тахавиева // Гэотар-медиа. – 2019. – 536 с.

29. Захарова С.И. Электромиографические особенности перенапряжения опорно-двигательной системы легкоатлетов / С.И. Захарова, А.В. Калинин // Ученые записки университета им. ПФ Лесгафта. – 2012. – №. 4 (86). – С. 43-48.

30. Зациорский В.М. Биомеханические свойства скелетных мышц (обзор: методы и результаты исследований) / В.М. Зациорский, А.С. Аруин // Теория и практика физической культуры. – 1978. – №. 9. – С. 21.

31. Зациорский В.М. Биомеханика двигательного аппарата человека /В.М. Зациорский, А.С. Аруин, В.Н. Селуянов // М.: Физкультура и спорт. – 1981. – Т. 143. – С. 96.

32. Кабаев Е.М. Возможности применения диагностическо-тренажерного комплекса с биологической обратной связью Con-trex в послеоперационной реабилитации при травмах плечевого сустава / Е.М. Кабаев, В.И. Трубников, А.Б. Малков // Медицина экстремальных ситуаций. – 2017. – №. 4 (62). – С. 56-62.

33. Калинина И.Н. Срочная адаптация системы кровообращения спортсменов с различным уровнем здоровья к кардиоваскулярным нагрузкам И.Н. Калинина // Прикладная спортивная наука. – 2018. – №. 1 (7). – С. 72-80.

34. Калюжин В.Г. Программа ЛФК и массажа при травмах крестообразной связки коленного сустава у спортсменов / В.Г. Калюжин, Ю.В. Зыбин // Материалы II Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Лечебная физическая культура: достижения и перспективы развития» (27-28 мая 2013г.) // Под общей редакцией Ивановой Н.Л., Козыревой О.В.– М.: ФГБОУ ВПО «РГУФКСМиТ», 2013. – 270с.: ил. – 2013. – С. 95-97.

35. Карева Н.А. Развитие физических качеств у футболистов на раннем этапе восстановления с использованием роботизированных механотренажеров / Н.А. Карева, Л.В. Капилевич // Современные вопросы биомедицины. – 2022. – Т. 6. – №. 4. – С. 301-307.

36. Кирьянова М.А. Обоснование методики комплексной оценки системы кровообращения у пловцов и легкоатлетов / М.А. Кирьянова, И.Н. Калинина // Научные труды Сибирского государственного университета физической культуры и спорта. – 2012. – С. 36-38.

37. Коротько С.В. Применение массажа для подготовки спортсменов и улучшения общего состояния организма / С.В. Коротько, А.С. Сукманюк, Л.А. Олейникова //Электронный сетевой политематический журнал" Научные труды КубГТУ". – 2019. – №. 3. – С. 279-291.

38. Корягина Ю.В. Технологии диагностики и восстановления опорно-двигательного аппарата, применяемые в медико-биологическом обеспечении спортсменов в период учебно-тренировочных сборов на специализированной спортивной базе / Ю.В. Корягина, С.В. Нопин, Г.Н. Тер-Акопов, С.М. Абуталимова // ББК 5.0 я73 Ф 50. – 2022. – С. 274.

39. 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 (14). – С. 109-126.

40. Корягина Ю.В. Медико-биологические средства повышения работоспособности и восстановления спортсменов / Ю.В. Корягина, Л.Г. Рогулева, Т.П. Замчий, К.С. Зайцев // Фундаментальные исследования. – 2013. – Т. 8. – №. 10. – С. 1753-1757.

41. Корягина Ю.В. Применение электронейромиографии в спортивной медицине /Ю.В. Корягина, Л.Г. Рогулева // Современные вопросы биомедицины. – 2018. – Т. 2. – №. 1. – С. 4-9.

42. Корягина Ю.В. Применение транскраниальной электростимуляции, эндомассажа и магнитного поля для срочного восстановления и посттравматической реабилитации спортсменов / Ю.В. Корягина, Г.Н. Тер-Акопов, С.В. Нопин, Л.Г. Рогулева, Е.В. Костюк // Теория и практика физической культуры. – 2019. – №. 1. – С. 20-22.

43. Корягина Ю.В. Технологии диагностики и восстановления опорно-двигательного аппарата, применяемые в медико-биологическом обеспечении спортсменов в период учебно-тренировочных сборов на специализированной спортивной базе / Ю.В. Корягина, С.В. Нопин, Г.Н. Тер-Акопов, С.М. Абуталимова //ББК 5.0 я73 Ф 50. – 2022. – С. 274.

44. Котенко К.В. Опыт применения комплексного подхода в реабилитации спортсменов с замедленной консолидацией переломов длинных трубчатых костей / К.В. Котенко, Н.Б. Корчажкина, А.А. Михайлова, М.С. Петрова, В.В. Портнов, Д.П. Данилова //Саратовский научно-медицинский журнал. – 2014. – Т. 10. – №. 4. – С. 891-893.

45. Красноперова Т.В. Особенности состояния нервно-мышечного аппарата у различных нозологических групп на начальном этапе подготовки в паралимпийских дисциплинах легкой атлетики / Т.В. Красноперова, Е.А. Киселева // Ученые записки университета им. ПФ Лесгафта. – 2020. – №. 4 (182). – С. 240-244.

46. Красовский В.Д. Программа профилактики травматизма коленного сустава у юных баскетболистов / В.Д. Красовский // магистерская диссертация. – 2017. – С. 167-175.

47. Кулибаба К.В. Современные аспекты лечения патологии стопы у легкоатлетов / К.В. Кулибаба, А.К. Василькин // Медицинский алфавит. – 2018. – Т. 3. – №. 27. – С. 62-63.

48. Леонова А.В. Роль физических упражнений в процессе восстановления / А.В. Леонова, Н.А. Шестаков // Москва. – 2021. – с.47.

49. Лискова А.С. Наш опыт лечения спортсменов с миофасциальным синдромом при повреждении связочного аппарата грудопоясничного отдела позвоночника /А.С. Лискова, А.В. Епифанов //Пироговский форум травматологов-ортопедов. – 2019. – С. 176-177.

50. Литвиченко Е.М. Физиологические эффекты применения" непрямого массажа" при реабилитации спортсменов / Е.М. Литвиченко, Е.В. Быков, М.В. Егоров // Научно-спортивный вестник Урала и Сибири. – 2017. – №. 1. – С. 48-56.

51. Лут Л.А. Оценка опорно-рессорных свойств стопы легкоатлетов-спринтеров / Л.А. Лут, К.Н. Сергиенко, А.А. Юрченко, А.И. Сторожик // Репозитарий Национального университета физического воспитания и спорта Украины. – 2011. – С. 270-273.

52. Лутков В.Ф. Современный подход к профилактике и реабилитации перенапряжения двигательной системы спортсменов / В.Ф. Лутков, Л.Л. Миллер, Г.И. Смирнов, Д.И. Шадрин // Теория и практика физической культуры. – 2021. – №. 12. – С. 68-70.

53. Лысенко Е.А. Скоростно-силовые возможности спортсменов как предиктор содержания в мышце быстрых мышечных волокон / Е.А. Лысенко, Т.Ф. Вепхвадзе, Е.М. Леднев, П.И. Бобылева, И.В. Федюшкина, Е.А. Семенова, Д.В. Попов // Физиология человека. – 2020. – Т. 46. – №. 6. – С. 121-128.

54. Манолаки В.В. Анатомо-физиологическое представление о мышечной системе в развитии силовых способностей борцов / В.В. Манолаки // Олимпийский спорт и спорт для всех. – 2020. – С. 448-456.

55. Марцинович Л.И. Подготовка спринтеров 2-го разряда в подготовительном периоде / Л.И. Марцинович // Витебск: ВГУ имени П. М. Машерова. – 2021. – С.56-61.

56. Миронов В.И. Развитие физиотерапевтической службы на черноморском побережье Кавказа / В.И. Миронов, Л.С. Ходасевич // Курортная медицина. – 2016. – №. 3. – С. 109-116.

57. Парфенов А.А. Санатории Карелии / А.А. Парфенов, А.В. Датий, В.И. Лимонов, А.В. Дубовской // Вестник восстановительной медицины. – 2019. – №. 5 (93). – С. 99-100.

58. Пискунов И.В. Кинематические и электромиографические параметры двойного бегового шага при беге с максимальной скоростью по прямой и виражу у спринтеров разной квалификации / И.В. Пискунов, Р.М. Городничев // Биомеханика двигательных действий и биомеханический контроль в спорте. – 2019. – С. 131-136.

59. Матишев А.А. Факторы риска хронического перенапряжения опорно-двигательного аппарата у юных бегунов / А.А. Матишев, С.М. Чернуха // Актуальные вопросы физической культуры и спорта. – 2016. – Т. 18. – №. 1. – С. 152-161.

60. Меерсон Ф.З. Физиология адаптационных процессов / Ф.З. Меерсон, М.Г. Пшенникова // – 1986.

61. Миленина А.И. Восстановительное лечение спортсменов с пателлофеморальным болевым синдромом методом селективной электростимуляции четырехглавой мышцы бедра и оценка его эффективности / А.И. Миленина // Автореф. дисс.… канд. мед. наук. – М. – 2011. – 22 с.

62. Мирошников А.Б. Влияние интервальной тренировки на гипертрофию мышц: поперечное исследование / А.Б. Мирошников, В.В. Волков, А.В. Смоленский // Вестник спортивной науки. – 2020. – №. 2. – С. 44-47.

63. Михайлова Е.А. Модуляция рефлекторной возбудимости а-мотонейронов спинного мозга у легкоатлетов на разных этапах тренировочного процесса / Е.А. Михайлова, В.Ю. Ершов // ПолесГУ – 2010. – С. 137-140.

64. Мутаева И.Ш. Методика совершенствования скоростно-силовых качеств студентов, занимающихся бегом на короткие дистанции / И.Ш. Мутаева, В.В. Иванов // Актуальные проблемы современного образования: опыт и инновации. – 2021. – С. 254-256.

65. Мякинченко Е.Б. Обсуждение «центральных» и «периферических» факторов аэробной производительности и реализационной эффективности в контексте специальной работоспособности спортсменов в видах спорта на выносливость (обзор литературы) / Е.Б. Мякинченко, А.С. Крючков, С.С. Миссина // Вестник спортивной науки. – 2020. – №. 4. – С. 41-47.

66. Негоденко Е.С. Вариативность движений голеностопа как фактор утомления бегунов / Е.С. Негоденко, Е.В. Медведева, Л.В. Капилевич // Теория и практика физической культуры. – 2022. – №. 12. – С. 42-43.

67. Никифоров Н.А. Влияние высокоинтенсивных интервальных тренировок на гипертрофию мышц спортсменов / Н.А. Никифоров, Е.Г. Кокорева // Физическая культура, спорт, туризм: наука, образование, технологии. – 2021. – С. 352-354.

68. Оспищева Е.Г. Перенапряжение опорно-двигательного аппарата в условиях интенсивных нагрузок / Е.Г. Оспищева, Ю.А. Шипилова // Молодой ученый. – 2015. – №. 15. – С. 235-238.

69. Платонов А.Г. Гидротерапия-как средство восстановления для спортсменов / А. Г. Платонов // Актуальные проблемы теории и практики физической культуры, спорта и туризма. – 2017. – С. 111-115.

70. Полуэктов Е.С. Влияние физических нагрузок на состояние опорно-двигательного аппарата бегунов на средние дистанции / Е.С. Полуэктов //Ученые записки университета им. ПФ Лесгафта. – 2013. – №. 12 (106). – С. 120-123.

71. Попов Г.И. Влияние магнитной стимуляции на аэробные возможности мышц / Г.И. Попов, Э.А. Малхасян, В.С. Маркарян, Е.М. Калинин, В.Н. Селуянов // Вестник Московского университета. Серия 23. Антропология. – 2013. – №. 2. – С. 106-113.

72. Попова Л.С. Выявление перегрузки опорно-двигательного аппарата у легкоатлетов и любителей при нарушении техники в длительном беге по кругу в манежах / Л.С. Попова, С.С. Дедюкин, Н.П. Олесов //Актуальные проблемы физической культуры и спорта. – 2016. – С. 584-586.

73. Попова И.Е. Особенности региональной гемодинамики у легкоатлетов-бегунов на средние дистанции / И.Е. Попова, Г.Н. Германов, Е.Г. Цуканова //Ученые записки университета им. ПФ Лесгафта. – 2010. – №. 2 (60). – С.104-112.

74. Попова И.Е. Нервно-мышечный аппарат и сегментарный состав конечностей квалифицированных прыгунов в воду / И.Е. Попова, А.В. Сысоев // Ученые записки университета им. ПФ Лесгафта. – 2020. – №. 9 (187). – С. 293-297.

75. Разваляева Д.В. Сравнительная оценка эффективности консервативной и оперативной тактики лечения пациентов после травмы ПКС с использованием роботизированной механотерапевтической системы" CON-TREX" / Д.В. Разваляева, А.С. Разваляев, М.А. Еремушкин, Е.М. Стяжкина // Вестник восстановительной медицины. – 2019. – №. 5 (93). – С. 35-39.

76. Разинкин С.М. Физиолого-гигиеническое обоснование оптимизации процессов адаптации спортсменов к условиям Рио-де-Жанейро (обзор литературы) / С.М. Разинкин, И.А. Берзин, В.В. Петрова, А.С. Самойлов, П.А. Фомкин // Медицина экстремальных ситуаций. – 2015. – №. 4 (54). – С. 22-32.

77. Рогулева Л.Г. Влияние транскраниальной электростимуляции на функциональное состояние спортсменов, занимающихся борьбой и силовыми

видами спорта /Л.Г. Рогулева // автореф дис канд мед наук. – Сиб. гос. мед. ун-т МЗ РФ. – 2016. – С. 22.

78. Румянцева Э.Р. Особенности адаптации нервно-мышечного аппарата бадминтонистов к асимметричным нагрузкам в тренировочном процессе / Э.Р. Румянцева, Е.В. Тарасова // Человек. Спорт. Медицина. – 2020. – Т. 20. – №. 4. – С. 69-77.

79. Самсонова А.В. Методы оценки композиции мышечных волокон в скелетных мышцах человека / А.В. Самсонова, И.Э. Барникова, М.А. Борисевич, А.В. Вахнин // Труды кафедры биомеханики университета имени ПФ Лесгафта. – 2012. – №. 6. – С. 18-27.

80. Сафонов Л.В. Электромиостимуляция в комплексной терапии нарушения венозного кровообращения нижних конечностей, возникающего у высококвалифицированных спортсменов вследствие длительного авиаперелета / Л.В. Сафонов, А.П. Козловский, С.Н. Шурыгин // Вестник спортивной науки. – 2018. – №. 4. – С. 36-39.

81. Сафонов Л.В. Применение прессотерапии для профилактики нарушений венозного кровообращения и ускорения локального восстановления мышц нижних конечностей у спортсменов / Л.В. Сафонов // Вестник спортивной науки. – 2012. – №. 5. – С. 30-33.

82. Семочкина Е. Ю. Лимфодренажный массаж в спорте / Е.Ю. Семочкина // Студенчество России: век XXI. – 2019. – С. 140-144.

83. Семченко А.А. Особенности функционального состояния организма спортсменов-барьеристов при адаптации к специфической мышечной деятельности / А.А. Семченко // автореф. дис. на соиск. канд. биолог. наук. – Томск. – 2019. – 25с.

84. Скрыгин С.В. Адаптация опорно-двигательного аппарата юных бегунов на короткие дистанции к интенсивным нагрузкам специальной направленности / С.В. Скрыгин // Медико-биологические и педагогические основы

адаптации, спортивной деятельности и здорового образа жизни. – 2016. – С. 227-230.

85. Смирнова Н.Ю. Роботизированный биомеханический диагностический комплекс Con-trex: новейший баллистический режим работы у пациентов с гонартрозом 2 степени / Н.Ю. Смирнова, М.А. Еремушкин // Материалы научно-практического конгресса Научно-педагогические школы в сфере физической культуры и спорта. – Москва. – 2018. – С. 64-67.

86. Соколов В.В. Использование восстановительных средств и методов в современной системе подготовки спортсменов / В.В. Соколов, О.В. Четайкина // Наука и прогресс: время перемен. – 2021. – С. 113-118.

87. Солодков А.С. Особенности утомления и восстановления спортсменов / А.С. Солодков // Ученые записки университета им. ПФ Лесгафта. – 2013. – №. 6 (100). – С. 132-143.

88. Сорокин А.А. Особенности техники бега на средние и длинные дистанции / А. А. Сорокин //Воспитание и обучение: теория, методика и практика. – 2015. – С. 317-320.

89. Степанов В.С. Центр «симметрии-асимметрии» тела (ЦСА) / В.С. Степанов // Теория и практика физической культуры. – 2006. – №. 10. – С. 58-61.

90. Тапхаров М.В. Массаж и самомассаж как основное средство восстановления организма после физической нагрузки / М.В. Тапхаров // Вестник Бурятского государственного университета. Педагогика. Филология. Философия. – 2014. – №. 13-1. – С. 169-173.

91. Тарасов А.В. Травмы и заболевания опорно-двигательного аппарата у спортсменов (обзор литературы) / А.В. Тарасов, О.И. Беличенко, А.В. Смоленский // Терапевт. – 2019. – №. 5. – С. 4-14.

92. Тенькова А.Н. Влияние систематических физических нагрузок на коленные суставы у спортсменов-«колено бегуна» /А.Н. Тенькова, Т.В. Чуева, К.А. Лукашкова // Интегративные тенденции в медицине и образовании. – 2021. – Т. 3. – С. 79-81.

93. Тер-Акопов Г.Н. Новые технологии восстановления спортсменов на учебно-тренировочной базе в условиях среднегорья / Г.Н. Тер-Акопов // Современные вопросы биомедицины. – 2017. – Т. 1. – №. 1. – С. 4-16.

94. Туровский В.Ф. Гипероксическое воздействие как средство оптимизации функционального состояния футболистов / В.Ф. Туровский, В.А. Блинов // Университетский спорт: здоровье и процветание нации. – 2015. – С. 194-197.

95. Тюпа В.В. Энергообеспечение мышечной работы в беге / В.В. Тюпа, О.Д. Михайлова, О.Н. Мнухина // Инновационные технологии в спорте и физическом воспитании подрастающего поколения. – 2020. – С. 145-150.

96. Уйба В.В. Биомеханическая роботизированная механотерапия и ремоделирование в комплексной послеоперационной реабилитации травм плечевого сустава / В.В. Уйба, Б.В. Баранкин, Е.М. Кабаев, К.В. Симонов //Медицина экстремальных ситуаций. – 2020. – Т. 22. – №. 1. – С. 28-38.

97. Хадарцев А.А. Электролазерная миостимуляция и лазерофорез биологически активных веществ в спорте (обзор) / А.А. Хадарцев, Н.А. Фудин, С.В. Москвин // Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. – 2016. – Т. 93. – №. 2. – С. 59-67.

98. Хурамшин И.Г. Сочетание тренировочных нагрузок и средств восстановления в тренировке бегунов на средние дистанции / И.Г. Хурамшин, С.С. Русакова // Известия Тульского государственного университета. Физическая культура. Спорт. – 2016. – №. 2. – С. 189-195.

99. Цветков М.С. Н-рефлекс и М-ответ в связи с особенностями свойств мышц и их резервных возможностей у бегунов на короткие и длинные дистанции / М.С. Цветков // Вестник Новгородского гос. ун-та. Сер. Мед. науки. – 1998. – №. 7. – С. 19-21.

100. Черницына Н.В. Остеометрическое исследование костей нижних конечностей спортсменов различных специализаций / Н.В. Черницына // Научные исследования: от теории к практике. – 2015. – №. 5. – С. 72-73.

101. Шветский Ф.М. Опыт применения ингаляций ксенон-кислородной смеси в общем комплексе медико-восстановительных мероприятий у спортсменов высшего спортивного мастерства / Ф.М. Шветский, Е.Е. Ачкасов, И.Н. Рощин, А.Ю. Сиденков, А.С. Кальманов, Е.Б. Акимов // Инновационные технологии в подготовке спортсменов. Материалы научно-практической конференции – М. – 2014. – С. 87-96.

102. Шевчук М.В. Миостимуляция как средство восстановления легкоатлета после физической тренировки в беге на длинные дистанции в подготовительном периоде / М.В. Шевчук // Военный институт физической культуры-центр подготовки специалистов силовых структур: проблемы, опыт, перспективы. – 2019. – С. 166-171.

103. Юшковская О.Г. «Беговые травмы», профилактика и реабилитация / О.Г. Юшковская, С.И. Степаненко // – 2018. – С.158-161.

104. Akrami M. Subject-specific finite element modelling of the human foot complex during walking: sensitivity analysis of material properties, boundary and loading conditions / M. Akrami, Z. Qian, Z. Zou, D. Howard, C.J. Nester, L. Ren //Biomechanics and modeling in mechanobiology. – 2018. – V. 17. – P. 559-576.

105. Akyildiz C. The effects of lower extremity static muscle fatigue on balance components / C. Akyildiz, H. Sözen //Sport Sciences for Health. – 2022. – P. 1-12.

106. Andersen J.L. Muscle, genes and athletic performance /J.L. Andersen, P. Schjerling, B. Saltin //Scientific American. – 2000. – V. 283. – №. 3. – P. 48-55.

107. Andrade M.S. Isokinetic muscular strength and aerobic physical fitness in recreational long-distance runners: a cross-sectional study / M.S. Andrade, W.A. Silva, C.A. de Lira, N.C. Mascarin, R.L. Vancini, P.T. Nikolaidis, B. Knechtle // Journal of Strength and Conditioning Research. – 2022. – V. 36. – №. 3. – P. 73-80.

108. Arokoski J.P.A. Normal and pathological adaptations of articular cartilage to joint loading / J.P.A. Arokoski, J.S. Jurvelin, U. Väätäinen, H.J. Helminen //Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports: Review article. – 2000. – V. 10. – №. 4. – P. 186-198.

109. Ball D. Training and overload: adaptation and failure in the musculoskeletal system / D. Ball, L. Herrington // Journal of Bodywork and movement Therapies. – 2018. – V. 2. – №. 3. – P. 161-167.

110. Boutcher Y.N. Limb vasodilatory capacity and venous capacitance of trained runners and untrained males / Y.N. Boutcher, S.H. Boutcher // European journal of applied physiology. – 2021. – V. 95. – №. 1. – P. 83-87.

111. Breen D. The clinical assessment of hip muscle strength in professional rugby union players / D. Breen, G. Farrell, E. Delahunt // Physical Therapy in Sport. – 2021. – V. 52. – P. 115-120.

112. Briggs M.S. Relationships between standing frontal-plane knee alignment and dynamic knee joint loading during walking and jogging in youth who are obese / M.S. Briggs, S. Bout-Tabaku, M.P. McNally, A.M. Chaudhari, T.M. Best, L.C. Schmitt // Physical therapy. – 2017. – V. 97. – №. 5. – P. 571-580.

113. Brindle R.A. Relationships of hip abductor strength, neuromuscular control, and hip width to femoral length ratio with peak hip adduction angle in healthy female runners / R.A. Brindle, D.D. Ebaugh, J.D. Willson, M.A. Finley, P.A. Shewokis, C.E. Milner // Journal of Sports Sciences. – 2020. – V. 38. – №. 20. – P. 2291-2297.

114. Chen T.L.W. Ultrasound elastographic assessment of plantar fascia in runners using rearfoot strike and forefoot strike / T.L.W. Chen, C.E. Agresta, D.B. Lipps, S.G. Provenzano, J.F. Hafer, D.W.C. Wong, R.F. Zernicke // Journal of biomechanics. – 2019. – V. 89. – P. 65-71.

115. Cheung V.C.K. Plasticity of muscle synergies through fractionation and merging during development and training of human runners / V.C. Cheung, B.M. Cheung, J.H. Zhang, Z.Y. Chan, S.C. Ha, C.Y. Chen, R.T. Cheung // Nature communications. – 2020. – V. 11. – №. 1. – P. 4356.

116. Clark K.P. «Whip from the hip»: thigh angular motion, ground contact mechanics, and running speed / K.P. Clark, C.R. Meng, D.J. Stearne // Biology open. – 2020. – V. 9. – №. 10. – P. bio053546.

117. Comyns T.M. An investigation into the recovery process of a maximum stretch-shortening cycle fatigue protocol on drop and rebound jumps / T.M. Comyns, A.J. Harrison, L.K. Hennessy //The Journal of Strength & Conditioning Research. – 2011. – V. 25. – №. 8. – P. 2177-2184.

118. Cullen M.F.L. Passive recovery strategies after exercise: a narrative literature review of the current evidence / M.F.L. Cullen, G.A. Casazza, B.A. Davis // Current Sports Medicine Reports. – 2021. – V. 20. – №. 7. – P. 351-358.

119. Dawadi S. Morbidity among athletes presenting for medical care during 3 Iterations of an Ultratrail race in the Himalayas / S. Dawadi, B. Basyal, Y. Subedi // Wilderness & Environmental Medicine. – 2020. – V. 31. – №. 4. – P. 437-440.

120. Derrick T.R. ISB recommendations on the reporting of intersegmental forces and moments during human motion analysis / T.R. Derrick, A.J. van den Bogert, A. Cereatti, R. Dumas, S. Fantozzi, A. Leardini // Journal of biomechanics. – 2020. – V. 99. – P. 109533.

121. Dewolf A.H. The rebound of the body during uphill and downhill running at different speeds / A.H. Dewolf, L.E. Peñailillo, P.A. Willems // Journal of Experimental Biology. – 2016. – V. 219. – №. 15. – P. 2276-2288.

122. Dimcheva M. Gastrocnemius muscle contraction and its role in orthostatic anti-gravity adjustment–the effects of body mass index /M. Dimcheva, S. Karakuneva, E. Titianova // Open Access Macedonian Journal of Medical Sciences. – 2022. – V. 10. – №. B. – P. 658-662.

123. Ding A. A systematic review of fasciotomy in chronic exertional compartment syndrome / A. Ding, M. Machin, S. Onida, A.H. Davies // Journal of Vascular Surgery. – 2020. – V. 72. – №. 5. – P. 1802-1812.

124. Dorschky E. Optimal control simulation predicts effects of midsole materials on energy cost of running / E. Dorschky, D. Krüger, N. Kurfess, H. Schlarb, S. Wartzack, B.M. Eskofier, A.J. van den Bogert // Computer methods in biomechanics and biomedical engineering. – 2019. – V. 22. – №. 8. – P. 869-879.

125. Dorschky E. Estimation of gait kinematics and kinetics from inertial sensor data using optimal control of musculoskeletal models / E. Dorschky, D. Krüger, N. Kurfess, H. Schlarb, S. Wartzack, B.M. Eskofier, A.J. van den Bogert // Journal of biomechanics. – 2019. – V. 95. – P. 109278.

126. Edouard P. Static and dynamic shoulder stabilizer adaptations in javelin throwers: a preliminary study / P. Edouard, A. Damotte, G. Lance, F. Degache, P. Calmels // Isokinetics and Exercise Science. – 2013. – V. 21. – №. 1. – P. 47-55.

127. Epishev V.V. Postural balance in middle-distance runners / V.V. Epishev, K.E. Ryabina, A.P. Isaev, V.V. Erlikh // Russian Journal of Biomechanics. – 2017. – V. 21. – №. 2. – P. 144-154.

128. Ezati M. A review of simulation methods for human movement dynamics with emphasis on gait / M. Ezati, B. Ghannadi, J. McPhee // Multibody System Dynamics. – 2019. – V. 47. – P. 265-292.

129. Falisse A. Algorithmic differentiation improves the computational efficiency of OpenSim-based trajectory optimization of human movement / A. Falisse, G. Serrancolí, C.L. Dembia, J. Gillis, F. De Groote // PLoS One. – 2019. – V. 14. – №. 10. – P. e0217730.

130. Falisse A. Rapid predictive simulations with complex musculoskeletal models suggest that diverse healthy and pathological human gaits can emerge from similar control strategies / A. Falisse, G. Serrancolí, C.L. Dembia, J. Gillis, I. Jonkers, F. De Groote // Journal of The Royal Society Interface. – 2019. – V. 16. – №. 157. – P. 20190402.

131. Faulkner J.A. Power output of fast and slow fibers from human skeletal muscles / J.A. Faulkner // Human muscle power. – 1986. – P. 172-186.

132. Friedmann-Bette B. Effects of strength training with eccentric overload on muscle adaptation in male athletes / B. Friedmann-Bette, T. Bauer, R. Kinscherf, S. Vorwald, K. Klute, D. Bischoff, R. Billeter // European journal of applied physiology. – 2010. – V. 108. – P. 821-836.

133. Frese F. Effects of repetitive training at low altitude on erythropoiesis in 400 and 800 m runners / F. Frese, B. Friedmann-Bette //International journal of sports medicine. – 2010. – V. 31. – №. 06. – P. 382-388.

134. Gadea F. Knee pain after anterior cruciate ligament reconstruction: evaluation of a rehabilitation protocol / F. Gadea, D. Monnot, B. Quélard, R. Mortati, M. Thaunat, J.M. Fayard, B. Sonnery-Cottet // European Journal of Orthopaedic Surgery & Traumatology. – 2014. – V. 24. – P. 789-795.

135. Gajda R. Right knee – the weakest point of the best ultramarathon runners of the world? A case study /R. Gajda, P. Walasek, M. Jarmuszewski //International Journal of Environmental Research and Public Health. – 2020. – V. 17. – №. 16. – P. 5955.

136. Giandolini M. Foot strike pattern differently affects the axial and transverse components of shock acceleration and attenuation in downhill trail running / M. Giandolini, N. Horvais, J. Rossi, G.Y. Millet, P. Samozino, J.B. Morin // Journal of biomechanics. – 2016. – V. 49. – №. 9. – P. 1765-1771.

137. Gill S.K. Circulatory endotoxin concentration and cytokine profile in response to exertional-heat stress during a multi-stage ultra-marathon competition / S.K. Gill, A. Teixeira, L. Rama, F. Rosado, J. Hankey, V. Scheer, R.J. Costa // Exercise immunology review. – 2015. – V. 21. – №. 6. – P. 164-171.

138. Giovanelli N. Changes in running mechanics during a 6-hour running race / N. Giovanelli, P. Taboga, S. Lazzer // International Journal of Sports Physiology and Performance. – 2017. – V. 12. – №. 5. – P. 642-647.

139. Granacher U. Effects of resistance training in youth athletes on muscular fitness and athletic performance: a conceptual model for long-term athlete development / U. Granacher, M. Lesinski, D. Büsch, T. Muehlbauer, O. Prieske, C. Puta, D.G. Behm // Frontiers in physiology. – 2016. – P. 164.

140. Hamner S.R. Muscle contributions to fore-aft and vertical body mass center accelerations over a range of running speeds /S.R. Hamner, S.L. Delp // Journal of biomechanics. – 2013. – V. 46. – №. 4. – P. 780-787.

141. Hespanhol L.C. Effectiveness of online tailored advice to prevent running-related injuries and promote preventive behaviour in Dutch trail runners: a pragmatic randomised controlled trial / L.C. Hespanhol, W. van Mechelen, E. Verhagen // British journal of sports medicine. – 2018. – V. 52. – №. 13. – P. 851-858.

142. Hoffman M.D. Health and exercise-related medical issues among 1,212 ultramarathon runners: baseline findings from the ultrarunners longitudinal tracking (ULTRA) Study / M.D. Hoffman, E. Krishnan // PloS one. – 2014. – V. 9. – №. 1. – P. e83867.

143. Hollander K. Sex-specific differences in running injuries: a systematic review with meta-analysis and meta-regression / K. Hollander, A.L. Rahlf, J. Wilke, C. Edler, S. Steib, A. Junge, A. Zech // Sports Medicine. – 2021. – V. 51. – P. 1011-1039.

144. Hottenrott K. Effects of an individualized and time based training program on physical fitness and mood states in recreational endurance runners / K. Hottenrott, S. Ludyga, T. Gronwald, S. Schulze // American Journal of Sport Science. – 2014. – V. 2. – №. 5. – P. 131-137.

145. Hung M.H. Effects of the direction of Kinesio taping on sensation and postural control before and after muscle fatigue in healthy athletes /M.H. Hung, H.Y. Chen, Y.C. Chang, C.W. Chiu, H.Y. Chang // Scientific Reports. – 2023. – V. 13. – №. 1. – P. 1282.

146. Huxley D.J. An examination of the training profiles and injuries in elite youth track and field athletes / D.J. Huxley, D. O'Connor, P.A. Healey // European journal of sport science. – 2014. – V. 14. – №. 2. – P. 185-192.

147. Jiang C. Determination of biomechanical differences between elite and novice San Shou female athletes / C. Jiang, M.W. Olson, L. Li // Journal of Exercise Science & Fitness. – 2013. – V. 11. – №. 1. – P. 25-28.

148. Jiang Y. Synthesis of biologically realistic human motion using joint torque actuation / Y. Jiang, T. Van Wouwe, F. De Groote, C. Liu // ACM Transactions On Graphics (TOG). – 2019. – V. 38. – №. 4. – P. 1-12.

149. Keles S.B. Eccentric/concentric training of ankle evertor and dorsiflexors in recreational athletes: muscle latency and strength / S.B. Keles, U. Sekir, H. Gur, B. Akova //Scandinavian journal of medicine & science in sports. – 2014. – V. 24. – №. 1. – P. 29-38.

150. Knechtle B. Physiology and pathophysiology in ultra-marathon running / B.Knechtle, P.T. Nikolaidis // Frontiers in physiology. – 2018. – P. 634.

151. Knechtle B. Wie ungesund ist ein Ultramarathon? / B. Knechtle, P.T. Nikolaidis // Praxis. – 2018. – P.369-387.

152. Knechtle B. Participation and performance trends in the oldest 100-km ultramarathon in the world / B. Knechtle, V. Scheer, P.T. Nikolaidis, C.V. Sousa //International journal of environmental research and public health. – 2020. – V. 17. – №. 5. – P. 1719.

153. Krabak B.J. Youth distance running: strategies for training and injury reduction / B.J. Krabak, A.S.Tenforde, I.S. Davis, M. Fredericson, M.A. Harrast, P. d'Hemecourt, W.O. Roberts // Current sports medicine reports. – 2019. – V. 18. – №. 2. – P. 53-59.

154. Kramer J. Knee flexor and extensor strength during concentric and eccentric muscle actions after anterior cruciate ligament reconstruction using the semitendinosus tendon and ligament augmentation device / J. Kramer, D. Nusca, P. Fowler, S. Webster-Bogaert // The American journal of sports medicine. – 1993. – V. 21. – №. 2. – P. 285-291.

155. Koelewijn A. D. A solution method for predictive simulations in a stochastic environment / A.D. Koelewijn, A. J. van den Bogert // Journal of biomechanics. – 2020. – V. 104. – P. 109759.

156. Kubo K. Relationship between elastic properties of tendon structures and performance in long distance runners / K. Kubo, D. Miyazaki, S. Shimoju, N. Tsunoda // European journal of applied physiology. – 2015. – V. 115. – №. 8. – P. 1725-1733.

157. Larson P. Foot strike patterns of recreational and sub-elite runners in a long-distance road race / P. Larson, E. Higgins, J. Kaminski, T. Decker, J. Preble, D. Lyons, A. Normile // Journal of sports sciences. – 2011. – V. 29. – №. 15. – P. 1665-1673.

158. Lau K.K.L. Effectiveness of taping on functional performance in elite athletes: A systematic review / K.K.L. Lau, K.C.C. Cheng // Journal of Biomechanics. – 2019. – V. 90. – P. 16-23.

159. Lee S. Scalable muscle-actuated human simulation and control / S. Lee, M. Park, K. Lee, J. Lee // ACM Transactions On Graphics (TOG). – 2019. – V. 38. – №. 4. – P. 1-13.

160. Lertwanich P. Difference in isokinetic strength of the muscles around dominant and nondominant shoulders /P. Lertwanich, C. Lamsam, T. Kulthanan //Journal-medical association of Thailand. – 2016. – V. 89. – №. 7. – P. 948.

161. Longman D.P. Human athletic paleobiology; using sport as a model to investigate human evolutionary adaptation / D.P. Longman, J.C.K. Wells, J.T. Stock // American Journal of Physical Anthropology. – 2020. – V. 171. – P. 42-59.

162. Liew B.X.W. Effects of two neuromuscular training programs on running biomechanics with load carriage: a study protocol for a randomised controlled trial / B. X. Liew, S. Morris, J.W. Keogh, B. Appleby, K. Netto // BMC musculoskeletal disorders. – 2016. – V. 17. – №. 1. – P. 1-10.

163. Lin Y.C. Predictive simulations of neuromuscular coordination and joint-contact loading in human gait / Y.C. Lin, J.P. Walter, M.G. Pandy // Annals of biomedical engineering. – 2018. – V. 46. – P. 1216-1227.

164. Lin Y.C. Three-dimensional data-tracking dynamic optimization simulations of human locomotion generated by direct collocation /Y.C. Lin, M.G. Pandy //Journal of biomechanics. – 2017. – V. 59. – P. 1-8.

165. Maestroni L. The benefits of strength training on musculoskeletal system health: practical applications for interdisciplinary care / L. Maestroni, P. Read, C. Bishop, K. Papadopoulos, T.J. Suchomel, P. Comfort, A. Turner // Sports Medicine. – 2020. – V. 50. – №. 8. – P. 1431-1450.

166. Marigold D.S. Adapting locomotion to different surface compliances: neuromuscular responses and changes in movement dynamics / D.S. Marigold, A.E. Patla // Journal of neurophysiology. – 2005. – V. 94. – №. 3. – P. 1733-1750.

167. Morin J.B. Sprint acceleration mechanics: the major role of hamstrings in horizontal force production / J.B. Morin, P. Gimenez, P. Edouard, P. Arnal, P. Jiménez-Reyes, P. Samozino, J. Mendiguchia // Frontiers in physiology. – 2015. – V. 6. – P. 404.

168. McDonald K. A. Optimization in human walking: Decoupling whole-body energetics and local muscle effort / K.A. McDonald, A. Hieronymi, J. P. Cusumano, J. Rubenson // ISB/ASB Conference 2019. – 2019. – P. 218-226.

169. Mersmann F. Prevention of strain-induced impairments of patellar tendon micromorphology in adolescent athletes /F. Mersmann, T. Domroes, N. Pentidis, M.S. Tsai, S. Bohm, A. Schroll, A. Arampatzis // Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports. – 2021. – V. 31. – №. 8. – P. 1708-1718.

170. Morris A. Hamstring/quadriceps strength ratios in collegiate middle-distance and distance runners / A. Morris, L. Lussier, G. Bell, J. Dooley // The Physician and sportsmedicine. – 1983. – V. 11. – №. 10. – P. 71-77.

171. Nedergård H. Effect of robotic-assisted gait training on objective biomechanical measures of gait in persons post-stroke: a systematic review and meta-analysis / H. Nedergård, A. Arumugam, M. Sandlund, A. Brråndal, C.K. Häger // Journal of Neuroengineering and Rehabilitation. – 2021. – V. 18. – №. 1. – P. 1-22.

172. Nguyen V.Q. Bilevel optimization for cost function determination in dynamic simulation of human gait / V.Q. Nguyen, R.T. Johnson, F.C. Sup, B.R. Umberger // IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering. – 2019. – V. 27. – №. 7. – P. 1426-1435.

173. Neufeld S.K. Plantar fasciitis: evaluation and treatment / S.K. Neufeld, R. Cerrato // JAAOS-Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons. – 2008. – V. 16. – №. 6. – P. 338-346.

174. Nielsen R.O. A prospective study on time to recovery in 254 injured novice runners / R.O. Nielsen, L. Rønnow, S. Rasmussen, M. Lind // PloS one. – 2014. – V. 9. – №. 6. – P. e99877.

175. O'Loughlin E. Different predictor variables for women and men in ultra-marathon running—the wellington urban ultramarathon 2018 / E. O'Loughlin, P.T. Nikolaidis, T. Rosemann, B. Knechtle //International journal of environmental research and public health. – 2019. – V. 16. – №. 10. – P. 1844.

176. Park J.M. Acute effect of taping on plantar pressure characteristics in athletes with exercise-induced leg pain: a description and comparison of groups / J.M. Park, T. Kim // The Physician and sports medicine. – 2019. – V. 47. – №. 2. – P. 212-219.

177. Petraglia F. Plantar fasciitis in athletes: diagnostic and treatment strategies. A systematic review / F. Petraglia, I. Ramazzina, C. Costantino // Muscles, ligaments and tendons journal. – 2017. – V. 7. – №. 1. – P. 107.

178. Ribeiro A.P. Dynamic patterns of forces and loading rate in runners with unilateral plantar fasciitis: a cross-sectional study / A.P. Ribeiro, S.M.A. João, R.C. Dinato, V.D. Tessutti, I.C.N. Sacco // PLoS One. – 2015. – V. 10. – №. 9. – P. e0136971.

179. Scheer V. Musculoskeletal injuries in ultra-endurance running: a scoping review / V. Scheer, B.J. Krabak // Frontiers in Physiology. – 2021. – V. 12. – P. 664071.

180. Scheer B.V. Ultramarathon running injuries / B.V. Scheer, D.A. Murray, M.N. Doral, J. Karlsson // Sports injuries. – 2015. – P. 2889-2898.

181. Scheer V. Long-term health issues in ultraendurance runners: should we be concerned? / V. Scheer, D. Rojas-Valverde //BMJ Open Sport & Exercise Medicine. – 2021. – V. 7. – №. 3. – P. e001131.

182. Scheer V. Defining off-road running: a position statement from the Ultra Sports Science Foundation / V. Scheer, P. Basset, N. Giovanelli, G. Vernillo, G. Millet R.J. Costa //International journal of sports medicine. – 2020. – V. 41. – №. 05. – P. 275-284.

183. Scheer V. Changes in running economy during a 65-km ultramarathon / V. Scheer, S. Vieluf, L. Cramer, R. Jakobsmeyer, H.C. Heitkamp //Frontiers in Physiology. – 2018. – V. 9. – P. 1809-1816.

184. Scheer V. The impact of the COVID-19 pandemic on endurance and ultra-endurance running / V. Scheer, D. Valero, E. Villiger, T. Rosemann, B. Knechtle // Medicina. – 2021. – V. 57. – №. 1. – P. 52.

185. Somov D. Recovery of anti-gravity muscles in patients with consequences of limb injury / D. Somov, M.R. Makarova, E.A. Maiorov // Russian Journal of Physiotherapy, Balneology and Rehabilitation. – 2022. – V. 21. – №. 4. – P. 16-24.

186. Sulowska I. The influence of plantar short foot muscle exercises on the lower extremity muscle strength and power in proximal segments of the kinematic chain in long-distance runners / I. Sulowska, A. Mika, Ł. Oleksy, A. Stolarczyk //BioMed research international. – 2019. – V. 2019. – №. 6. – P. 131-145.

187. Suter D. Even pacing is associated with faster finishing times in ultramarathon distance trail running—the “ultra-trail du Mont Blanc” 2008–2019 / D. Suter, C.V. Sousa, L. Hill, V. Scheer, P.T. Nikolaidis, B. Knechtle // International journal of environmental research and public health. – 2020. – V. 17. – №. 19. – P. 7074.

188. Taboga P. Modelling the effect of curves on distance running performance / P. Taboga, R. Kram //PeerJ. – 2019. – V. 7. – P. e8222.

189. Tenforde A.S. Recommendations to optimize health in youth runners /A.S. Tenforde, W.O. Roberts, B.J. Krabak, I.S. Davis, M. Fredericson, A.C. Luke, K.E. Ackerman // Strength & Conditioning Journal. – 2020. – V. 42. – №. 1. – P. 76-82.

190. Tenforde A.S. Bone stress injuries in runners / A.S. Tenforde, E. Kraus, M. Fredericson // Physical Medicine and Rehabilitation Clinics. – 2016. – V. 27. – №. 1. – P. 139-149.

191. Tiller N.B. Do sex differences in physiology confer a female advantage in ultra-endurance sport? / N.B. Tiller, K.J. Elliott-Sale, B. Knechtle, P.B. Wilson, J.D. Roberts, G.Y. Millet // Sports Medicine. – 2021. – V. 51. – P. 895-915.

192. Vernillo G. Biomechanics and physiology of uphill and downhill running / G. Vernillo, M. Giandolini, W.B. Edwards, J.B. Morin, P. Samozino, N. Horvais, G.Y. Millet // Sports Medicine. – 2017. – V. 47. – P. 615-629.

193. Vernillo G. Injury and illness rates during ultratrail running / G. Vernillo, M. Giandolini, W.B. Edwards, J.B. Morin, P. Samozino, N. Horvais, G.Y. Millet // International journal of sports medicine. – 2016. – V. 37. – №. 07. – P. 565-569.

194. Vlahek P. Elite 100-km road ultramarathon runners: characteristics and musculoskeletal injuries / P. Vlahek, V. Matijević, J. Havaš // The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness. – 2021. – V.61. – №. 6. – P. 836-843. DOI: 10.23736/s0022-4707.20.11388-4.

195. Vogt M. Eccentric exercise: mechanisms and effects when used as training regime or training adjunct / M. Vogt, H.H. Hoppeler // Journal of applied Physiology. – 2014. – V. 114. – P. 221-234.

196. Weinstabl R. The extensor apparatus of the knee joint and its peripheral vasti: anatomic investigation and clinical relevance / R. Weinstabl, W. Scharf, W. Firbas //Surgical and Radiologic Anatomy. – 1989. – V. 11. – №. 1. – P. 17-22.

197. Widrick J.J. Isometric force and maximal shortening velocity of single muscle fibers from elite master runners / J.J. Widrick, S.W. Trappe, C.A. Blaser, D.L. Costill, R.H. Fitts // American Journal of Physiology-Cell Physiology. – 1996. – V. 271. – №. 2. – P. C666-C675.

198. Yakubova G. Sports Medicine and Therapeutic Physical Education / G. Yakubova // Texas Journal of Multidisciplinary Studies. – 2021. – V. 2. – P. 135-141.