

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ –
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ БИОФИЗИЧЕСКИЙ ЦЕНТР
ИМЕНИ А. И. БУРНАЗЯНА»

На правах рукописи

Хан Алексей Викторович

РЕАБИЛИТАЦИЯ СПОРТСМЕНОВ ПОСЛЕ ТРАВМ И ОПЕРАЦИЙ НА
КОЛЕННОМ СУСТАВЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ РОБОТИЗИРОВАННЫХ
БИОМЕХАНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Специальность 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:
член-корреспондент РАН,
доктор медицинских наук, профессор
Самойлов Александр Сергеевич

Москва – 2024

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ. СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К РЕАБИЛИТАЦИИ ПОСЛЕ ТРАВМ И ОПЕРАЦИЙ НА КОЛЕННОМ СУСТАВЕ В СПОРТИВНОЙ МЕДИЦИНЕ.....	17
1.1. Травмы коленного сустава. Особенности и причины травмирования коленного сустава у спортсменов.....	17
1.2. Этапность реабилитации спортсменов при травмах коленного сустава.....	23
1.3. Основные направления анатомо-функциональной диагностики нижних конечностей в спортивной медицине.....	30
1.4. Роботизированная биомеханика в спортивной медицине.....	34
ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	39
2.1. Организация исследования, характеристика экспериментальной выборки.....	39
2.2. Материалы и методы.....	44
2.2.1. Методы диагностики функционального состояния коленного сустава.....	44
2.2.2. Методы реабилитационно-восстановительного лечения.....	53
2.2.3. Методы статистической обработки.....	55
ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ СОБСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ. АНАЛИЗ ТРАВМАТИЗМА СПОРТСМЕНОВ И РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ПРИМЕНЕНИЯ РОБОТИЗИРОВАННЫХ БИОМЕХАНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ В ПРОГРАММЕ РЕАБИЛИТАЦИИ НА ТРЕТЬЕМ ЭТАПЕ.....	57
3.1. Травмы коленного сустава в структуре заболеваний спортсменов, проходивших восстановительное лечение на базе ЦСМиР (2021- 2023 гг.).....	57

3.2. Методика восстановления (тренировки) после травмы коленного сустава у спортсменов с применением роботизированных биомеханических комплексов.....	61
ГЛАВА 4. РЕЗУЛЬТАТЫ СОБСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ. АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ОСНОВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВОССТАНОВЛЕНИЯ КОЛЕННОГО СУСТАВА.....	66
4.1. Результаты реабилитационно-восстановительного лечения спортсменов после травм и операций на коленном суставе с применением лечебной физкультуры и физиотерапии.....	66
4.2. Результаты реабилитационно-восстановительного лечения спортсменов после травм и операций на коленном суставе с применением лечебной физкультуры, физиотерапии и роботизированной биомеханики.....	83
4.3. Сравнительный анализ эффективности реабилитации спортсменов после травм и операций на коленном суставе с применением стандартной программы и роботизированных биомеханических комплексов.....	100
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	113
ВЫВОДЫ.....	119
ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ.....	121
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....	122
СПИСОК ИСПОЛЪЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	123
ПРИЛОЖЕНИЕ 1.....	148
ПРИЛОЖЕНИЕ 2.....	158
ПРИЛОЖЕНИЕ 3.....	167

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность и степень разработанности темы исследования

Травмы могут случаться при любых видах физической активности, будь то повседневные бытовые активности, любительские соревнования или спорт высоких достижений. Опираясь на данные статистики о травмах, полученных во время крупных спортивных мероприятий (Олимпиады, Чемпионаты Мира, Чемпионаты Европы), можно судить о важности наличия систематизированных методов диагностики как для предотвращения травматизации, так и для оценки показателей спортсменов сразу после получения травмы и оценке их состояния для прогноза возвращения к спортивной деятельности (Самойлов А. С., 2016; Бадтиева В. А., 2022).

Травмы опорно-двигательного аппарата (ОДА) различной локализации у спортсменов являются наиболее частой причиной перерыва в тренировочном и соревновательном процессах, а в некоторых случаях и окончания профессиональной спортивной карьеры. Многие исследования показывают, что физическая активность благотворно влияет на человека, однако спорт высших достижений довольно травмоопасен, но даже там возникновение травм можно предотвратить (Разумов А. Н., 2018; Разинкин С. М., 2022; Рылова Н. В., 2023).

Рядом авторов подтверждена ведущая роль в заболеваемости спортсменов значительных физических и психических нагрузок, связанных с насыщенным календарем тренировочных мероприятий и соревнований (Разумов А. Н., 2007; Лядов К. В., 2008; Епифанов А. В., 2010; Самойлов А. С., 2016; Парастаев С. А., 2020; Казаков В. Ф., 2023 и др.).

В литературных источниках все чаще появляются исследования, которые посвящены изучению влияния чрезмерных нагрузок как фактора риска развития острых заболеваний, синдрома перетренированности или случаев травм у спортсменов (Арьков В. В., 2019; Корягина Ю. В., 2022; Тер-Акопов Г. Н., 2022 и др.).

По мнению ряда авторов, проводивших оценку частоты и структуры острых и нагрузочных травм опорно-двигательного аппарата, у спортсменов, было выявлено, что травмы коленного сустава преобладают в структуре общего травматизма и составляют от 30% до 50% всех случаев первичных обращений спортсменов к травматологу (Миронова З. С., 1962; Орджоникидзе З. Г., 2006; Мионов С. П., 2012).

Основной задачей восстановительно-реабилитационных мероприятий в спорте, в том числе и после перенесенных травм и операций на коленном суставе, является восстановление функционального состояния спортсмена до уровня, позволяющего ему продолжить активную тренировочную и соревновательную деятельность. Следовательно, большое внимание стоит уделять результативности программ лечения и коррекции у спортсменов, основным параметром для оценки эффективности которых является максимальное сокращение сроков восстановления до уровня модельных характеристик, соответствующих избранному виду спорта (Разинкин С. М., 2022; Самойлов А. С., Рылова Н. В., 2022 и др.).

За последние десять лет в традиционном реабилитационно-восстановительном лечении произошли изменения в области механобиологии. Исследования показали влияние физических сил на клетки и ткани, что привело к осознанию необходимости обновления старой модели терапии. Появились технологии, которые могут лучше и точнее воздействовать на стимуляцию восстановления биологической ткани. К таким технологиям относятся и роботизированные биомеханические комплексы.

На сегодняшний день многие российские и зарубежные авторы отмечают перспективность применения роботизированных биомеханических комплексов в клинической практике при восстановительном лечении различных патологических состояний (Даминов В. Д., 2022; Павлов А. О., 2022; Аухадеев Э. И., 2023; Епифанов А. В., 2023; Смоленский А. В., 2023; Фесюн А. Д., 2023; Kim J. H., 2015; de Araujo Ribeiro Alvares J. B., 2015;

Lerner Z. F., 2017; Javed S., 2021 и др.). Однако, в доступных нам источниках были обнаружены единичные исследования с их применением в спортивной медицине.

Биомеханическое тестирование выявляет факторы риска, при которых существует высокая степень вероятности той или иной травмы (Бадтиева В. А., Турова Е. А., 2022).

Показано, что включение роботизированных биомеханических комплексов в реабилитационную программу спортсменов может улучшить биомеханические показатели, такие как сила и мышечная выносливость, снизить утомляемость мышечно-связочного аппарата, а также повысить нервно-мышечную передачу (Корягина Ю. В., 2018; Кабаев Е. М., 2020; Абуталимов А. Ш., 2023).

Включение механотерапии позволяет существенно улучшить биомеханические показатели коленного сустава в рамках реабилитации после пластики передней крестообразной связки, что выражается в достоверно значимом увеличении силовых показателей и значений мышечной выносливости, что в конечном итоге приводит к сокращению сроков реабилитационного лечения, а, следовательно, к сокращению сроков временной нетрудоспособности (Фесюн А. Д. с соавт., 2023; Woo S. L. Y., 2006; Cvjetkovic D. D., 2015; Zhou T., 2018; Brinlee A. W., 2022).

Поскольку лечение спортивных травм часто является достаточно сложным, дорогостоящим и длительным процессом, разработка программ скрининга, диагностики и профилактики является более выгодной стратегией с экономической и медицинской точек зрения. Перед началом разработки методов и программ оценки биомеханических параметров необходимо разобраться с масштабами проблемы. Также следует определить ведущие механизмы и факторы, предшествующие травматизации у спортсменов высшей категории.

Таким образом, наличие нерешенных вопросов в области методов и программ диагностики и восстановления биомеханических параметров, а также разноречивые данные о сложности и длительности их применения, обуславливают необходимость дальнейших исследований, что подтверждает актуальность темы диссертационной работы.

Цель исследования

Разработка, научное обоснование и применение методики реабилитации спортсменов после травм и операций на коленном суставе с использованием роботизированных биомеханических комплексов.

Задачи исследования:

1. Изучить структуру травм и заболеваний коленного сустава на основе анализа (ретроспективного) медицинской документации спортсменов, проходивших восстановительное лечение на базе ЦСМиР.
2. Сформировать и научно обосновать метод комплексного реабилитационно-восстановительного лечения при травмах и операциях на коленном суставе у спортсменов с применением роботизированных биомеханических комплексов.
3. Разработать алгоритм применения роботизированных биомеханических комплексов в программе реабилитации спортсменов после перенесенных травм и заболеваний коленного сустава.
4. Оценить эффективность методики реабилитации спортсменов с применением роботизированных биомеханических комплексов после перенесенных травм и заболеваний коленного сустава.

Научная новизна исследования

Впервые разработан и научно обоснован алгоритм проведения реабилитационных программ на роботизированных биомеханических комплексах для спортсменов после травм и операций на коленном суставе.

Впервые изучены и проанализированы особенности динамики биомеханических показателей на третьем этапе реабилитационно-восстановительного лечения, отражающих скоростную выносливость, силу, межмышечную и внутримышечную координацию.

Разработана и научно обоснована уникальная методика реабилитационно-восстановительного лечения спортсменов с применением роботизированных биомеханических комплексов, которая основана на атравматичном принципе и направлена на восстановление и улучшение стабильности миоэнтезического аппарата травмированной области, восстановления полного объема движения в коленном суставе, а также сенсомоторного контроля в управлении движениями.

Установлено, что диагностические программы роботизированных биомеханических комплексов существенно дополняют знания о статодинамических процессах в коленном суставе, силовых параметрах мышц антагонистов и дифференцировании мышечных усилий.

На выборке высококвалифицированных спортсменов экспериментально подтверждена эффективность применения роботизированных биомеханических комплексов для наполнения программ на третьем этапе реабилитационно-восстановительного лечения после травм и операций на коленном суставе.

Теоретическая и практическая значимость работы

Теоретическая значимость исследования заключается в обосновании эффективности методов восстановительного лечения с применением РБК и, соответственно, расширении научных знаний в области спортивной медицины.

Полученные данные о влиянии тренировок на роботизированных биомеханических комплексах в сочетании с физиотерапевтическими процедурами и ЛФК на биомеханические показатели коленного сустава позволят расширить современные представления о формировании полезного конечного результата в функциональной системе видоспецифичного двигательного стереотипа.

В результате диссертационного исследования разработан алгоритм диагностических и реабилитационно-восстановительных программ с применением РБК для спортсменов после травм и заболеваний коленного сустава, который представляет практическую значимость при организации медико-биологического сопровождения спортсменов высоких достижений в части, касающейся реабилитационно-восстановительного лечения.

Полученные результаты имеют отраслевое значение при разработке профилактических и реабилитационных программ для спортсменов на третьем этапе реабилитации.

Результаты исследования могут быть использованы в практике спортивных врачей, реабилитологов и инструкторов ЛФК, методистов и других специалистов, занимающихся реабилитацией спортсменов.

Методология и методы исследования

Диссертационная работа является прикладным научным исследованием, проводимым в ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А. И. Бурназяна ФМБА России в рамках государственного контракта на выполнение НИР «Разработка методических рекомендаций по комплексному реабилитационно-восстановительному лечению при травмах и операциях на коленном суставе у спортсменов спортивных сборных команд Российской Федерации в различных видах спорта с применением преформированных физических факторов и методик роботизированной биомеханики» (Рег. № 123051800013-2).

Тип исследования: сплошное рандомизированное контролируемое исследование.

Методологической основой диссертационного исследования являлся принцип системности, который использован при планировании реабилитационных мероприятий, определении необходимого количества диагностических методик и, на основании полученных данных, формирование и реализация комплексной реабилитации спортсменов после травм и операций на коленном суставе с применением роботизированной биомеханики.

Выбор методов был обусловлен спецификой выборки, объектом и предметом исследования, целью и поставленными задачами.

Объектом исследования явились спортсмены после травм и операций на коленном суставе.

Предметом исследования стала динамика показателей функционального состояния коленного сустава спортсменов, оцениваемая комплексом

диагностических методов, позволяющих выявлять признаки патологических изменений и осуществлять подбор целенаправленных реабилитационных методов.

В настоящем исследовании использовались следующие методы: анализ научной литературы по проблеме исследования, сравнительный и комплексный организационные методы, эксперимент; структуризация, систематизация, анализ и сравнение данных, обобщение. Из методов количественной обработки были использованы средние значения показателей и их стандартное отклонение, непараметрический U-критерий Манна-Уитни для оценки статистических различий в двух независимых выборках, T-критерий Вилкоксона для связанных выборок в целях анализа устойчивости полученных результатов в динамике.

Диагностику состояния коленного сустава проводили при помощи общепринятых тестов (ММТ, тест Лахмана и др.), антропометрических исследований, а также с использованием стабиллоплатформы, биоимпедансного анализа состава тела и роботизированных биомеханических тренажеров.

Для восстановления коленного сустава применялись лечебная физкультура, физиотерапевтические методики и биомеханические роботизированные тренажеры.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Измерения физических параметров движения в коленном суставе спортсменов по предложенному алгоритму дает возможность объективной оценки биомеханической составляющей состояния двигательного комплекса при определении уровня восстановления по показателям силы, мощности и скорости движения.

2. Включение в базовую реабилитационную программу спортсменов на третьем этапе реабилитации наряду с лечебной физической культурой и физиотерапевтическими методами роботизированных биомеханических комплексов (например, РБК Кон-Трекс) позволяет прогрессивно влиять на показатели биомеханики движения в коленном суставе, а именно, происходит

стабилизация показателей силы, межмышечной и внутримышечной координации и увеличение показателей скоростной выносливости.

3. Разработанная комплексная методика физической реабилитации спортсменов после травм и операций на коленном суставе позволяет эффективно снизить выраженность болевого синдрома, восстановить амплитуду движения в суставе при пассивных и активных движениях, улучшить координационные способности, то есть с учетом особенностей опорно-двигательного аппарата спортсменов осуществлять восстановление сниженных функций.

Степень достоверности результатов

Достоверность и объективность полученных результатов подтверждается наличием четких критериев включения-исключения субъектов исследования, позволяющих сформировать репрезентативные выборки, достаточным количеством анализируемых данных, использованием современного научно-методического аппарата, адекватного задачам и валидных методик исследования. Положения, выносимые на защиту, выводы и практические рекомендации сформулированы с учетом фактических данных, отраженных в таблицах и рисунках. Статистическая обработка результатов обследования проводилась с использованием современного программного обеспечения IBM® «Statistica 10 for Windows» и «KNIME Analytics Platform 4.1.2» и применением соответствующих критериев оценки достоверности сформулированных выводов. Для анализа были отобраны методы описательной статистики: среднее значение, стандартное отклонение, медиана и интерквартильный размах.

Для того чтобы иметь 90% шанс обнаружения разности в средних значениях оцениваемых показателей в исследуемых группах за 21 день наблюдения при 5% уровне значимости, применяя непарный t-критерий, в исследовании потребовалось провести ретроспективный анализ медицинских данных 527 пациентов с различными травмами, прошедших реабилитацию в ЦСМиР.

Проверка данных на нормальность распределения была проведена с использованием критерия Колмогорова-Смирнова. Поскольку большая часть

данных не соответствовала критерию нормальности распределения, последующий статистический анализ проводился с помощью непараметрических методов анализа данных.

При парных наблюдениях использовался критерий ранговых знаков Вилкоксона. Для каждой пары оценивалась разность в измерениях для оценки медианы разности исследуемой популяции путем рассмотрения разностей в выборке (больше или меньше 0). В случае сравнения выборок двух независимых групп применялся двухвыборочный критерий Манна-Уитни.

Все выявленные различия считались достоверными при достижении уровня статистической значимости $p \leq 0,05$.

Сформированная нулевая гипотеза исследования H_0 отвергалась при достижении критического уровня значимости $p = 0,05$.

Апробация результатов исследования

Материалы диссертации докладывались и обсуждались на Научно-практической онлайн конференции X международного конгресса «Безопасный спорт – 2023 (доклад «Физическая реабилитация спортсменов-легкоатлетов после пластики передней крестообразной связки коленного сустава с применением роботизированной биомеханики»», Москва, 2023; на XXII юбилейном всероссийском форуме «Здравница – 2023» (доклад «Методологические аспекты FAST-TRACK реабилитации спортсменов»», Хабаровск, 2023; на XII Всероссийском конгрессе с международным участием «Медицина для спорта 2023» с докладом «Возможности роботизированной биомеханики в FAST-TRACK реабилитации спортсменов», Москва, 2023; на VI Всероссийском конгрессе «Физиотерапия. Лечебная физкультура. Реабилитация. Спортивная медицина» с докладом «Инновационные методы роботизированной биомеханики в FAST-TRACK реабилитации спортсменов сборных команд Российской Федерации», Москва, 2023; на VI Всероссийской научно-практической конференции «Современные аспекты санаторно-курортного лечения, медицинской реабилитации и спортивной медицины» (доклад «FAST-TRACK подход в

реабилитации спортсменов с травмой коленного сустава»), Ессентуки, 2023; на XVIII Международной научной конференции по вопросам состояния и перспективам развития медицины в спорте высших достижений «СпортМед – 2023» (доклад «Роботизированная биомеханика в реабилитации спортсменов с травмой коленного сустава»), Москва, 2023; на VII Российском конгрессе с международным участием «Физическая и реабилитационная медицина» (доклад «Роботизированная биомеханика в FAST-TRACK реабилитации спортсменов»), Москва, 2023; на XXIII юбилейном всероссийском форуме «Здравница – 2024» (доклад «Оценка эффективности реабилитации коленного сустава у спортсменов по показателям роботизированной биомеханики»), Ярославль, 2024; на XI международном конгрессе «Безопасный спорт – 2024» (доклад «Эффективность применения биомеханических комплексов в концепции FAST-TRACK в реабилитации спортсменов сборных команд РФ»), Москва, 2024.

Внедрение результатов исследования

Результаты диссертационного исследования были внедрены в клиническую деятельность Отделения физической реабилитации ФГБУ ФСНКЦ ФМБА России, Центра реабилитации ФНКЦ ФМБА России, Отделения реабилитационно-восстановительного лечения ФГБУ ФНКЦСМ ФМБА России, а также в образовательную деятельность МБУ ИНО ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А. И. Бурназяна ФМБА России.

Личный вклад автора в выполнение работы

Автор непосредственно принимал участие на всех этапах планирования и выполнения диссертационной работы: определял степень изучения проблемы, разрабатывал алгоритм диагностических и реабилитационно-восстановительных программ с применением РБК. Диссертантом были определены цель и задачи исследования, объем и методы исследования.

Соискатель лично обеспечивал сбор исследовательского материала, определял основные направления реабилитационно-восстановительного лечения, а также проводил оценку функционального состояния коленного сустава у всех участников исследования.

Автор лично проводил анализ полученных результатов с применением современных методов статистической обработки.

Диссертантом разработан лекционный материал, используемый в образовательном процессе на кафедре восстановительной медицины, курортологии и физиотерапии, сестринского дела с курсом спортивной медицины МБУ ИНО ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А. И. Бурназяна ФМБА России.

Связь задач исследования с проблемным планом

Диссертационная работа является прикладным научным исследованием, проводимым в ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А. И. Бурназяна ФМБА России в рамках государственного контракта на выполнение НИР «Разработка методических рекомендаций по комплексному реабилитационно-восстановительному лечению при травмах и операциях на коленном суставе у спортсменов спортивных сборных команд Российской Федерации в различных видах спорта с применением преформированных физических факторов и методик роботизированной биомеханики» (Рег. № 123051800013-2).

Публикации по теме диссертации

По материалам диссертационного исследования опубликовано 6 печатных работ. Из них 3 статьи в рецензируемых журналах, включенных в Перечень ВАК при Министерстве науки и высшего образования РФ для публикации результатов диссертационных исследований на соискание ученой степени, издана 1 монография, зарегистрированы 2 базы данных.

Материалы доложены на VI Всероссийском конгрессе «Физиотерапия. Лечебная физкультура. Реабилитация. Спортивная медицина», VII Российском

конгрессе с международным участием «Физическая и реабилитационная медицина», XII Всероссийском конгрессе с международным участием «Медицина для спорта 2023», XVIII Международной научной конференции по вопросам состояния и перспективам развития медицины в спорте высших достижений «СпортМед – 2023», Международном конгрессе «Безопасный спорт – 2023» и «Безопасный спорт – 2024», на всероссийском форуме «Здравница – 2023» и «Здравница – 2024».

Соответствие диссертации паспорту научной специальности

Диссертационная работа соответствует паспорту специальности: 3.1.33. Восстановительная медицина, спортивная медицина, лечебная физкультура, курортология и физиотерапия, медико-социальная реабилитация п. 4. «Разработка и внедрение здоровьесберегающих технологий превентивной, трансляционной, персонифицированной и цифровой медицины с использованием природных лечебных факторов и других средств немедикаментозной терапии», п. 5. «Разработка методов рационального использования физических упражнений, прочих средств физической культуры и спорта для укрепления здоровья, профилактики и лечения заболеваний, повышения физической работоспособности. Определение эффективных мероприятий по предупреждению заболеваний и травм у спортсменов, наиболее рациональных гигиенических условий физического воспитания. Разработка средств и методов медицинского контроля за функциональным состоянием лиц, занимающихся спортом, а также программ восстановления нарушенных функций и реабилитации спортсменов».

Структура и объем работы

Диссертация изложена на 172 страницах машинописного текста и состоит из введения и 4 глав – обзора литературы, описания материала и методов исследования, результатов собственных исследований и их обсуждения, заключения, выводов, списка литературы и приложений. Содержит 38 таблиц,

иллюстрирована 43 рисунками, а также 3 приложения. Список литературы включает 195 источников, из них 96 отечественных и 99 зарубежных. Диссертационная работа оформлена в соответствии с ГОСТ Р 7.0.11-2011, ГОСТ 7.1-2003, ГОСТ Р 7.0.5 и ГОСТ 2.105.

ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ. СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К РЕАБИЛИТАЦИИ ПОСЛЕ ТРАВМ И ОПЕРАЦИЙ НА КОЛЕННОМ СУСТАВЕ В СПОРТИВНОЙ МЕДИЦИНЕ

К задачам настоящего этапа исследования относились: анализ причин, приводящих к оперативному вмешательству на коленном суставе у высококвалифицированных спортсменов с учетом специфики вида спорта, и методических подходов к их реабилитации и восстановлению после перенесенных травм и операций; обоснование выбора преформированных физических факторов и методик роботизированной биомеханики для включения в систему комплексного реабилитационно-восстановительного лечения.

В жизни современного человека растет социальная роль физической культуры и спорта [30, 45, 21, 105, 111, 99]. С одной стороны, всё большее количество людей вовлекаются в активную спортивную деятельность: посещают секции и спортивные клубы, самостоятельно занимаются различными видами спорта и активными видами отдыха. С другой, при таком росте объемов и интенсивности тренировочных и соревновательных нагрузок в спорте высших достижений к организму спортсмена предъявляются предельно высокие требования [79, 6, 11, 17, 25, 54, 152, 122, 101].

1.1. Травмы коленного сустава. Особенности и причины травмирования коленного сустава у спортсменов.

На всех уровнях физической активности получение травмы является постоянной угрозой. Спортивная травма – это собирательное название любых видов повреждений, возникающих в процессе занятий спортивной деятельностью. Стоит отметить, что, как правило, травмы, полученные при занятиях спортом не опасны для жизни. Однако они непосредственно влияют на общую и спортивную работоспособность спортсмена, отдаляя его на длительный период от пика спортивной формы и нередко требуя длительного периода для восстановительных

и реабилитационных мероприятий, а в некоторых случаях речь может идти об окончании спортивной карьеры [7, 9, 19, 31, 33, 50, 68, 132, 117, 185].

У спортсменов различные механизмы травм опорно-двигательного аппарата имеют ряд специфических особенностей [10, 23, 22, 36, 41, 184, 162, 153, 161, 180, 163, 113], представляющих комплексный многоуровневый биомеханический процесс, в котором ключевое значение играет ряд факторов, а именно:

- точка приложения травмирующего агента (прямой, не прямой, комбинированный механизмы);
- величина и сила воздействия травмирующего агента (превышающая и не превышающая физиологическую прочность ткани);
- кратность и периодичность воздействия травмирующего агента (одномоментные, острые, повторные и хронически повторяющиеся травмы).

Прямой механизм воздействия травмирующего агента (падение, столкновение, удар и т.п.) представляет собой совпадение точки воздействия и травмируемой зоны повреждения.

В противовес прямому, не прямой механизм воздействия травмирующего агента характеризуется дистальным или проксимальным расположением точки приложения травмирующей силы относительно травмируемой области. Следовательно, травма возникает путем приложения сгибающего, разгибающего, скручивающего воздействий или их комбинации. Не прямой механизм травмы более характерен для повреждения внутренних структур суставов, а именно: связочного аппарата, менисков, внутрисуставных и отрывных переломов.

Если анализировать виды спорта, то наиболее часто травмы коленного сустава встречаются в игровых видах спорта – таких как хоккей, футбол, гандбол, баскетбол и волейбол; в единоборствах – самбо, спортивная борьба, дзюдо и бокс; в сложнокоординационных видах спорта – прыжки на батуте, акробатика и спортивная гимнастика, горнолыжный спорт [66, 13, 52, 86, 81, 87, 150, 166, 133, 155, 177, 181].

На рисунке 1 представлены анатомические структуры (включая кости, связки, хрящи и сухожилия) коленного сустава, которые определяют его биомеханические свойства [36, 118, 135, 137, 143, 153, 112, 182, 183, 145].

Среди травм колена чаще других встречаются переломы, вывихи, надрывы и разрывы связок, травмы менисков. Наиболее распространенными являются переломы надколенника, хотя концы большеберцовой и бедренной костей также могут быть сломаны. Переломы колена в спорте могут быть вызваны неудачным падением или резким ударом по колену. Вывихи коленного сустава возникают, когда кости вокруг колена частично или полностью смещаются относительно нормального расположения. Если бедро и большеберцовая кость смещены, это может привести к смещению надколенника. Большинство вывихов вызваны несчастными случаями или другими травмами.

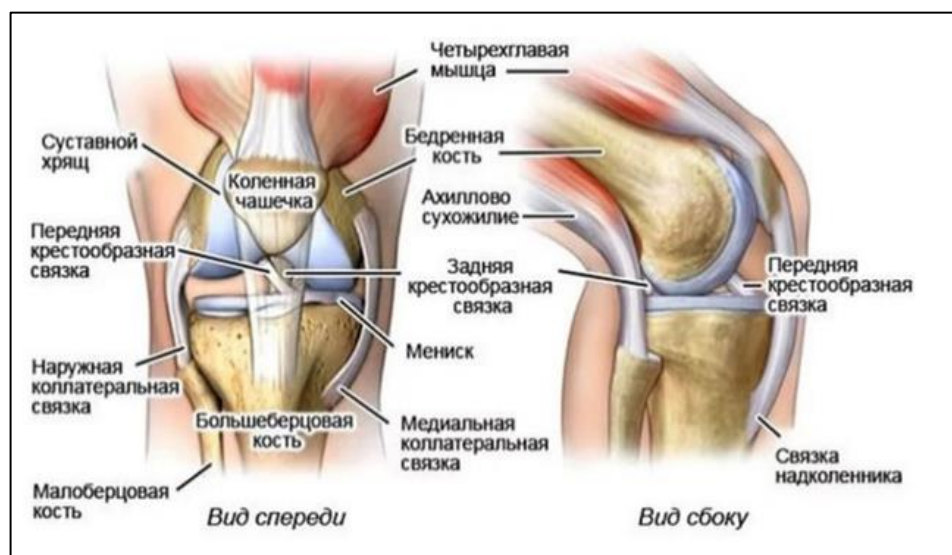


Рисунок 1 – Схематическое строение коленного сустава

(источник: <https://medic-hospital.ru/revmatologiya/lechenie-zabolevanij-kolennogo-sustava/>)

У спортсменов наиболее частые травмы коленного сустава – это травмы крестообразных связок [34, 43, 82, 176, 187, 106, 141, 144, 160, 190, 123]. Передняя крестообразная связка (ПКС) является важной структурой в колене, которая проходит по передней части надколенника. Она обеспечивает стабильность сустава и обычно ее повреждение является довольно серьезной травмой (особенно полный разрыв). Чаще всего она травмируется или рвется во время спортивных мероприятий (рис. 2-3).

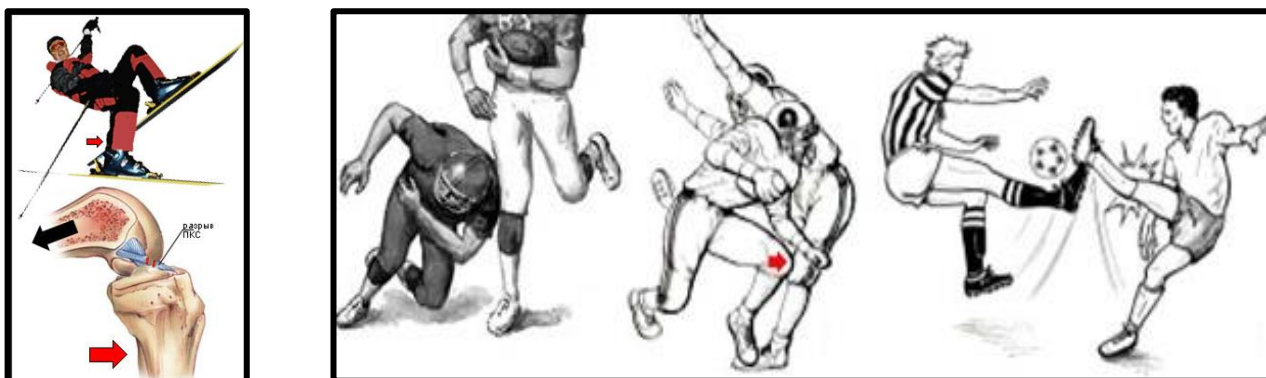


Рисунок 2-3 – Механизм травмирования коленного сустава во время соревнований

Наиболее подвержены данному типу травм спортсмены игровых видов спорта (футбол, баскетбол, гандбол, а также беговые виды легкой атлетики). При неправильном прыжке, при быстрой смене направления или при повреждении другой части колена могут возникнуть травмы передней крестообразной связки. На самом деле, 50% травм передней крестообразной связки происходит одновременно с повреждением другой части колена, включая суставной хрящ или мениск [14, 42, 4, 84, 85, 90, 162, 153, 119]. Повреждение задней крестообразной связки часто возникает в результате прямого удара по передней части колена, когда оно согнуто, и обычно заживает самостоятельно.

Не менее распространенной спортивной травмой считают разрыв мениска. Мениск является амортизатором между бедренной и большеберцовой костями. Разрыв мениска может быть вызван скручиванием, поворотом, порезом или захватом на поле. Этот тип травмы также может возникать из-за артрита или старения [111, 128, 173, 172, 188, 186].

Разрывы сухожилий возникают при разрыве или растяжении сухожилий четырехглавой мышцы или надколенника. Эти травмы могут случиться с кем угодно, однако чаще всего они встречаются у людей среднего возраста, которые занимаются спортом, включающим прыжки или бег. Неловкое падение или приземление после прыжка может привести к разрыву сухожилия.

Понимание механизма травмы помогает понять, какие структуры коленного сустава могут быть повреждены. По мнению травматологического сообщества, существует 2 основных механизма травм: контактные травмы и неконтактные [31;

78, 4, 191]. Если на коленный сустав направлена внешняя сила, то такая травма считается контактной. При этом положение колена в момент травмирования, тугоподвижность и прочность его структур, направление внешней силы, ее величина и локализация воздействия определяют, какие структуры коленного сустава будут повреждены. Наиболее устойчивое положение коленного сустава – полное разгибание. Передняя крестообразная связка (ПКС) обеспечивает устойчивость сустава в моменте сгибания в пределах 120-160°. Повреждение ПКС также происходит при вынужденном чрезмерном сгибании коленного сустава. Ее повреждение может быть изолированно или в сочетании с повреждением других связок как, например, при ударе сзади под колено [4, 89, 92, 114, 157, 98, 168, 154].

Разрыв БКС связан с действием вальгусной силы на латеральную часть ноги, когда нога спортсмена находится на поверхности, а коленный сустав почти полностью выпрямлен. При таком движении расстояние между бедренной и большеберцовой костями на медиальной части вынужденно увеличивается и возникает натяжение БКС, что и приводит к ее разрыву, а затем происходит разрыв медиальной капсулы, в процесс вовлекается ПКС и, возможно, медиальная часть мениска. При полностью выпрямленном суставе могут возникать повреждаться ПКС и задней крестообразной связки.

Травмы ЗКС происходят при переразгибании в коленном суставе при воздействии силы на большеберцовую кость, например, при ударе по колену, согнутому под углом 90°.

Неконтактные травмы имеют место при изменении направления движения, когда наблюдается сочетание ускорения четырехглавой мышцы, вальгусной силы и силы внешнего вращения, действующих на слегка согнутый коленный сустав [114, 187, 144, 184, 179, 171].

Механизмом неконтактной травмы ПКС является изменение направления, включающее торможение с фиксированной ногой или резкое внутреннее вращение чрезмерно согнутого коленного сустава [4, 187].

Особенностью механизма травмы ПКС у лыжников является резкое сокращение четырехглавой мышцы, при котором голень вытягивается вперед и разрывает ПКС (рис. 4).



Рисунок 4 – Травма медиального мениска

Повреждения ОДА, в том числе у спортсменов, имеют полиэтиологическую природу. К причинам, влияющим на травматизацию, относятся как генетические, так и негенетические факторы [33, 48]. В настоящее время идет активный поиск генов, которые могут быть ответственными за предрасположенность спортсменов к травмам.

Белорусские представители спортивной медицины из Республиканского научно-практического центра спорта (РНПЦ спорта) в 2019 году провели анализ уровня и структуры травм коленного сустава в различных видах спорта [4]. Авторы проанализировали 3411 случаев первичного обращения к травматологам РНПЦ спорта за период 2016-2017 гг. Травмы коленного сустава заняли 1-е место и составили 1009 случаев – это 29,6% в структуре общего травматизма. Другие травмы: повреждения кисти составили 10%, плечевого сустава – 10%, голеностопного – 9%, нагрузочные повреждения позвоночника на фоне занятий спортом – 9% и др. Наиболее травмоопасными видами спорта по данным исследования явились игровые и сложнокоординационные виды спорта. Повреждения коленного сустава также чаще всего встречались в игровых видах спорта, что связано с большим количеством скоростных столкновений, вынужденных движений и повторяющихся перегрузок в этих видах спорта. В

данном исследовании выявлено, что наибольшее количество пациентов с травмами нижней конечности имели повреждения медиальной/латеральной коллатеральных связок коленного сустава – 19% случаев; дистрофические заболевания коленного сустава вследствие занятий спортом – 14,5%; повреждения внутреннего мениска наблюдается у 13%, повреждения передней и задней крестообразных связок – 11% и 6%, соответственно [4].

В 2007 году были опубликованы данные исследования, в котором изучался дефицит нервно-мышечного контроля положения туловища, как предвестника риска травмы колена [123]. Авторы приходят к выводу, что видеоанализ движения во время выполнения спортсменом физического упражнения может выявить вероятность повреждений коленного сустава. Например, изучая особенности движения в коленном суставе при нагрузке на колено во время приземления после прыжка у представителей игровых видов спорта, можно выявить предикторы риска повреждения передней крестообразной связки.

1.2. Этапность реабилитации спортсменов при травмах коленного сустава

Чаще, чем с другими проблемами, связанными со здоровьем, спортсмены сталкиваются со спортивным травматизмом, и поэтому спортивная реабилитация, в основном, ассоциируется именно с реабилитацией после травм. В Российской Федерации реабилитация спортсменов после травм делится на три этапа. Первым этапом считают реабилитацию в условиях стационара, второй этап осуществляют амбулаторно в условиях поликлиники или в центре спортивной медицины, третий этап – это возвращение к начальной спортивной тренировке, что возможно в условиях спортивной организации, т.е. постепенное возвращение к тренировочному процессу. Санаторно-курортный этап отсутствует [8, 156, 15, 76, 94, 74].

Наиболее изученными являются проблемы реабилитации спортсменов после травм на стационарном этапе восстановительного лечения [43, 26, 7, 91, 16, 49, 83, 57, 44].

Существует авторская система этапной комплексной медицинской и спортивной реабилитации спортсменов после реконструкции передней крестообразной связки коленного сустава с соблюдением длительности восстановительного лечения до 6-8 месяцев [74]. Она предполагает профилактику послеоперационных осложнений, улучшение кровотока и метаболизма, а также предотвращение перегрузки области реконструкции ПКС. Дальнейшие мероприятия направлены на восстановление функций сустава в оптимальные сроки, двигательного стереотипа нижних конечностей, профессиональной спортивной активности спортсмена и возврат к спорту; восстановление социальной активности и улучшение качества жизни спортсмена после реконструкции ПКС. На высокую эффективность разработанной системы этапной комплексной медицинской и спортивной реабилитации указывают положительные результаты функциональных тестов у 91,7% спортсменов при завершении реабилитации на этапе начальной спортивной тренировки.

Белорусские спортивные реабилитологи предлагают алгоритм [96] медицинской реабилитации пациентов после пластики ПКС:

- оценка функционального состояния нижней конечности;
- оценка реабилитационного потенциала;
- подбор программы реабилитации;
- оценка эффективности проводимой медицинской реабилитации.

В других источниках описывают исследования по оценке эффективности физической реабилитации спортсменов после пластики ПКС [21]. Например, приводятся сведения о программе реабилитации, которая проводилась при участии спортсменов, проходивших восстановление после операции по реконструкции ПКС (не позднее 3 месяцев) при наличии нестабильности коленного сустава и атрофии мышц, а также при наличии ограничений подвижности коленного сустава. В программе использовали широкий спектр ЛФК с занятиями на платформе BOSU и антигравитационной дорожке, применяли гидрокинезотерапию, рекомендовали также самостоятельные занятия, применяли миофасциальный релиз с валиками, лечебный массаж и

физиотерапевтические процедуры, выполняли кинезиотейпирование. Автором получены данные об улучшении функционального состояния оперированной конечности у спортсменов.

Физическая реабилитация футболистов с разрывом передней крестообразной связки являлась предметом изучения авторов, которые предположили, что длительность реабилитационных мероприятий должна составлять не менее 5-5,5 месяцев и включать в себя три периода: послеоперационный (с 1 по 3 неделю), функциональный (с 4 по 12 неделю) и восстановительно-тренировочный (с 13 по 20 неделю) [21].

В ряде работ был предложен термин «физиологически оправданная» реабилитация спортсменов после пластики связок коленного сустава [40]. Четыре этапа данной программы рассчитаны на 6 месяцев. На первом месяце после операции (1-й этап) помимо занятий ЛФК, аппаратного лимфодренажного массажа и электростимуляции мышц проводят ежедневную пассивную активизацию прооперированного коленного сустава от аппарата «Fisiotek». На втором месяце после операции (2-й этап) занятия ЛФК носят более интенсивный характер и проводятся по 30 минут 3 раза в неделю, к ним добавляются занятия в тренажерном зале по индивидуальным программам 3 раза в неделю по полтора часа. На третьем и четвертом месяце после операции (3-й этап) помимо программы 2-го этапа применяют кинезиотейпирование и курс вакуумной терапии от аппарата «VACUMED». С четвертого по шестой месяц после операции (4-й этап) предлагаются видоспецифичные для спортсмена упражнения с ношением карбонового ортеза, лимфодренажный массаж и занятия в тренажерном зале 3 раза в неделю по полтора часа.

Другими авторами была разработана методика физической реабилитации спортсменов с применением баланс-тренинга, которая так же рассчитана на 4 этапа: первая неделя – ранний послеоперационный; со 2 по 4 неделю поздний послеоперационный; с 5 по 8 неделю функциональный и с 9 по 24 неделю тренировочно-восстановительный этап [85].

В Федеральных клинических рекомендациях «Реабилитация при повреждении капсульно-связочного аппарата коленного сустава (консервативное лечение)» (2015) предлагается подбирать реабилитационную программу на каждом из трех этапов (этап иммобилизации, этап после прекращения иммобилизации, завершающий этап) в зависимости от результатов мануально-мышечного тестирования, без учета сроков после травмы или операции на коленном суставе [71]. Рекомендации разработаны для лиц, не занимающихся спортом.

В Клинических рекомендациях «Повреждение связок коленного сустава – 2021-2022-2023» (03.11.2021), утвержденных Минздравом РФ в 2021 году, отмечается, что длительность периода временной нетрудоспособности зависит от объема и сложности хирургического вмешательства, в среднем она составляет 3-5 месяцев, бег разрешен спустя 4 месяца, полная физическая нагрузка через 5-6 месяцев после операции [61]. При этом всем категориям пациентов назначают анальгетики, ЛФК, физиотерапию и определенный ортопедический режим.

Федеральное медико-биологическое агентство в 2018 году выпустило Клинические рекомендации по реабилитации высококвалифицированных спортсменов после оперативного лечения травм и заболеваний нижних конечностей под редакцией В. В. Уйбы, утвержденные Общероссийской общественной организацией «Российская ассоциация по спортивной медицине и реабилитации больных и инвалидов» [28]. В таблице 1 представлены этапы реабилитации в соответствии с нозологией.

Однако других нормативных документов Российской Федерации по реабилитации спортсменов в доступных нам источниках не обнаружено.

Исследователи Королевского общества физиотерапевтов Нидерландов [107] считают, что реабилитация после травмы ПКС должна включать этап до операции и 3 послеоперационных этапа. Первый этап – тренировки с учетом нарушений, второй этап – тренировки в зависимости от вида спорта и третий – возвращение к игре.

Таблица 1 – Этапы реабилитационного процесса

Микрофрактурирование при артроскопии коленного сустава	Восстановление повреждений разгибательного аппарата коленного сустава	Пластика передней крестообразной связки	Пластика задней крестообразной связки	Шов и трансплантация мениска
I фаза послеоперационной реабилитации (со дня операции по 6 неделю)	I фаза послеоперационной реабилитации: максимальная защита (с 1 по 6 неделю)	Необходима предоперационная реабилитация I фаза послеоперационной реабилитации (до 2 недель после операции)	Необходима предоперационная реабилитация I фаза послеоперационной реабилитации (с 1 по 6 неделю)	I фаза послеоперационной реабилитации (с 0 по 6 недели)
II фаза послеоперационной реабилитации (с 6 по 12 недели)	II фаза послеоперационной реабилитации: умеренная защита (с 6 по 11 недели)	II фаза послеоперационной реабилитации (со 2 по 6 недели)	II фаза послеоперационной реабилитации (недели с 6 по 12)	II фаза послеоперационной реабилитации (недели с 6 до 14)
III фаза послеоперационной реабилитации (с 12 по 18 недели)	III фаза послеоперационной реабилитации: ранняя функциональная (с 11 по 16 недели)	III фаза послеоперационной реабилитации (с 6 по 14 недели)	III фаза послеоперационной реабилитации (с 12 до 20 недели)	III фаза послеоперационной реабилитации (с 14 по 22 недели)
IV фаза послеоперационной реабилитации: возвращение в спорт (начиная с 18 недели)	IV фаза послеоперационной реабилитации: поздняя функциональная/возврата в спорт (с 16 по 24 недели)	IV фаза послеоперационной реабилитации (от 14 до 22 недель)	IV фаза послеоперационной реабилитации (с 20 недели и далее)	
		Профилактика осложнений V фаза послеоперационной реабилитации (с 22 недели до момента окончания реабилитации)		

Для перехода от одного этапа реабилитации к следующему авторы предлагают использовать серию тестов на силу, качество движений и психологические тесты. Послеоперационная реабилитация должна продолжаться в течение 9-12 месяцев.

Существует несколько международных основных документов по реабилитации в спорте, которые широко используются в медицинской практике. Одним из таких документов являются «Клинические рекомендации по восстановлению спортсменов после травмы» (англ. «Clinical Guidelines for Return to Play After Injury»), разработанные Американской ортопедической ассоциацией (AOSSM) в 2016 году [120]. Другим важным документом является «Международный консенсус по методам восстановления в спорте» (англ. «International Consensus on Rehabilitation Methods»), разработанный в 2015 году международной группой экспертов в области спортивной медицины и реабилитации [147].

Один из основных международных документов по реабилитации для населения являются «Международные клинические рекомендации по физической активности и здоровью» (International Physical Activity and Health Guidelines), разработанные Всемирной организацией здравоохранения в 2010 году [139]. В этом документе содержатся рекомендации по физической активности для здоровья людей всех возрастных групп, включая тех, кто находится в процессе реабилитации после травм или операций. Также в документе рассмотрены различные факторы, влияющие на физическую активность, и приведены рекомендации по их учету в процессе реабилитации. В таблице 2 представлены этапы и наполнения программ по реабилитации спортсменов и лиц, не занимающихся спортом после операции реконструкции передней крестообразной связки на основе Международных клинических рекомендаций.

Несмотря на некоторые отличия, главным принципом реабилитации спортсменов и лиц, не занимающихся спортом, остается восстановление поврежденных структур, поддержание оптимального состояния здоровья и профилактика повторных травм.

Таблица 2 – этапы и наполнения программ по реабилитации спортсменов на основе Международных клинических рекомендаций

Этап	Сроки	Наполнение пациенты	Наполнение спортсмены
Этап раннего восстановления	0-2 недели	Основная цель: поддержание подвижности сустава, улучшение кровообращения и снижение отечности, охлаждение	Основная цель: уменьшение боли, отека и воспаления, а также восстановление полного диапазона движения в коленном суставе. Спортсменам назначаются упражнения на растяжку и укрепление мышц, которые не связаны с коленным суставом.
Этап восстановления движения	2-6 недель	Основная цель: укрепление мышц бедра, контроль за болевыми ощущениями и увеличение подвижности сустава	Основная цель: продолжать работу над восстановлением полного диапазона движения в коленном суставе, а также начать укрепление мышц, которые связаны с коленным суставом. Спортсменам назначаются упражнения на укрепление мышц и гибкость, а также на улучшение баланса, растяжку
Этап восстановления функции	6-12 недель	Основная цель: укрепление мышц ног, увеличение стабильности сустава, улучшение баланса и координации движений	Основная цель: спортсменам назначаются упражнения на укрепление мышц коленного сустава, чтобы восстановить силу и функциональность. Это может включать упражнения с отягощениями, упражнения на кардиотренажерах и другие методы. Кроме того, важно продолжать работу над улучшением баланса и координации.
Этап восстановления формы	12 недель и более	Основная цель: повышение нагрузки на мышцы и сустав, развитие навыков и увеличение уровня физической подготовки	Основная цель: спортсмен начинает постепенно возвращаться к спортивной деятельности. Важно, чтобы возвращение к тренировкам происходило постепенно, с увеличением нагрузки и под наблюдением медицинского персонала. Спортсменам также назначаются упражнения на улучшение скорости, координации и силы, растяжки и упражнения на кардиотренажерах
Профилактический этап			После возвращения к спортивной деятельности, спортсмену назначаются профилактические меры, направленные на предотвращение повторных травм и повышение уровня здоровья. Это может включать в себя регулярные упражнения, занятия йогой или пилатесом, правильное питание и другие методы.

Таким образом, реабилитация спортсменов и обычных людей имеет много общего на начальных этапах, однако, на последующих этапах существенные отличия связаны с профессиональной деятельностью спортсменов. Спортивные травмы могут иметь более серьезные последствия для спортсменов, чем для людей, занимающихся спортом в режиме хобби или не занимающихся им, поскольку спортсмены часто подвергаются значительной физической нагрузке и тренируются в более экстремальных условиях.

Спортивные реабилитационные программы могут включать в себя более интенсивные методы лечения и обеспечивать индивидуализированный подход к восстановлению, быть направлены на профилактику травматизма профессионально зависимых областей и тем самым снижать риск повторных травм в будущем.

Также спортсмены имеют специфические требования по реабилитации, связанные с их спортивной дисциплиной, например, когда восстановление должно быть специализированным для конкретных движений или нагрузок, которые спортсмен обычно испытывает во время игры или соревнования.

Существует несколько международных основных документов по реабилитации в спорте, которые широко используются в медицинской практике, а также Российские клинические рекомендации по реабилитации спортсменов, однако в них недостаточное внимание уделяется применению роботизированных биомеханических комплексов.

1.3. Основные направления анатомо-функциональной диагностики нижних конечностей в спортивной медицине

Травмы могут случаться при любых видах физической активности, будь то повседневные бытовые активности, любительские соревнования или спорт высоких достижений. Опираясь на данные статистики о травмах, полученных во время крупных спортивных мероприятий (Олимпиады, Чемпионаты Мира, Чемпионаты Европы), можно судить о важности наличия систематизированных стандартизированных методов диагностики, как для предотвращения

травматизации, так и для оценки показателей спортсменов сразу после получения травмы и оценки состояния по прогнозу возвращения к спортивной деятельности [24, 80, 60, 67, 115, 110, 134, 174, 164, 148, 121].

Динамометрия

Одним из первых методов, который использовался в спортивной медицине для оценки состояния мышечного аппарата, являлся метод мануального мышечного тестирования (ММТ). Метод был заимствован из неврологии, однако, у этого вида диагностики остаются существенные минусы: субъективность оценки, отсутствие четких критериев проведения и интерпретации полученных результатов, невозможность их сравнения в динамике и т.д.

С развитием научно-технического прогресса и критическим переосмыслением значения и влияния состояние мышечного аппарата на стабильность суставного аппарата, появилась необходимость в объективизации полученных результатов. Поэтому были разработаны и введены в практику ручные динамометры. Таким образом, мануальное мышечное тестирование при оценке силы мышцы эволюционировало и смогло приобрести достаточную объективность.

Ручные динамометры обеспечивают количественное измерение силы различных двигательных единиц. Они считаются простыми в использовании, имеют компактные размеры. Общая доступность этих устройств оправдывает дальнейшее широкое применение в практике специалистов, но достоверность ручных динамометров для измерения силы нижних и верхних конечностей по данным литературы сильно отличается. Например, некоторые авторы сообщают о стандартной ошибке измерения, выраженной в процентах от средней стандартной погрешности измерения 4% при оценке силы сгибателей колена [171]. В то же время некоторые ученые приводят данные о 14% стандартной погрешности измерения [125]. Таким образом, ручные динамометры, не смотря на их распространенность, не могут претендовать на роль «золотого стандарта» в диагностике состояния опорно-двигательного аппарата [64, 116, 170, 146, 104, 127, 193, 103, 194].

На протяжении последних двух десятилетий применение изокинетических динамометров становится все более популярным в спорте и других областях науки [35, 149, 146, 151, 126, 159]. Термин «изокинетический» переводится с греческого языка как «постоянная скорость движения» и характеризует процесс, при котором сегмент тела двигается по определенной амплитуде с предварительно заданной фиксированной скоростью.

В исследовании реабилитологов была показана хорошая надежность и точность измерений силы плечевого сустава при измерении изокинетическими динамометрами [187]. Надежные результаты исследований, особенно для мышц нижних конечностей, сделали изокинетические динамометры главным претендентом на звание «золотого стандарта» в диагностике мышечной силы, главным образом потому, что на результаты не влияет дисбаланс сил между пациентом и врачом, в результате чего максимальный крутящий момент может поддерживаться на протяжении всего диапазона движения [130, 144, 124, 163].

Оценка координационных способностей

Для успешного обучения физическим упражнениям необходим высокий уровень координационных способностей. Именно с их помощью происходит обучение спортивной технике, ее дальнейшая стабилизация и адекватное применение в различных спортивных ситуациях. Наличие высоких координационных способностей значительно упрощает управление движениями, способствует усвоению двигательного опыта и эффективному выполнению двигательных действий при постоянно растущих профессиональных требованиях [59, 93, 3, 95].

Высокий уровень координации необходим в таких видах деятельности, как спорт, армия, МЧС и другие, где люди испытывают максимальные физические нагрузки.

Высокий уровень координационной способности и сбалансированного распределения нагрузки тела заключается в согласованной работе мышц синергистов и антагонистов, что обеспечивает плавность и соразмерность движений [75, 93, 114, 138, 140]. Согласованность движений отдельных звеньев

тела в пространстве и времени зависит от двигательной задачи текущей ситуации и функционального состояния организма [102, 129, 178].

Так, было проведено исследование 18-ти квалифицированных спортсменов-двоеборцев, оценивалась возможность технико-стабилизирующих упражнений в формировании устойчивого положения стрелка из боевого пистолета в служебном двоеборье. Было выявлено, что увеличение площади опорной поверхности, равномерное распределение веса тела, совершенствование автоматических механизмов удержания изготовления оказывает положительное влияние на постральную устойчивость стрелка из боевого пистолета [86].

В других работах была определена необходимость применения различных упражнений в построении общей физической подготовки, способствующих повышению координации и ловкости [25].

Исследования по разработке технологии на основе развития координационных способностей, оптимизирующих процесс технической подготовки бойцов рукопашного боя приводят к выводу, что координационный навык упорядочивает и объединяет новые разученные технические движения и ориентирован на стратегическое прогрессирование действий спортсменов во время поединка [59].

Таким образом, развитие координационных способностей опосредовано влияет на такие физические качества, как сила, скорость и выносливость. Соответственно, высокий уровень координации – это высокий уровень физических качеств человека.

Исследование компонентного состава тела

С целью прогнозирования индивидуальных особенностей организма на предлагаемую физическую нагрузку, использование диагностических возможностей превентивной направленности позволяет оценить состояние органов и систем на тканевом и клеточном уровнях. Метод биоимпедансометрии (БИА) за последние четыре десятилетия зарекомендовал себя, как популярный метод оценки состава тела, и на сегодняшний день является одним из самых

доступных и простых методов морфологической и функциональной диагностики в клинической медицине, спорте, эпидемиологических исследованиях.

Так, например, для разработки критериев оценки эффективности тренировочного процесса аэробной и анаэробной направленности на основании комплексного анализа трофологического статуса спортсменов использовали метод исследования компонентного состава тела. В результате исследования морфологических показателей были выявлены отличия двоеборцев прыжкового типа от представителей гоночного и универсального типов соревновательной подготовленности [5].

При изучении показателей мышечного, костного и жирового компонентов тела у спортсменов были использованы следующие диагностические методы: антропометрия, компонентный состав тела, биохимический анализ крови. По итогу проведенной работы были установлены морфологические и метаболические особенности, которые сформировались под влиянием регулярной физической активности [69].

С использованием методов биоимпедансометрии, антропометрии и различных функциональных проб, было выявлено, что у девушек, занимающихся в группе с высокой интенсивностью нагрузки, достоверно увеличился объем мышечной массы в отличие от группы сравнения [54].

Таким образом, приведенные примеры различных исследований с использованием метода биоимпедансометрии, показывают информативность и широкую применяемость данного метода в различных областях деятельности человека, при необходимости контроля за физическим состоянием людей. Так же неоспоримым преимуществом использования биоимпедансометрии для оценки физического состояния человека, является простота и быстрота проведения обследования.

1.4. Роботизированная биомеханика в спортивной медицине

Впервые разработал и применил простые механические тренажеры при диагностике и коррекции функций опорно-двигательного аппарата Густав Цандер

в 1875 году. Одним из векторов дальнейшего развития данного направления было использование изокинетических динамометров, которые в настоящее время включают и роботизированные биомеханические комплексы, например Кон-Трекс [32].

В дальнейшем были разработаны изотонические механические тренажеры, в которых на разных скоростях использовался постоянный вес или сопротивление. В конце 1960-х годов появились изокинетические тренажеры, разработчиком которых был инженер-биомеханик Д. Перрин. Такой тренажер с предварительно заданной фиксированной скоростью и полностью приспособляемым сопротивлением, позволяет измерить крутящий момент в суставе, создаваемый мышечным усилием в различных углах.

На протяжении последних 20 лет применение изокинетических динамометров становится все более популярным в спорте, исследованиях и научных работах в различных областях [149, 146]. Точность и надежность полученных в исследованиях результатов, характеризующих особенности мышечного аппарата нижней конечности, позволяют определить изокинетические динамометры как стандартную методику диагностики мышечной силы [64, 109], главным образом потому, что на результаты не влияет дисбаланс сил между участником и экзаменатором, в результате чего максимальный крутящий момент может поддерживаться на протяжении всего диапазона движения [27, 140].

Действительно, изокинетические динамометры предоставляют механически достоверные и надежные результаты измерения крутящего момента и скорости движения, как для клинических, так и для исследовательских целей. Тем не менее, повышенная стоимость этих устройств ограничивает возможность их широкого применения в клинической практике. Не смотря на то, что большая часть исследователей считает этот вид исследования «золотым стандартом» диагностики состояния опорно-двигательного аппарата, различия в стандартной погрешности измерения (SEM %) все так же отмечаются у различных авторов и разнятся от исследования к исследованию.

В исследованиях оценивающих крутящий момент, производимый при сгибании колена, и при угловой скорости $90^\circ/\text{сек}$ с обеих сторон, и не обнаружили существенных различий между группами сравнения [126]. Другая группа учёных сравнивала полученные результаты крутящего момента при сгибании колена $70^\circ/\text{сек}$, $90^\circ/\text{сек}$ и $110^\circ/\text{сек}$ от кривой крутящего момента, полученной при тестировании на угловой скорости равной $60^\circ/\text{сек}$. Авторы обзора пришли к выводу, что перед взятием аутооттрансплантата из полусухожильной мышцы бедра или из сухожилий полусухожильной мышцы бедра в комбинации тонкой мышцы бедра стоит предварительно проводить изокинетическое тестирование мышц нижних конечностей, и после этого принимать решение о том какой вид трансплантата является более подходящим и взятие которого окажет меньшее влияние на снижение силовых показателей мышц сгибателей колена [108].

В систематическом обзоре 2018 года, опубликованном в журнале «Sports Health» оценивались различные терапевтические модальности в лечении пателофemorального болевого синдрома (ПФБС) коленного сустава, сила мышц нижних конечностей оценивалась с помощью изокинетического динамометра. По результатам тестирования, проведенного в значительной популяции бегунов, было обнаружено, что снижение силовых показателей мышц разгибателей колена имеет прямую корреляцию с возникновением пателофemorального болевого синдрома [38]. В публикации в том же журнале «Sports Health» рассматривали программы профилактики травматизма передней крестообразной связки коленного сустава, одним из инструментов оценки выступало изокинетическое тестирование мышц нижних конечностей участников. По результатам оценки у всех участников прошедших один из трех вариантов программ, направленных на профилактику травматизации передней крестообразной связки коленного сустава, отмечалось увеличение силы мышц сгибателей колена, в обзоре не упоминается по какому протоколу осуществлялось тестирование [175].

Применение изокинетического тестирования является объективным способом оценки динамической стабильности коленного сустава при

объективизации эффективности качества результатов реабилитации после реконструкции ПКС [149].

Рядом авторов в качестве причины повторных травм коленного сустава у профессиональных спортсменов рассматривается недостаточность проприоцептивного контроля после пластики ПКС [48]. Авторы предлагают проведение тестирования спортсмена с применением изокинетической динамометрии на роботизированном биомеханическом комплексе, стабилотметрии и функциональных тестов через каждые два месяца после операции по пластике крестообразных связок. Авторский коллектив утверждает, что такая комплексная объективная оценка опорно-двигательного аппарата дает максимально объективную картину функционального состояния спортсмена.

Учеными проведено исследование оценки надежности протоколов тестирования изометрической и изокинетической силы коленного и голеностопного суставов у здоровых молодых людей с использованием нового изометрического и изокинетического полисуставного динамометра. Тест представлял собой оценку изокинетической и изометрической силы коленного и голеностопного суставов при сгибании и разгибании. Результаты показали, что мультисуставная система оценки является надежным устройством для оценки изокинетической и изометрической силы коленного и голеностопного суставов у здоровых взрослых людей [100].

Для оценки функционального состояния опорно-двигательного аппарата, включая компоненты силы, скорости, мощности движения при максимальной или субмаксимальной нагрузке, хорошо себя зарекомендовал роботизированный биомеханический комплекс Кон-Трекс.

Исходя из вышесказанного можно сделать вывод, что внедрение в реабилитационно-восстановительные программы спортсменов методик работы на роботизированных биомеханических комплексах позволяет использовать широкий спектр тренировок основных суставов и других физиологических способностей спортсмена, а также при помощи правильно подобранной нагрузки

увеличить внутримышечную и межмышечную координацию и оптимизировать движения спортсмена [55, 51, 60, 62, 63, 56, 47, 109, 131, 192, 158, 189, 121].

Таким образом, результаты обзора литературных источников свидетельствуют о том, что применение изокинетических динамометров имеет недостатки: отсутствует возможность точного дозирования силы и скорости, а также не фиксируется амплитуда движения при выполнении спортсменом специального упражнения. Такие данные говорят об актуальности изучения проблем реабилитации спортсменов после травм и операций на коленном суставе с применением роботизированных биомеханических комплексов. Предполагается, что применение роботизированных биомеханических комплексов с их техническими преимуществами позволит повысить эффективность реабилитационно-восстановительного лечения спортсменов на третьем этапе реабилитации, детально изучить динамику изменений силовых, скоростных и мощностных показателей ОДА нижних конечностей. Разработка адекватного реабилитационно-восстановительного комплекса, основываясь на атравматичном принципе, будет направлена на восстановление и улучшение стабильности миоэнтезического аппарата травмированной области, восстановления полного объема движения в коленном суставе, а также сенсомоторного контроля в управлении движениями.

ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1. Организация исследования, характеристика экспериментальной выборки

Исследование проводилось в Центре спортивной медицины и реабилитации ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А. И. Бурназяна ФМБА России.

Участие в исследовании подтверждалось подписанием информированного согласия спортсменом на обследование и реабилитационно-восстановительное лечение. Критериями включения в исследование являлись спортсмены, мужчины и женщины в возрасте от 18 до 30 лет, уровень спортивного мастерства не ниже 1 взрослого разряда, третий этап реабилитации* (* – Клинические рекомендации по реабилитации высококвалифицированных спортсменов после оперативного лечения травм и заболеваний нижних конечностей под редакцией В. В. Уйба, Москва, ФМБА, 2018), проходившие 1 и 2 этапы реабилитации, и подписание информированного согласия.

Критериями исключения были возраст спортсменов моложе 18 и старше 30 лет и состояние, не соответствующее 3 этапу по результатам МРТ-обследования, ортопедическим и травматологическим тестам, и не проходившие 1 и/или 2 этапы реабилитации.

К критериям прекращения исследования были отнесены: отказ спортсмена от участия в исследовании и нарушение режима реабилитационно-восстановительного лечения.

Исследование проведено с соблюдением этических принципов и требований в соответствии с Хельсинской декларацией «Этические принципы медицинских исследований с привлечением человека» (2008) и было одобрено ЛЭК ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А. И. Бурназяна ФМБА России (выписка из протокола № 117 от 30.05.2024).

Исследование проводилось в течение 3 лет (с 2021 по 2023 гг.). В исследовании на различных этапах приняли участие 527 спортсменов разных видов спорта, различного уровня спортивного мастерства, но не ниже КМС. Средний возраст спортсменов, проходивших реабилитацию с травмами колена,

составил $23,2 \pm 4,45$ у мужчин и $22,8 \pm 4,2$ года у женщин. Средняя продолжительность спортивной карьеры $11,3 \pm 6,8$ лет.

Дизайн исследования представлен на рисунке 5.

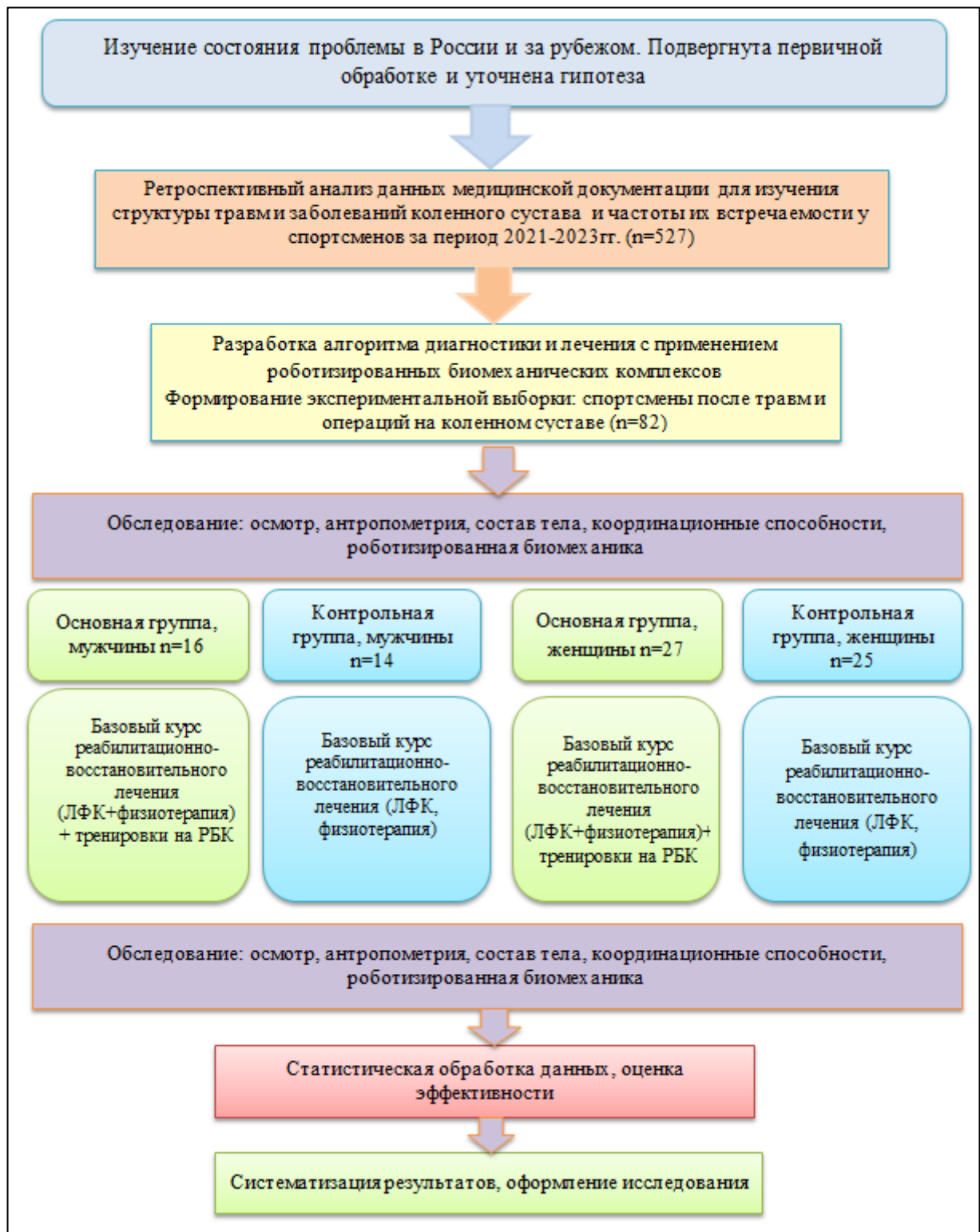


Рисунок 5 – Дизайн исследования

Исходя из задач данного исследования, работа выполнялась в пять этапов (таб. 3).

Таблица 3 – Этапы диссертационного исследования

Этап исследования	Результаты	Объем исследования
1 этап	Проведен теоретический анализ научной литературы по выявленной проблеме. Проанализированы основные направления в реабилитационно-восстановительном лечении спортсменов, а также применение роботизированных биомеханических комплексов. Уточнена гипотеза.	195 источников литературы из них 7 нормативно-правовых документов
2 этап	На основе ретроспективного анализа медицинской документации спортсменов, проходивших реабилитационно-восстановительное лечение на базе ЦСМиР (период 2021-2023 год), изучена структура травм и заболеваний коленного сустава.	527 спортсменов
3 этап	Сформирован комплекс методов реабилитационно-восстановительного лечения спортсменов с применением роботизированных биомеханических комплексов. Разработан алгоритм применения РБК.	82 спортсмена
4 этап	Поведена оценка эффективности программы реабилитационно-восстановительного лечения спортсменов с применением роботизированных биомеханических комплексов. Определена диагностическая и терапевтическая ценность метода.	82 спортсмена
5 этап	Обобщены и систематизированы полученные результаты, уточнены теоретические выводы, завершено литературное оформление диссертации.	–

На первом этапе проведен анализ литературы по теме исследования и содержащей данные о частоте встречаемости травм и заболеваний коленного сустава спортсменов и сведения об основных направлениях и методах реабилитационно-восстановительного лечения спортсменов с подобной нозологией, а также применении роботизированных биомеханических комплексов в практике спортивных врачей и реабилитологов.

На втором этапе, ретроспективно была подвергнута анализу генеральная совокупность клинических случаев, изучалась структура травм и заболеваний и частота их встречаемости у спортсменов, проходивших лечение в ЦСМиР в период с 2021 по 2023 гг. На данном этапе было изучено и проанализировано 527 случаев обращения спортсменов за медицинской помощью в ЦСМиР. Данные спортсмены были представителями различных видов спорта и уровня спортивного мастерства не ниже КМС.

На третьем этапе, на основании критериев включения была сформирована экспериментальная выборка из 82 спортсменов, мужчин и женщин, сформированы контрольная и основная группы. В контрольную группу спортсменов на 3 этапе реабилитационно-восстановительных мероприятий вошли мужчины ($n=14$) и женщины ($n=25$), уровень спортивного мастерства не ниже КМС, $22,4 \pm 3,84$ года и $22,86 \pm 5,02$ года, соответственно. В основную группу на 3 этапе реабилитационно-восстановительных мероприятий вошли мужчины ($n=16$) и женщины ($n=27$), уровень спортивного мастерства не ниже КМС, $21,31 \pm 2,91$ года и $22,04 \pm 3,36$ года, соответственно.

Характеристика исследовательской выборки представлена в таблице 4.

Таблица 4 – Характеристика исследовательской выборки на различных этапах исследования

Этап исследования и распределение по группам		Пол	Количество, человек	Средний возраст
2 этап		Мужчины	253	$22,54 \pm 3,69$
		Женщины	274	$22,19 \pm 3,83$
3 и 4 этапы	Контрольная группа	Мужчины	14	$22,86 \pm 5,02$
	Основная группа	Женщины	25	$22,4 \pm 3,84$
	Контрольная группа	Мужчины	16	$21,31 \pm 2,91$
	Основная группа	Женщины	27	$22,04 \pm 3,36$
Всего		-	527/82	-

На четвертом этапе была проведена оценка эффективности различных схем реабилитационно-восстановительного лечения у 82 спортсменов, прошедших реабилитационно-восстановительные мероприятия в ЦСМиР с применением тренировок на РБК и без них. На пятом этапе были систематизированы полученные результаты, уточнены теоретические выводы, завершено литературное оформление диссертационного исследования.

Исходное диагностическое обследование проводилось при поступлении в ЦСМиР до начала реабилитационных мероприятий, затем однократно в 20-21 день перед выпиской. Наполнение обследования, кратность и исследуемые показатели представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Методы исследования

Методы диагностики	Исследуемые показатели	При поступлении	После курса лечения
Осмотр спортивного врача	ВАШ	+	+
Антропометрия нижних конечностей		+	+
Исследование компонентного состава тела		+	+
Исследование координационных способностей при помощи стабиллоплатформы «Кобс»		+	+
Исследование силовых и мощностных характеристик нижних конечностей при помощи роботизированного биомеханического комплекса «Кон-Трекс»		+	+

В таблице 6 представлены методы лечения, частота и кратность их применения. Подробное описание методов диагностики и лечения представлено в разделе 2.2.

Таблица 6 – Методы лечения

Методика	Группа	1 неделя					2 неделя					3 неделя				
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ЛФК с элементами кинезотерапии и стрейчинга	Основная	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Контроль	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Селективная электростимуляция лимфатической и венозной систем от аппарата BODYDRAIN	Основная	+		+		+		+			+				+	
	Контроль	+		+		+		+			+				+	
Магнитотерапия от аппарата MANTIS	Основная	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+					
	Контроль	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+					
Электростатический массаж нижних конечностей от аппарата Хивамат	Основная	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+					
	Контроль	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+					
Роботизированный биомеханический комплекс Кон-Трекс, модуль MJ	Основная	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Контроль	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

+ методика применялась

- методика не применялась

2.2. Материалы и методы

В качестве методов исследования использовались такие клинические методы как сбор спортивного анамнеза, осмотр спортивного врача, физикальное обследование, метод антропометрии, а также клинико-инструментальные и функциональные методы исследования, подробно изложенные ниже.

2.2.1. Методы диагностики функционального состояния коленного сустава

Осмотр и сбор анамнеза

Сбор анамнеза – это первый этап диагностического поиска, его относят к субъективным методам врачебного обследования. В спортивной медицине кроме стандартного анамнеза жизни и заболевания (травмы), подробно собирают спортивный анамнез. В нем содержатся сведения об избранном виде спорта, стаже спортивной деятельности, уровне спортивного мастерства, участие в соревнованиях и результативность, наличие травм и заболеваний и их последствия, характер тренировочной и соревновательной нагрузки на момент обследования и т.д. Эти сведения, помимо прочего, помогают определить уровень возможной двигательной нагрузки на момент обращения, рекомендовать или исключить какие-то виды нагрузки.



Рисунок 6 – Визуально-аналоговая шкала интенсивности боли

Оценку интенсивности боли проводили при помощи визуальной аналоговой шкалы (далее – ВАШ). ВАШ – это линейная мера измерения уровня интенсивности болевого синдрома. Метод представлен горизонтальной 10

сантиметровой шкалой с шагом в 1 см (рисунок 6). Каждый сантиметр шкалы соответствует 1 баллу. Начало шкалы соответствует 0 баллам – отсутствие болевого синдрома, а крайняя точка 10 баллов отражает самую сильную боль, которую можно себе представить. Расстояние между началом шкалы и выбранной отметкой измерялось в сантиметрах и округлялось до целого значения. Спортсменам предлагалось сделать на шкале отметку, которая соответствовала интенсивности испытываемого болевого синдрома на момент осмотра. При выборе отметки на 1-2 см боль оценивалась как слабая, от 3 до 4 см – умеренная, 5-6 см – сильная, 7-8 см – сильнейшая и 9-10 см – невыносимая. Оценка 7 и более являлась критерием исключения из исследования.

Антропометрия нижней конечности

В спортивной медицине антропометрическое исследование является важной частью исследования физического развития и включает в себя определение длины, диаметров, окружностей и др. В данном исследовании проводилась антропометрия нижних конечностей.

При помощи сантиметровой ленты проводится сравнительное измерение больной и здоровой конечности. При патологии суставов измеряют окружность конечности на уровне суставов.

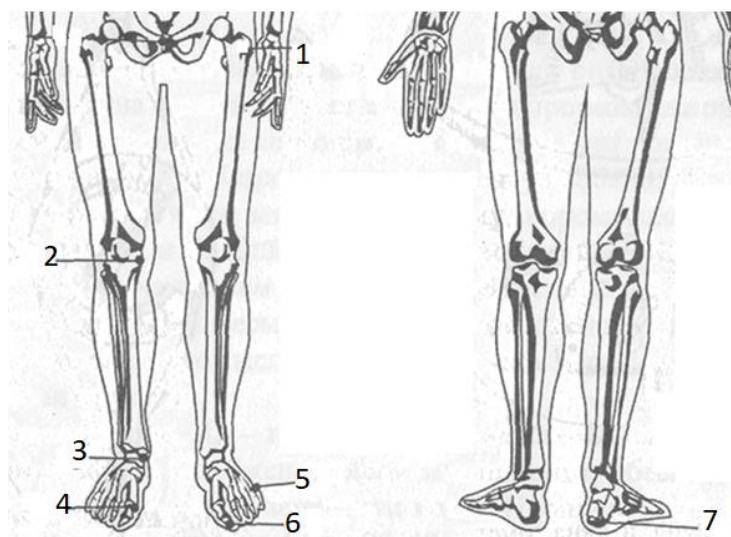


Рисунок 7 – Антропометрические точки на нижней конечности:

- 1 – вертельная, 2 – верхнеберцовая внутренняя, 3 – нижнеберцовая внутренняя, 4 – плюсневая внутренняя, 5 – плюсневая наружная, 7 – пяточная, 8 – конечная

При измерении объема средней трети бедра начало сантиметровой ленты накладывали на точку, которая соответствовала середине расстояния от паховой области до коленного сустава.

При проведении антропометрии нижней трети бедра отмечали точку, расположенную на 5 см кверху от верхнего полюса надколенника. На данную точку накладывали сантиметровую ленту и оборачивали вокруг бедра.

Чтобы измерить окружность коленного сустава, в качестве точек наложения сантиметровой ленты были определены середина надколенника спереди и середина подколенной ямки сзади.

Вокруг каждой из перечисленных точек оборачивали сантиметровую ленту так, чтобы она не сдавливала подлежащие ткани. Для повышения точности измерений процедура повторялась трижды, фиксировалось среднее значение.

Для оценки отека коленного сустава использовались данные, полученные при антропометрии нижней трети бедра и коленного сустава. Поскольку не существует стандартизированной шкалы определения отека в суставе, степень выраженности отека определялась по шкале от 0 до 3 баллов, где 0 баллов соответствует отсутствию разницы по данным антропометрии указанных областей контрлатеральных конечностей. До 1 см разницы отек определялся как незначительный и соответствовал 1 баллу; разница от 1 до 2 см характеризовалась как умеренный отек, что приравнивалось к 2 баллам; разница более чем в 2 см означала выраженный отек и соответствовала 3 баллам (рис. 7).

Гониометрия

Гониометрия коленного сустава определяет объем движений в суставе и проводится при помощи гониометра (угломера). Одним из ключевых результатов и измеримых переменных при любой процедуре на коленном суставе является диапазон движений. Для нормальной походки требуется 67° сгибания, 83° – для подъема и 90° – для спуска по лестнице, 93° – для вставания из положения сидя и 105° – для завязывания шнурков. Полное разгибание колена также является ключом к снижению сокращения четырехглавой мышцы и расхода энергии при стоянии и ходьбе.

В работе оценивались данные активного и пассивного сгибания/разгибания в коленном суставе.

При проведении гониометрии спортсмену разъяснялись цели и последовательность действий. При измерении угла разгибания в коленном суставе спортсмен лежит на кушетке на спине с выпрямленными ногами. Центр гониометра располагался на латеральном мыщелке бедренной кости. Одной рукой фиксировался гониометр, вторая рука фиксировала бедро спортсмена для предотвращения движений в тазобедренном суставе. Чтобы зафиксировать значение активного разгибания, спортсмена просили совершить максимальное выпрямление в коленном суставе, после чего на гониометре фиксировался угол, образованный между бедром и голенью. Для измерения значения пассивного разгибания, одной рукой выполнялось максимальное разгибание в коленном суставе спортсмена без активного его участия. По достижении максимального возможного угла до возникновения болевого синдрома фиксировалось значение угла между бедром и голенью на гониометре.

При измерении угла сгибания в коленном суставе спортсмен находился в положении лежа на животе с выпрямленными ногами на кушетке. Центр гониометра расположен на латеральном мыщелке бедренной кости. Одна рука (врача) фиксирует гониометр, вторая – предотвращает движение в тазобедренном суставе. Спортсмену предлагалось самостоятельно максимально согнуть ногу в коленном суставе, при достижении максимальной амплитуды гониометром фиксировался угол между бедром и голенью. Для измерения значения пассивного сгибания в коленном суставе выполнялось движение без активного участия спортсмена до достижения болевого синдрома. По достижении максимальной амплитуды значение фиксировалось на гониометре.

Таким образом, точность антропометрических измерений имеет ключевое значение, как для оценки динамики прогресса пациента, так и для исследований.

При проведении осмотра использовались тесты «Лакмана» (Lachman's test), «Переднего выдвижного ящика», «Заднего выдвижного ящика, вальгусной и варусной нагрузки на коллатеральные связки коленного сустава, МакМюррея

(McMurray`s test), определение подвижности надколенника, дистракции и компрессии Arpley и мануально-мышечное тестирование. Подробное описание методов приведено в Приложении 1.

Исследование опорно-двигательных навыков и координационной способности (силовая платформа «Кобс»)

В согласованности двигательных актов участвует целый ряд сложных механизмов: вестибулярный аппарат, зрительный анализатор, многочисленные мышечные группы, рецепторы сухожилия и связочный аппарат суставов. Среди основных механизмов можно выделить механизмы мышечного тонуса и проприоцептивные рефлексy. Для оценки статодинамических характеристик проводился тест «присед в трех углах» в динамическом режиме. Для анализа были отобраны следующие параметры: «Распределение нагрузки» (сила давления левой/правой ноги при выполнении линейных движений или для поддержания статического положения); «Индекс симметрии» (общий показатель согласованности левой/правой стороны мышц нижних конечностей при решении двигательной задачи).

Обследование проводилось с помощью силовой платформы «Кобс». Интерфейс силовой платформы представлен на рисунке 8.

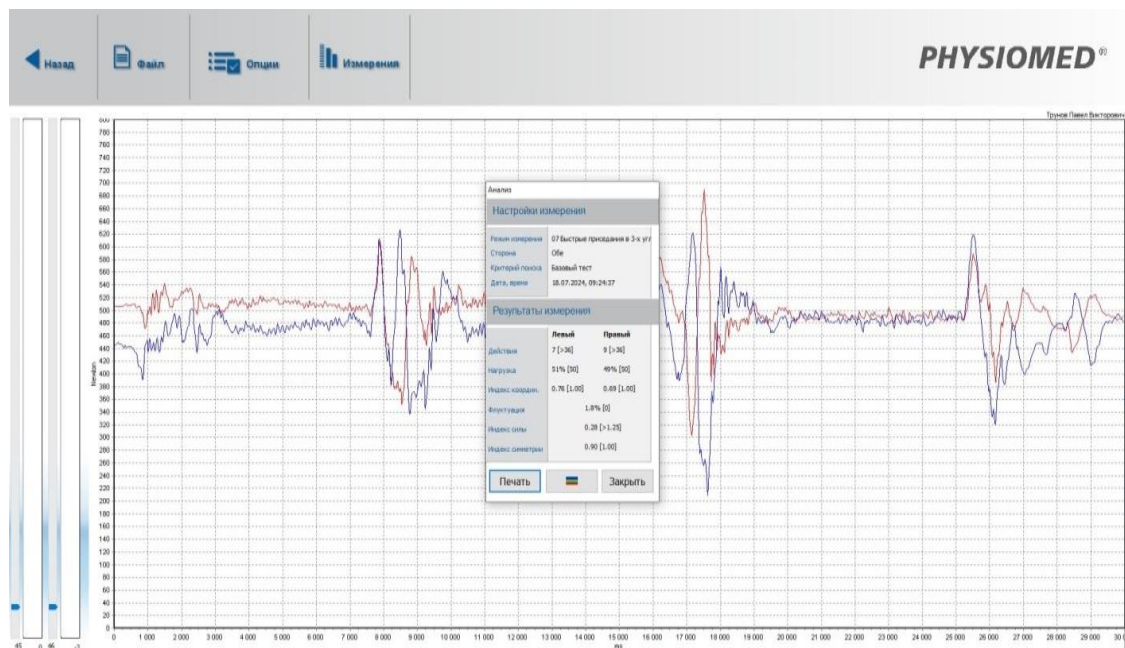


Рисунок 8 – Интерфейс силовой платформы «Кобс»

Диагностические тесты без биологической обратной связи проводились до начала и по завершению реабилитационно-восстановительного лечения. Со спортсменом проводился инструктаж по техническому выполнению теста.

Тест «Присед в 3-х углах» проводится в течение 30 секунд. Исходное положение стоя на двух ногах. Первый угол сгибания в коленях 45 градусов, задержка в этом положении на 8 секунд, затем возвращение в исходное положение. Последующие углы сгибания 90 градусов и 120 градусов с 8ми-секундным удержанием угла сгибания и возвращением в исходное положение между приседами. В таблице 7 приведены нормативные значения теста «Присед в 3-х углах».

Таблица 7 – Нормативные значения теста «Присед в 3-х углах»

Степень снижения	Тесты
	«присед в трех углах»
3 степень	0,65-0,74
2 степень	0,75-0,79
1 степень	0,80-0,88

Исследование компонентного состава тела (АПК «Медасс»)

Методикой выбора для оценки показателей компонентного состава тела явился АПК «Медасс», основанный на биоимпедансном анализе, который относится к точным методам.

При помощи АПК «Медасс» измеряют резистивное и реактивное сопротивления тканей человеческого организма. Две пары электродов замыкают цепь рука-туловище-нога, подается зондирующий электрический разряд синусоидального тока с постоянной частотой 50 кГц и мощностью не более 500-800 мкА. Диапазон значений импеданса биологического объекта от 200 до 1000 Ом.

Для оценки нами были отобраны следующие показатели:

Мышечная масса тела служит мерой адаптационного резерва организма и составляет в среднем 30-40% веса. Служит для характеристики физического развития индивида.

Фазовый угол – интегральный показатель состояния клеток организма, отражающий уровень общей работоспособности и интенсивности обмена веществ. Фазовый угол можно рассматривать как количественный показатель состояния и работоспособности мышечной ткани человека и уровня обмена веществ.

Исследование силовых способностей при помощи методов роботизированной биомеханики (роботизированный биомеханический комплекс Кон-Трекс)

Роботизированный биомеханический диагностический и тренажерный комплекс с биологической обратной связью (далее РБК Кон-Трекс) применялся для оценки и тренировок функционального состояния опорно-двигательного и нейромышечного аппарата спортсмена. Измерялся объем выполняемого движения, усилие и оптимальные скоростные характеристики движения.

Различные модули РБК Кон-Трекс представлены на рисунках 9-11.



Рисунок 9 – Модуль TP/MJ



Рисунок 10 – Модуль WS



Рисунок 11 – Модуль LP

Перед назначением и разработкой индивидуальной программы тренировок, в первый день занятий спортсмену проводится диагностика исходного состояния на РБК Кон-Трекс. После серии занятий проводится заключительная диагностика, полученные динамические показатели позволяют оценивать эффективность проведенных тренировок.

Интегральными показателями оценки эффективности тренировок с использованием РБК Кон-Трекс являются: силовые (максимальная, средняя, удельная сила), скоростные (максимальная и средняя скорость), время достижения максимального усилия (сек).

Для более точного проведения тестирования и анализа полученных результатов, спортсмен должен предоставить следующую информацию (от врача команды): данные последнего УМО; недавно перенесенные острые заболевания, травмы.

Критерии допуска спортсмена к тестированию на РБК Кон-Трекс:

- отсутствие жалоб на состояние здоровья;
- отсутствие на момент обследования острых воспалительных заболеваний (ангина, гайморит, ринит, синусит и т.д.);
- последний прием пищи - не менее чем за 2 часа до исследования;
- наличие спортивной формы, спортивной обуви (кроссовки).

Показания к проведению тестирования на РБК Кон-Трекс:

- определение силовых, скоростных и мощностных показателей;
- определение выносливости и утомляемости;
- определение внутри- и межмышечной координации;
- определение уровня восстановления после травмы.

Противопоказания к проведению тестирования на РБК Кон-Трекс:

- наличие в анамнезе оперативных вмешательств на опорно-двигательном аппарате сроком до 1 месяца;
- лихорадочные состояния;
- отказ от проведения обследования;
- травмы не совместимые с проведением предполагаемой нагрузки;
- наличие выраженного болевого синдрома;
- беременность.

Критерии прекращения нагрузочного тестирования на РБК Кон-Трекс:

- ухудшение самочувствия в ходе тестирования;
- субъективное ощущение невозможности более продолжать тестирование;
- резкий болевой синдром, не позволяющий проведение дальнейшего тестирования.

Обеспечение безопасности проведения нагрузочного тестирования на РБК Кон-Трекс:

- непрерывный контроль медицинского персонала (врач, инструктор), имеющего допуск к работе на РБК;
- 3-уровневая система безопасности РБК Кон-Трекс.

Форс-мажорные обстоятельства, возможные в ходе тестирования на РБК Кон-Трекс и способы их решения:

При падении или отсутствии напряжения в электробытовой сети, нарушение работы управляющего персонального компьютера проведение теста прекращается до восстановления электроснабжения и работоспособности системы в целом.

Инструктаж для спортсменов, участвующих в тестировании на РБК Кон-Трек.

Посторонние разговоры во время тестирования не допустимы, за исключением ответов на вопросы о самочувствии и переносимости физической нагрузки.

Тестирование проводится в несколько этапов. Первый подход является ознакомительным и разминочным (движение совершается в пассивном режиме за счет робота), целью которого служит понимание типа и амплитуды движения. Далее проводится тест в виде серии самостоятельных подходов на разных скоростях и с разным количеством повторений. От спортсмена требуется выполнение движений с максимальным усилием и максимальной скоростью.

В начале и в конце реабилитационно-восстановительного лечения проводилась оценка уровня силовых, скоростных и мощностных показателей как больной, так и здоровой ноги, определялся уровень функции двигательного комплекса (амплитуда движения, сила, скорость, мощность, утомление и т.д.). Протокол диагностики сгибание/разгибание в коленном суставе на модуле MJ приведен в таблице 8.

Таблица 8 – Протокол диагностики на модуле МЖ РБК Кон-Трекс по протоколу сгибание/разгибание в коленном суставе

№№	Режим	Кол-во подходов	Кол-во повторений	Скорость, °/сек	Пауза между подходами, сек
1	Изокинетический-баллистический, кон-кон	1	8	60	60
2	Изокинетический-баллистический, кон/кон	1	10	120	60
3	Изокинетический-баллистический, кон/кон	1	12	180	60
4	Изокинетический-баллистический, кон/кон	1	6	30	-

Анализу подвергались значения следующих показателей: крутящий момент максимальный (Н·м.), удельная средняя мощность (Вт/кг), удельный средний крутящий момент (Н·м/кг) на различных скоростях. Работа на скорости $V=30^0/\text{сек}$ оценивает профиль силы, $V=60^0/\text{сек}$ оценивает уровень межмышечной координации, $V=120^0/\text{сек}$ – показатели внутримышечной координации, $V=180^0/\text{сек}$ – скоростная выносливость.

Стандартная методика тренировки на РБК Кон-Трекс предполагает 50% времени на пассивную разработку, 40% – на активную и 10% – на силовую работу в различных режимах. Разработанная нами методика тренировок с применением РБК Кон-Трекс подробно описана в главе 3 п. 3.2.

2.2.2. Методы реабилитационно-восстановительного лечения

В Центре спортивной медицины и реабилитации ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А. И. Бурназяна ФМБА России за более чем десятилетний период работы накоплен большой опыт использования различных методик при составлении программ реабилитации спортсменов при различных нозологиях, в том числе после травм и операций на коленном суставе.

Лечебная физкультура

На 3 этапе реабилитационного лечения основными задачами являются:

1. формирование гипертрофии мышц бедра и голени с пораженной стороны с одновременным восстановлением показателей мышечной силы и стабильности коленного сустава;
2. восстановление объема сегментов нижних конечностей под контролем данных, полученных при антропометрии;
3. восстановление значений показателей мышечной силы сегментов поврежденной нижней конечности до значений показателей мышечной силы здоровой нижней конечности (с допустимой разницей до 10% – физиологическая норма);
4. контроль отека в области коленного сустава с пораженной стороны;
5. восстановление стабильности и координации движения в коленном суставе.

Занятия ЛФК включали элементы стретчинга (растяжки) и ОФП, с применением свободных весов и спортивных снарядов (гантели, штанга и т.д.).

Упражнения ЛФК проводились в динамическом, статодинамическом и статическом режимах с отягощением через утяжелители на нижние конечности, резиновые петли и ленты, балансировочные подушки, круги (Приложение 2).

Физиотерапевтические процедуры

На третьем этапе реабилитации применялась магнитотерапия, электростатический массаж глубокой осцилляции нижней конечности, селективная электростимуляция лимфатической и венозной систем с целью купирования отека, улучшения микроциркуляции и регенерации на тканевом уровне в зоне оперативного вмешательства/травматического поражения, а также для усиления процессов общего восстановления организма на фоне предлагаемых физических нагрузок [33].

В таблице 9 представлено описание физиотерапевтических методов, примененных в диссертационном исследовании у спортсменов после травм и операций в рамках проведения реабилитационно-восстановительного лечения.

Таблица 9 – Физиотерапевтические методы и методики реабилитационно-восстановительного лечения спортсменов после травм и операций на коленном суставе на 3 этапе реабилитации

№№	Название методик	Время, мин	Режим	Область (место) наложения
1	Селективная электростимуляция лимфатической и венозной систем от аппарата BODYDRAIN	20	Общий, двухканальный с использованием 4 электродов	Наложение электродов на дистальные отделы верхних и нижних конечностей с захватом области коленного сустава (стопа – средняя треть предплечья с одной стороны и с противоположной)
2	Магнитотерапия от аппарата MANTIS	15	Магнитотерапия	На область коленного сустава (4 позиции – над надколенником, под надколенником, с медиальной и латеральной сторонами) по стабильной методике по 3,5-4 минуте
3	Электростатический массаж нижних конечностей от аппарата Хивамат	25	Отек	По нижней конечности с захватом верхней трети голени и нижней трети бедра через зону коленного сустава

2.2.3. Методы статистической обработки

Статистическая обработка результатов обследования проводилась с использованием современного программного обеспечения IBM® «Statistica 10 for Windows» и «KNIME Analytics Platform 4.1.2» и с применением соответствующих критериев оценки достоверности сформулированных выводов. В качестве методов количественной обработки данных были использованы математико-статистические методы (средние значения изучаемых показателей и их стандартное отклонение, медианные значения изучаемых показателей и значения верхнего и нижнего квартилей, непараметрический U-критерий Манна-Уитни для оценки статистических различий в двух независимых выборках, непараметрический T-критерий Вилкоксона для связанных выборок в целях

анализа внутригрупповых различий). Для каждой пары оценивалась разность в измерениях для оценки медианы разности исследуемой популяции путем рассмотрения разностей в выборке (больше или меньше 0). В случае сравнения выборок двух независимых групп применялся двухвыборочный критерий Манна-Уитни. Все выявленные различия считались достоверными при достижении уровня статистической значимости $p \leq 0,05$.

Сформированная нулевая гипотеза исследования H_0 отвергалась при достижении критического уровня значимости $p = 0,05$.

ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ СОБСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ. АНАЛИЗ ТРАВМАТИЗМА СПОРТСМЕНОВ И РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ПРИМЕНЕНИЯ РОБОТИЗИРОВАННЫХ БИОМЕХАНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ В ПРОГРАММЕ РЕАБИЛИТАЦИИ НА ТРЕТЬЕМ ЭТАПЕ

3.1. Травмы коленного сустава в структуре заболеваний спортсменов, проходивших восстановительное лечение на базе ЦСМиР (2021-2023 гг.)

В рамках настоящего исследования был проведен анализ частоты обращений, причин и структуры травматизма (в том числе травм коленного сустава) спортсменов различных видов спорта, проходивших реабилитационные мероприятия в Центре спортивной медицины и реабилитации ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А. И. Бурназяна ФМБА России (далее ЦСМиР) за последние 3 года.

В настоящем исследовании проанализированы данные 527 пациентов со спортивными травмами, проходивших реабилитацию в ЦСМиР в период с 2021 по 2023 гг. (таб. 10), из которых 82 были отобраны для участия в исследовании.

Таблица 10 – Обращаемость спортсменов с травмами за медицинской помощью в ЦСМиР за период 2021-2023 гг.

Год	Всего проходивших реабилитацию в ЦСМиР	Кол-во спортсменов с травмами (первичные)	Кол-во спортсменов с травмами (повторные)
2021	110	110	-
2022	217	216	1
2023	200	198	2
ВСЕГО	527	524	3

Медицинская документация, по которой проводился анализ, включала в себя следующие данные: возраст, пол, вид спорта, стаж занятий спортом, спортивный разряд, диагноз, первичное/повторное обращение, оперативное вмешательство, длительность отстранения от занятий спортом, сроки реабилитации, методы диагностики и методы реабилитации.

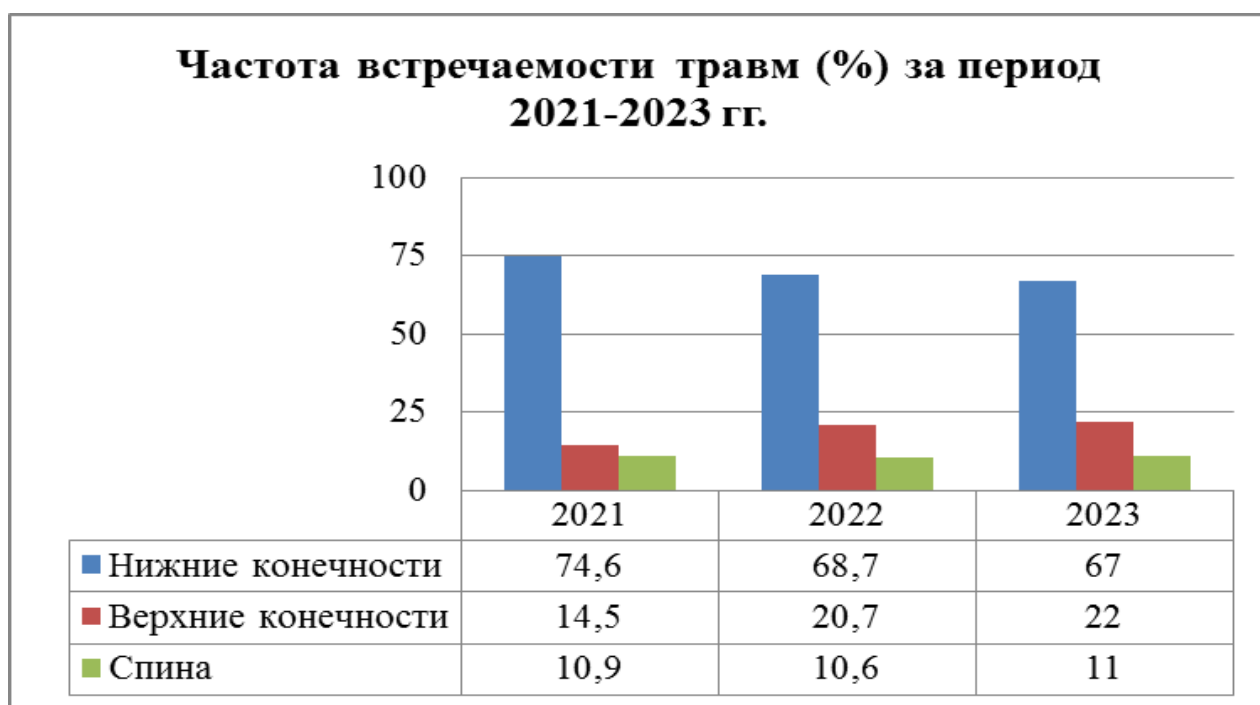


Рисунок 12 – Частота встречаемости различных травм в структуре общего травматизма спортсменов, обратившихся за медицинской помощью в ЦСМиР за период 2021-2023 гг.

Частота встречаемости различных травм в структуре общего травматизма спортсменов, обратившихся за медицинской помощью в ЦСМиР за период 2021-2023 гг. представлена на рисунке 12. При этом в 2021 году 74,6% пациентов были с травмами нижней конечности, у 14,5% пациентов травмы были связаны с верхними конечностями, а 10,9% обратились с травмами спины. В 2022 году отмечается аналогичная тенденция: 68,7% с травмами нижней конечности, 20,7% - верхней конечности, 10,6% - травмы спины. Такая структура сохранилась и в 2023 году: травмы нижних конечностей составили 67%, верхних 22%, травмы спины 11%. Средний возраст спортсменов, проходивших реабилитацию с травмами колена, составил 28,4 и 26,9 лет, соответственно.

В результате проведенного анализа выявлено, что наиболее частыми причинами обращения спортсменов с 2021 по 2023 г. преобладающей патологией у спортсменов, пролеченных в ЦСМиР, являлись травмы и заболевания нижних конечностей, от 74,6% в 2021 г. до 67% в 2023 г.

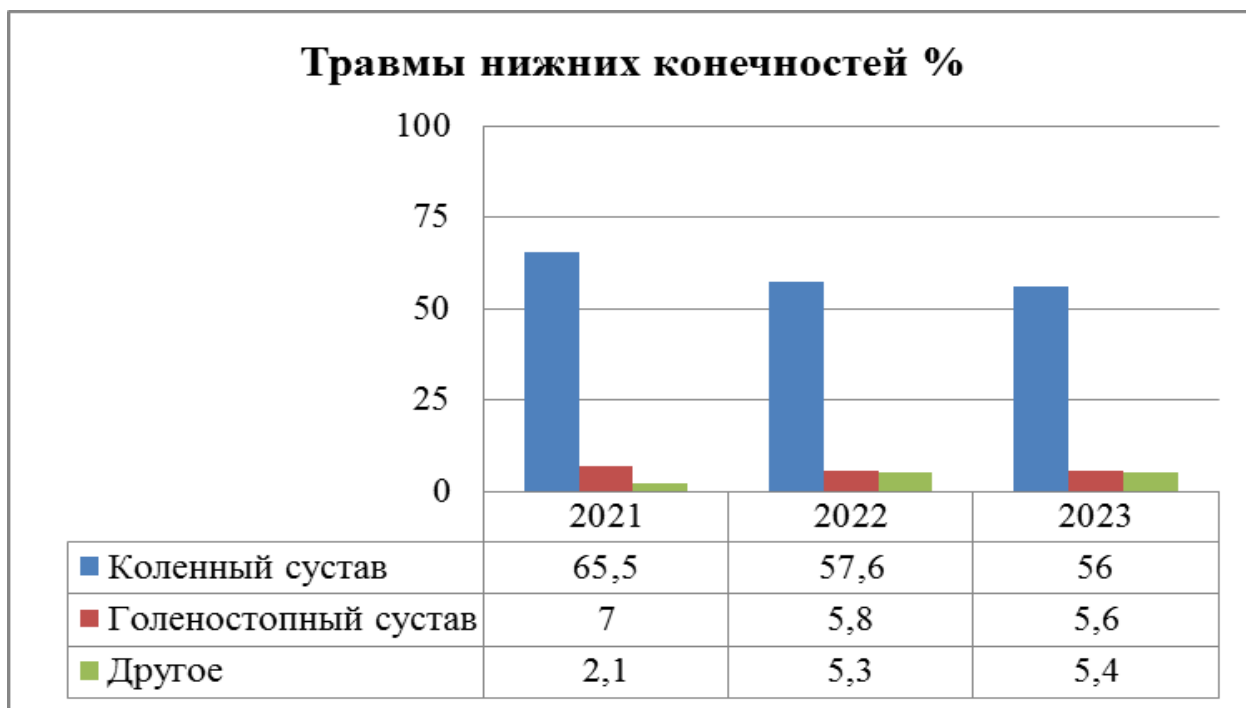


Рисунок 13 – Частота встречаемости травм нижних конечностей спортсменов, обратившихся за медицинской помощью в ЦСМиР за период 2021-2023 гг.

В структуре общего травматизма спортсменов, обратившихся за медицинской помощью в ЦСМиР, наиболее частыми травмами нижней конечности были повреждения мениска и передней крестообразной связки (рис. 13). Наиболее часто встречающимися были бурсит\синовит коленного сустава (27,3%), повреждение внутренней\наружной боковых связок (19,2%), повреждение медиального мениска (13,0%), повреждение передней крестообразной связки ПКС (10,9%). В настоящем исследовании частота встречаемости нагрузочных травм и заболеваний коленного сустава составила 63,2%, острых травм – 36,8%.

Эти результаты подтверждаются исследованиями, проведенными в других реабилитационных центрах, специализирующихся на работе со спортсменами, в том числе в зарубежных литературных источниках [4, 165, 195]. Частота травм коленного сустава в структуре общего травматизма по видам спорта за период с 2021-2023 гг. представлена в таблице 11.

Таблица 11 – Частота травм коленного сустава в структуре общего травматизма по видам спорта за период с 2021-2023 гг., проходивших реабилитацию в ЦСМиР

Виды спорта Травмы	Сложнокоординационные	Игровые	Циклические	Спортивные единоборства	Силовые	Многоборье	Другие виды	ИТОГО
Общее количество травм	53	198	87	151	14	8	16	527
Количество травм коленного сустава	18	63	27	41	4	2	1	156
Доля травм коленного сустава, %	33,9	31,8	31,0	27,1	28,6	25,0	6,3	29,6

Распределение по возрасту спортсменов, получавших медицинскую помощь в ЦСМиР после травм или операций на коленном суставе, было следующим: 18-22 лет – 58 спортсменов (37,1%), 23-30 лет – 71 спортсмен (45,3%); старше 30 лет – 27 спортсменов (17,6%) (рис. 14). При сборе анамнеза более молодые спортсмены к причинам получения травм чаще относят проблемы с техникой выполнения упражнений, у спортсменов среднего возраста на первый план выходят повторные травмы.

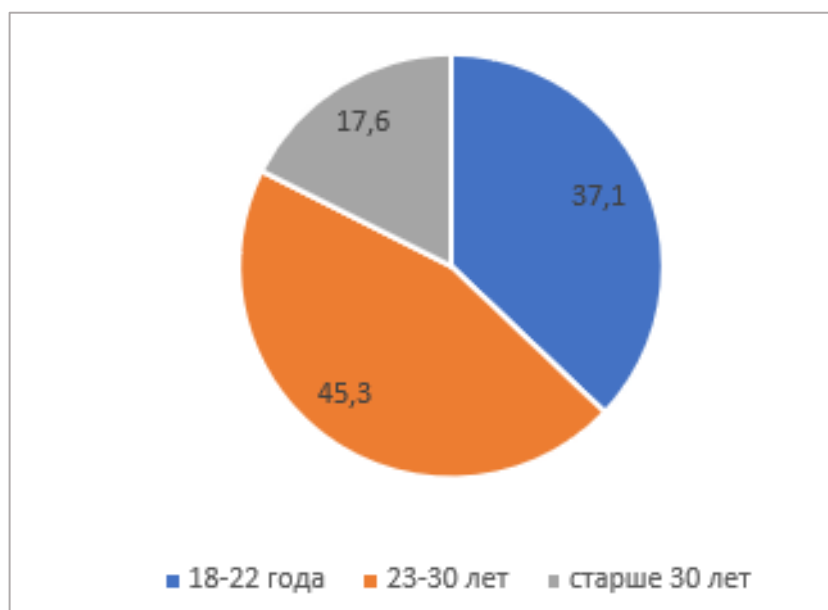


Рисунок 14 – Распределение травм и заболеваний коленного сустава (%) за 2021-2023 гг. по возрасту (n=156)

Проведя предварительный анализ причин, приводящих к травмам и операциям на коленном суставе у спортсменов спортивных сборных команд Российской Федерации с необходимостью проведения реабилитационных мероприятий в специализированных центрах государственной системы здравоохранения, учтенных в системе МИАС за последние 3 года можно сделать вывод, что максимальное количество травм встречается в игровых видах спорта из-за их массовости и популярности.

Таким образом, наиболее частой патологией, с которой обращались за реабилитационно-восстановительным лечением в ЦСМиР спортсменов были изменения в коленном суставе, а именно первичные нагрузочные травмы. Данное положение дел актуализирует необходимость наиболее эффективного лечения и формирования режимов реабилитации с использованием роботизированных биомеханических комплексов.

3.2. Методика восстановления (тренировки) после травмы коленного сустава у спортсменов с применением роботизированных биомеханических комплексов

При выборе режима тренировки на РБК Кон-Трекс для включения в систему комплексного реабилитационно-восстановительного лечения при травмах и операциях на коленном суставе у высококвалифицированных спортсменов различных видов спорта в ЦСМиР разработан алгоритм, представленный на рисунке 15.

Стандартная методика занятий на РБК Кон-Трекс предполагает 40% времени на пассивную разработку, 60% – на активную, включающую 10% – на силовую работу в различных режимах.

При разработке и научном обосновании применения роботизированных биомеханических комплексов в реабилитационно-восстановительном лечении спортсменов мы учитывали теоретические основы изокинетических тренировок, данные литературных источников и собственный многолетний опыт работы со спортсменами. Теория работы в изокинетическом режиме объясняет атравматичность упражнений на данном типе тренажеров, позволяет получить

объективную информацию о кинетике и кинематике в каждой точке траектории движения в поврежденном суставе, поэтому ее использование более чем оправдано. Многие исследователи отмечают, что работа на роботизированных биомеханических комплексах в изокинетическом режиме приводит к сокращению сроков восстановления, которое сопровождается улучшением стабильности миоэнтезического аппарата травмированной области (коленного сустава), восстановлении полноты движения в соответствующем суставе, а также обеспечению сенсомоторного контроля в управлении движениями [1, 27, 38, 64, 109, 149, 146, 140, 126, 175]. В настоящем исследовании в предлагаемой нами методике основной акцент делался на максимально раннем начале и активном участии спортсмена в реабилитационно-восстановительном лечении с применением РБК Кон-Трекс.



Рисунок 15 – Алгоритм работы на РБК Кон-Трекс

(*СРМ – продолженное пассивное движение)

Данный алгоритм учитывает, что при диагностике (раздел 2.2.1) у спортсменов могут быть выявлены как нарушения функции двигательного комплекса, так и их отсутствие. Это будет основой для выбора режима работы на РБК Кон-Трекс. Так при обнаружении нарушения функции работа начинается в

СРМ-режиме (продолженное пассивное движение) для разработки амплитуды движения. Тренировка продолжается в изометрическом режиме для обеспечения оптимизации мышечного сокращения с вовлечением максимального количества миофибрилл. Далее, при достижении 70% уровня восстановления функции двигательного комплекса, тренировка продолжается в изокинетическом режиме.

Если не выявлены нарушения функции, то есть исходный уровень восстановления пациента не менее 70% по функции двигательного комплекса – отсутствие грубой патологии коленного сустава (выраженный отек, постоянный болевой синдром, признаки воспаления и т.д.), то занятия проходят в изокинетическом режиме. Методика работы в изокинетическом режиме на РБК Кон-Трекс на 3 этапе реабилитационно-восстановительного лечения представлена в таблице 12.

Таблица 12 – Методика тренировки в изокинетическом режиме с использованием РБК Кон-Трекс на 3 этапе реабилитационно-восстановительного лечения.

День	Режим	Подход	Кол-во повторений, сек	Скорость,°/сек	Пауза между подходами, сек
1-5	Изокинетический-баллистический, кон/кон	1	10-12	60-90	60
		2	10-12	60-90	60
		3	12-15	120	60
		4	12-15	120	60
		5	8-10	30-45	-
6-7	Отдых				
8-12	Изокинетический-баллистический, кон/кон	1	10-12	60-90	60
		2	10-12	60-90	60
		3	12-15	120	60
		4	12-15	120	60
		5	15-20	180	60
		6	15-20	180	60
		7	8-10	30-45	-
13-14	Отдых				
15-19	Изокинетический-баллистический, кон/кон	1	10-12	60-90	60
		2	10-12	60-90	60
		3	12-15	120	60
		4	12-15	120	60
		5	15-20	180	60
		6	15-20	180	60
		7	8-10	30-45	60
		8	8-10	30-45	60
		9	8-10	30-45	-
20-21	Отдых				

Настоящий алгоритм подразумевает проведение как минимум двухкратного диагностического обследования (в начале и в конце реабилитационно-восстановительного лечения).

Занятия в изокинетическом режиме проводятся в максимально возможной или физиологичной амплитуде движения в концентрических усилиях. Вначале отрабатываются движения в диапазоне средних скоростей ($60-90^\circ/\text{сек}$) для тонизации, умеренной гипертрофии мышц, а также являясь ознакомительным и обучающим моментом работы на РБК для спортсмена. Количество повторений соответствует общепринятому понятию о физических упражнениях. Далее в подходах увеличиваем скорость до $120-180^\circ/\text{сек}$ и количество повторений для сохранения сопоставимого уровня нагрузки в каждом подходе. Работа на высоких и выше среднего скоростях позволяет нам отработать контроль над движением, стабилизацию сустава и анатомических структур, а также межмышечную и внутримышечную координацию. Завершаем занятия подходом с применением низкой скорости $30-45^\circ/\text{сек}$ для формирования профиля силы и силовой выносливости. Как правило, данная методика применяется на 3 этапе реабилитационно-восстановительного лечения спортсменов.

Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод, что реабилитационные мероприятия после травм и реконструктивных операций занимают важное место в восстановлении спортсменов, возвращении к привычной жизнедеятельности, а также к занятиям спортом. Использование в программах реабилитации РБК мы одновременно восстанавливаем основные компоненты двигательной единицы – силу, скорость движения, мощность, выносливость (как скоростную, так и силовую), стабилизацию функционирования и др.

Спортсмен, приступая к работе на РБК Кон-Трекс, предварительно должен подготовить организм и коленный сустав к физическим нагрузкам. Это достигается путем суставной разминки и циклической работы в аэробном режиме на велоэргометре при оборотах 60-70 об/мин. в течение 10 минут.

С 1 по 5 день реабилитационно-восстановительного лечения, ориентировочное время работы составляет в среднем 17-18 минут (10 минут

настройка РБК Кон-Трекс под спортсмена, работа на скорости $60^{\circ}/\text{сек}$ – 18,2%, на скорости $120^{\circ}/\text{сек}$ – 18,2%, на скорости $30^{\circ}/\text{сек}$ – 9,1%, отдых между подходами – 54,5%).

С 8 по 12 день реабилитационно-восстановительного лечения, ориентировочное время работы составляет в среднем 21-23 минут (10 минут настройка РБК Кон-Трекс под спортсмена, работа на скорости $60^{\circ}/\text{сек}$ – 11,8%, на скорости $120^{\circ}/\text{сек}$ – 11,8%, на скорости $180^{\circ}/\text{сек}$ – 17,6%, на скорости $30^{\circ}/\text{сек}$ – 5,9%, отдых между подходами – 52,9%).

С 15 по 19 день реабилитационно-восстановительного лечения, ориентировочное время работы составляет в среднем до 30 минут (10 минут настройка РБК Кон-Трекс под спортсмена, работа на скорости $60^{\circ}/\text{сек}$ – 8,7%, на скорости $120^{\circ}/\text{сек}$ – 8,7%, на скорости $180^{\circ}/\text{сек}$ – 13,0%, на скорости $30^{\circ}/\text{сек}$ – 13,0%, отдых между подходами – 52,2%).

Выбор программы и длительность реабилитационного занятия зависит исключительно от преобладания клинических симптомов.

Таким образом, в рамках текущего этапа диссертационного исследования было проведено обоснование выбора преформированных физических факторов и методик роботизированной биомеханики для включения в систему комплексного реабилитационно-восстановительного лечения на 3 этапе при травмах и операциях на коленном суставе у высококвалифицированных спортсменов различных видов спорта. При этом мы основывались на предположении, что данный подход будет способствовать сокращению сроков восстановления коленного сустава у спортсменов. И именно данный алгоритм и методика работы на РБК Кон-Трекс максимально приблизит возможность начала тренировочных занятий с учетом видоспецифичности профессиональной деятельности.

ГЛАВА 4. РЕЗУЛЬТАТЫ СОБСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ. АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ОСНОВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВОССТАНОВЛЕНИЯ КОЛЕННОГО СУСТАВА

4.1. Результаты реабилитационно-восстановительного лечения спортсменов после травм и операций на коленном суставе с применением лечебной физкультуры и физиотерапии

Применение лечебной физкультуры и физиотерапии в реабилитационно-восстановительном лечении спортсменов на третьем этапе реабилитации традиционно является основой в работе как со спортсменами, так и с лицами, не занимающимися спортом. Это позволяет комплексно воздействовать на поврежденные структуры и предполагает положительные результаты восстановительных мероприятий.

В данном разделе приведены сведения о динамике состояния после травм и операций на коленном суставе у спортсменов на третьем этапе реабилитации. Основное место в комплексной реабилитации спортсменов этой группы занимали физические упражнения по своей специфике, объему и интенсивности приближенные к тренировочным занятиям. Это позволило отнести полученные данные к «Контролю». Комплекс упражнений представлен в Приложении 2.

На рисунках 17-30 представлены данные спортсменов контрольной группы на 3 этапе реабилитационно-восстановительных мероприятий, женщин ($n=25$) и мужчин ($n=14$), $22,86 \pm 5,02$ года и $22,4 \pm 3,84$ года, соответственно, уровень спортивного мастерства не ниже КМС.

Анализ наличия статистически значимых изменений проводился с помощью непараметрического Т-критерия Вилкоксона. Статистически значимым различием считалось значение вероятности ошибки $p \leq 0,05$.

Данные динамики основных показателей спортсменов-мужчин контрольной группы представлен в графиках (рис. 16-22).

Анализ динамики значений болевого синдрома по ВАШ в контрольной группе мужчин показал, что уровень боли достоверно ($p \leq 0,01$) снизился с 4[0;5] до 0,5[0;3] балла, что составило 12,5% от исходного уровня боли (рис. 16).

В конце курса реабилитационно-восстановительного лечения отмечается достоверное ($p \leq 0,05$) снижение межквартильного интервала с 0,5[0;2] до 0[0;1] баллов, что говорит об отсутствии отека (рис. 17).

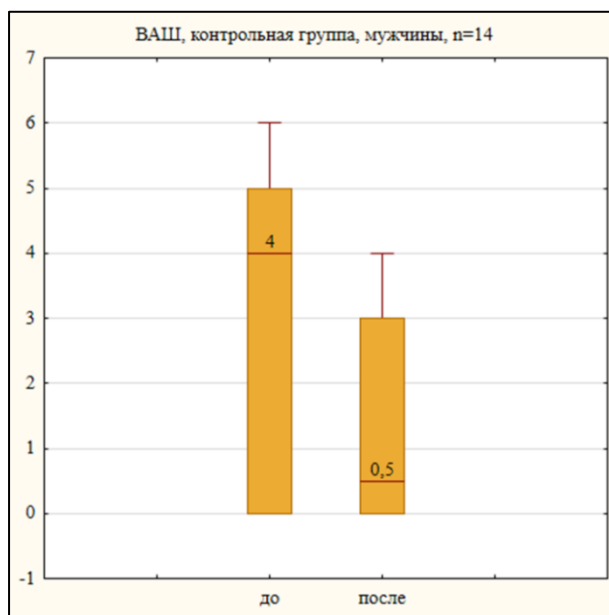


Рисунок 16 – Динамика значений показателей визуальной аналоговой шкалы в контрольной группе мужчин (Me [Q1–Q3]), n=14

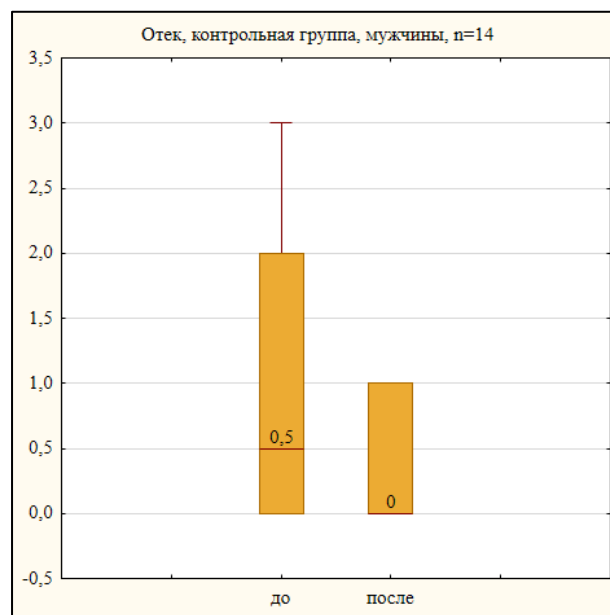


Рисунок 17 – Динамика значений показателей отека в контрольной группе мужчин (Me[Q1–Q3]), n=14

На рисунке 18 представлена динамика изменений значений показателей антропометрии в контрольной группе мужчин. Отмечается рост медианных значений показателей «Объем средней трети бедра» и «Объем нижней трети бедра». Так, исходными значениями данных показателей являлись 56,75[52;58] и 47,25[44,5;48] см, соответственно. По окончании курса реабилитационно-восстановительного лечения показатель «Объем средней трети бедра» достоверно ($p < 0,01$) увеличился на 2,2% и составил 58[56,25;59] см, а показатель «Объем нижней трети бедра» увеличился до 47,5[45;48] см. Таким образом, можно

предположить, что рост значений данных показателей говорит о нарастании мышечной гипертрофии.

Анализ динамики значений показателя «Объем коленного сустава» в контрольной группе мужчин показывает, что исходное медианное значение было на уровне 41,5[40,38;42] см. При заключительной диагностике наблюдалась тенденция к росту значения данного показателя на 0,5 см до 42[39,25;43] см. Обращает на себя внимание и увеличение межквартильного интервала, что может свидетельствовать о невыраженном увеличении отека в коленном суставе (рис. 18).

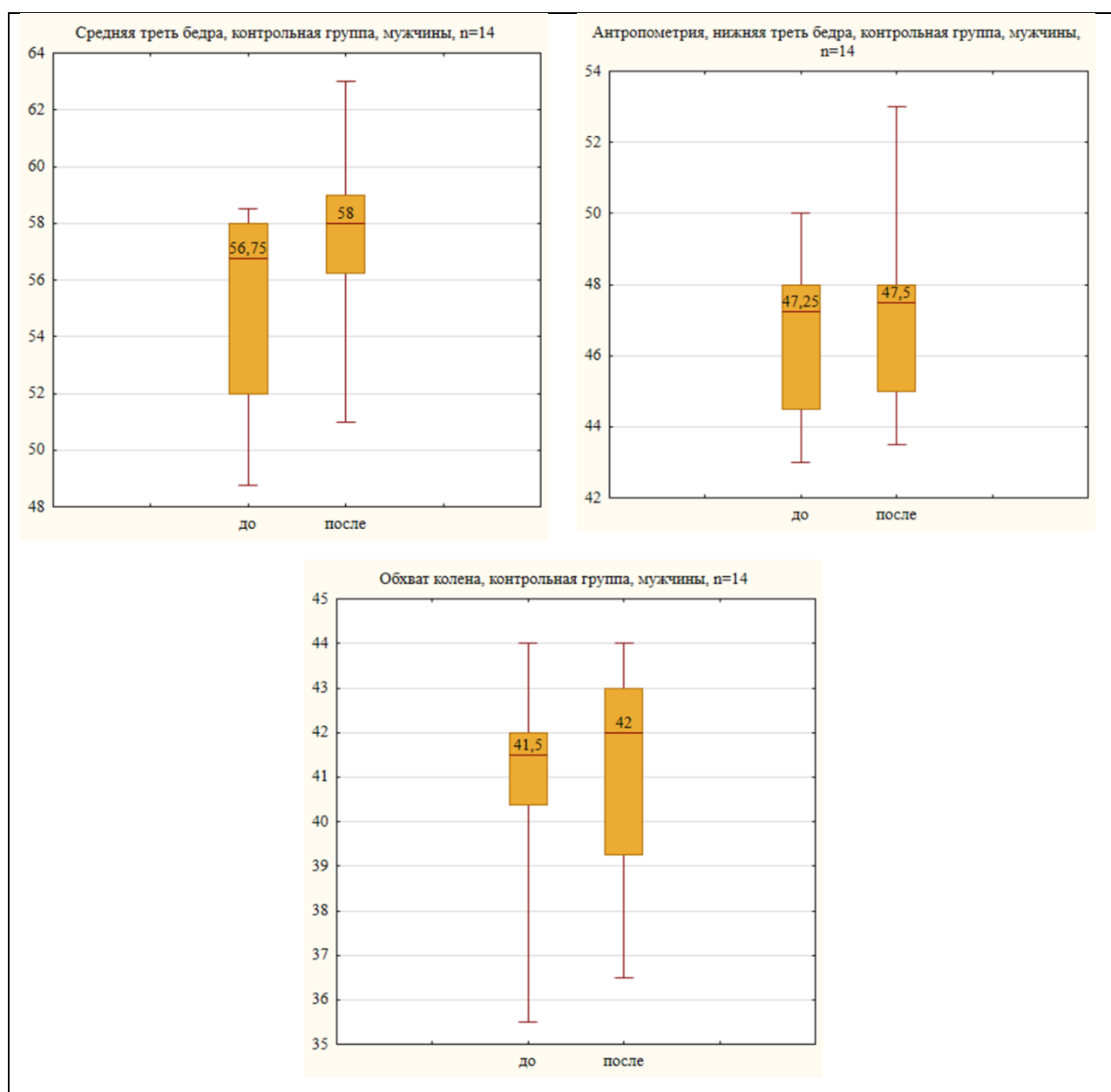


Рисунок 18 – Динамика значений показателей антропометрии в контрольной группе мужчин (Me [Q1–Q3]), n=14

На рисунке 19 отражена динамика значений показателей пассивного сгибания-разгибания в контрольной группе мужчин.

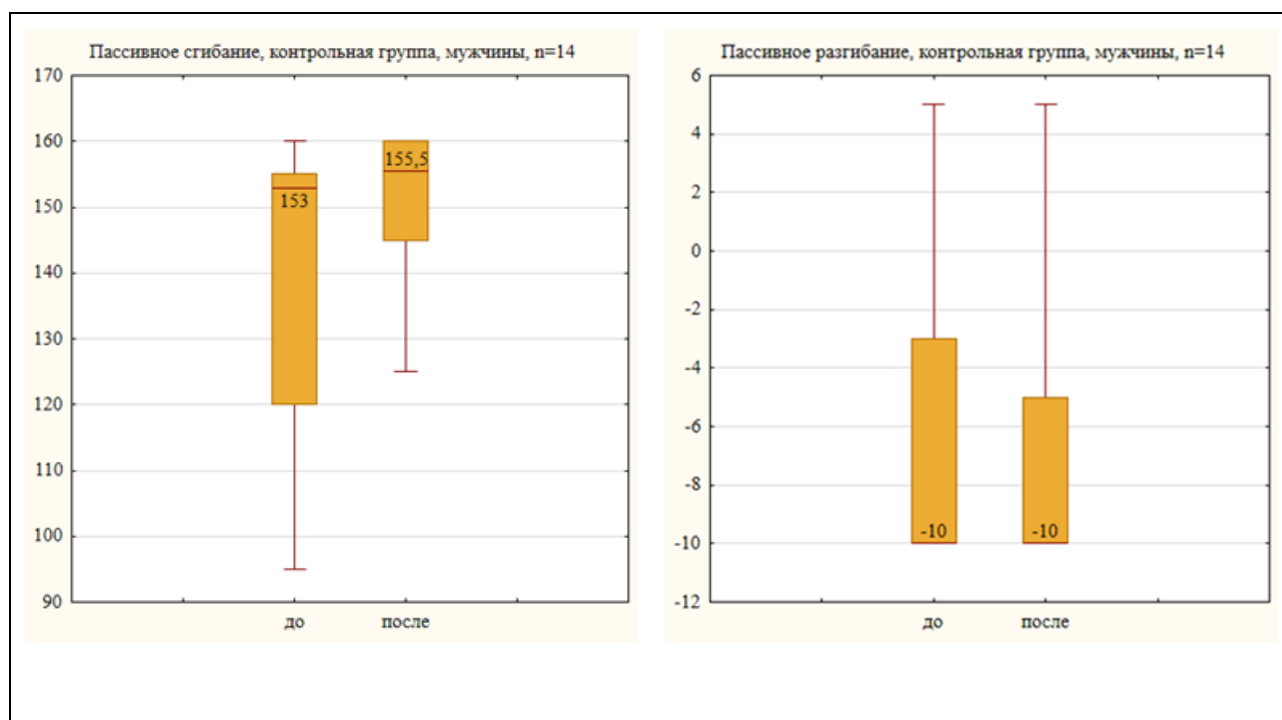


Рисунок 19 – Динамика значений показателей пассивного сгибания-разгибания в контрольной группе мужчин (Me[Q1–Q3]), n=14

Исходные значения медианы показателя «Пассивное сгибание» составили 153°[127;155]. К концу реабилитационно-восстановительного лечения значения этого показателя достоверно увеличились ($p<0,05$) и составили 155°[142;159], при этом отмечалось увеличение нижнеквартильного значения на 11,8%, а верхнеквартильного – на 2,5%.

При анализе значений показателя «Пассивное разгибание» отмечается снижение верхнеквартильного значения на 66,6%, при том, что нижнеквартильное значение осталось на прежнем уровне. Однако, значение медианы достоверно не изменилось и составило по окончании реабилитационно-восстановительного лечения -10°[-10;-5].

Динамика значений показателей «Активное сгибание» и «Активное разгибание» в контрольной группе имела аналогичную тенденцию (рис. 20). Так, исходное значение медианы «Активное сгибание» было 130,5°[110;140], а после реабилитационно-восстановительного лечения составило 135°[130;140] при

увеличении нижнеквартильного значения на 13,9%. При анализе динамики значений показателя «Активное разгибание» в контрольной группе мужчин на исходном уровне регистрируются значения медианы $-5^{\circ}[-5;5]$. К концу реабилитационно-восстановительного лечения значения достоверно ($p \leq 0,05$) снизились на 10° и составили $-5^{\circ}[-5;-5]$.

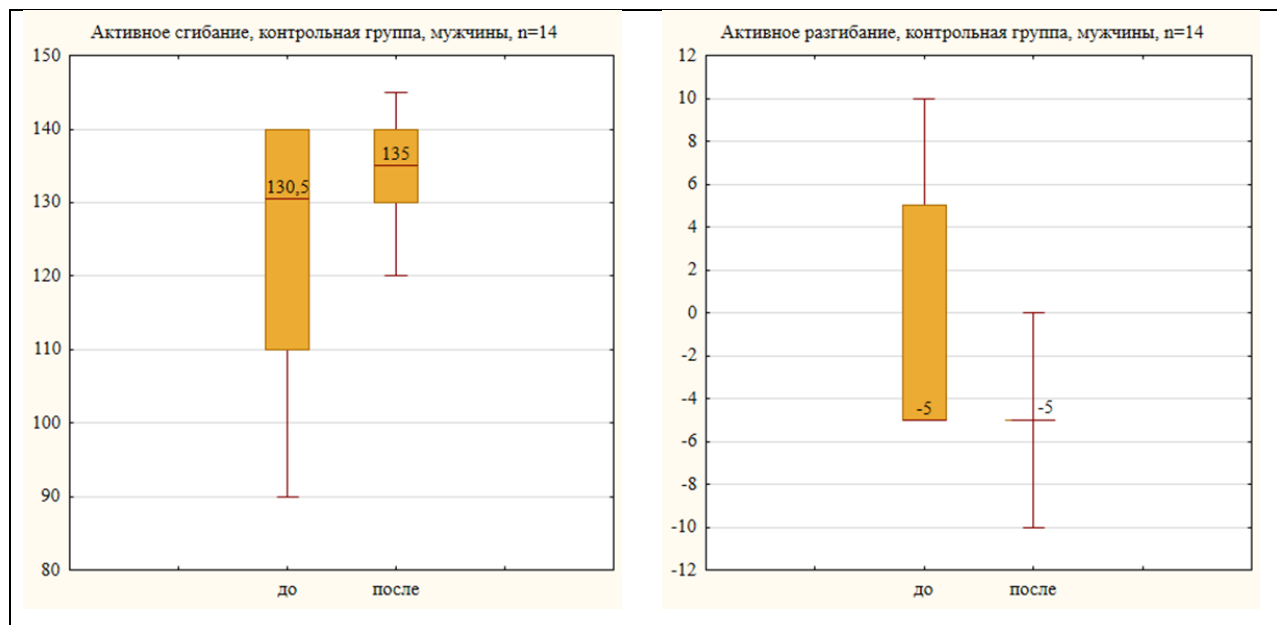


Рисунок 20 – Динамика значений показателей активного сгибания-разгибания в контрольной группе мужчин (Me [Q1–Q3]), n=14

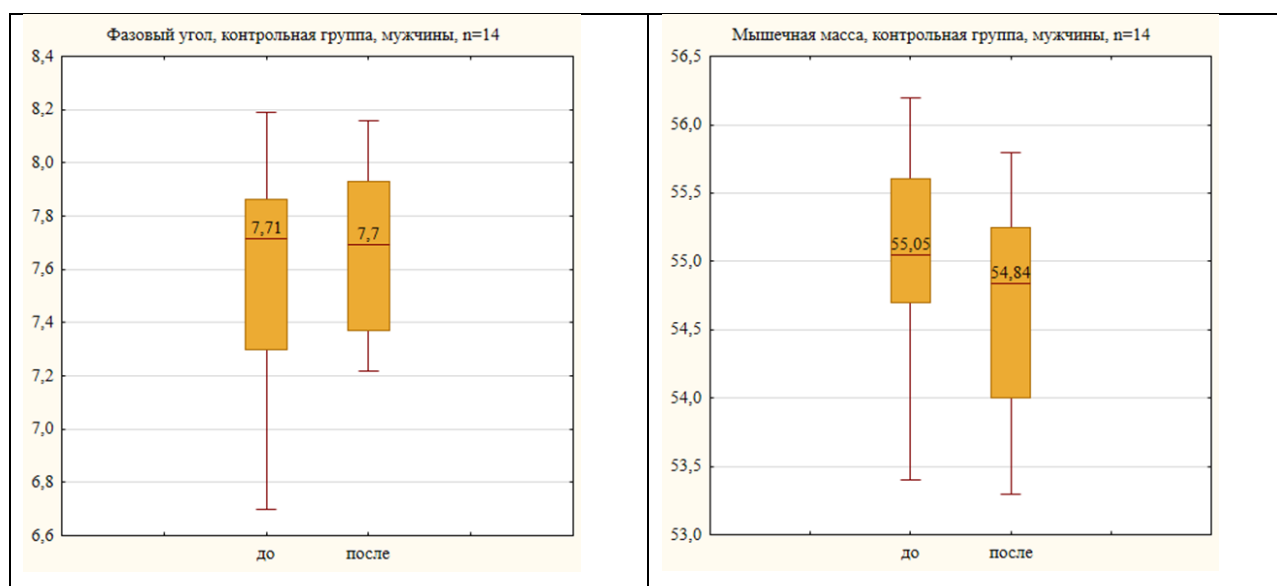


Рисунок 21 – Динамика значений показателей компонентного состава тела в контрольной группе мужчин (Me [Q1–Q3]), n=14

В группе мужчин динамика значений фазового угла отсутствовала и составила до лечения 7,71[7,3;7,87] у.е., а после 7,7[7,37;7,93] у.е.. По значениям верхнеквартильного интервала отмечался незначительный прирост значений на 0,8%. Значения показателя «Мышечная масса» незначительно снизились на 0,3% (рис. 21).

При первичной диагностике значения показателя «Распределение нагрузки», полученные при помощи силовой платформы «Кобс», составили 48,75[45;51]%. После проведенных реабилитационно-восстановительных мероприятий эти значения находились в диапазоне 48,94[47;51]%, что говорит о незначительном смещении распределения нагрузки тела. Анализ значений показателя «Индекс симметрии» выявил достоверную ($p < 0,01$) положительную динамику, прирост составил 4,7% (рис. 22).

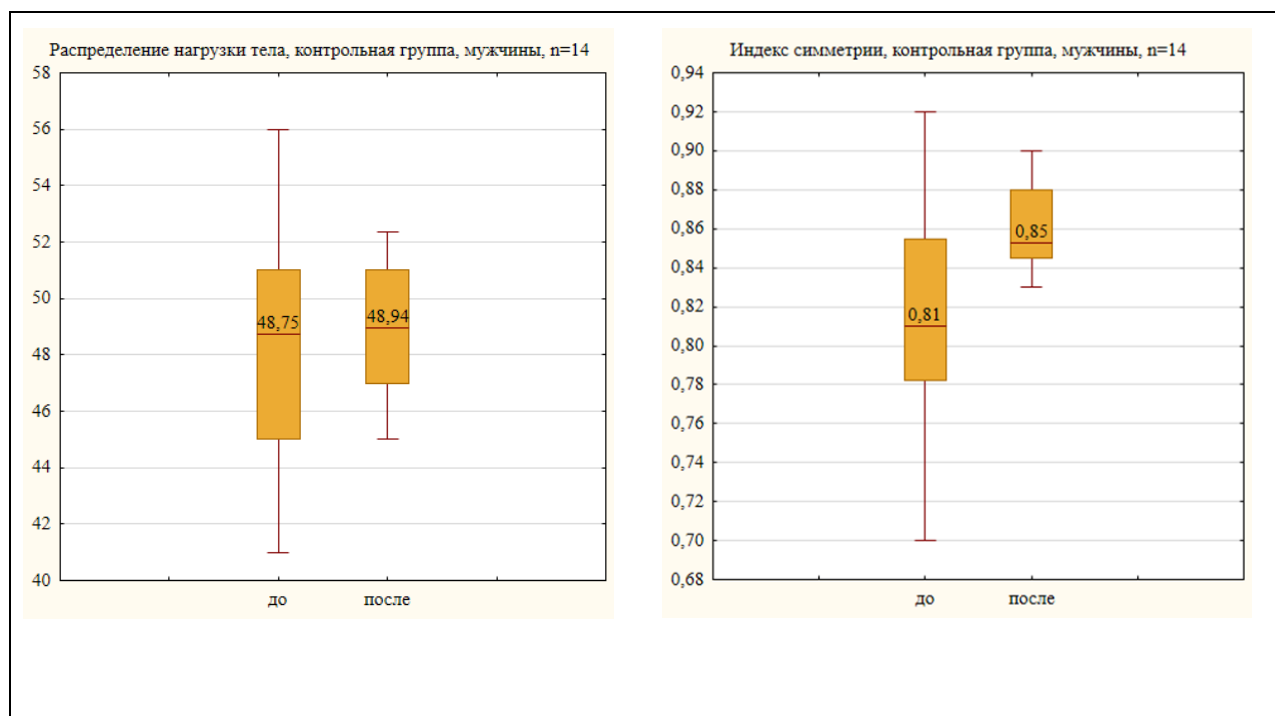


Рисунок 22 – Динамика значений показателей силовой платформы в контрольной группе мужчины (Me [Q1–Q3]), n=14

В таблицах 13-20 приведены данные обследования спортсменов контрольных групп с учетом гендера на роботизированном биомеханическом комплексе.

В контрольной группе мужчин достоверные отличия ($p < 0,01$) обнаружены по значениям показателей КММ, УСМ, УСКМ при разгибании. Так КММ

увеличился на 14,3%, УСМ на 16,2%, УСКМ на 19,1%, что говорит об увеличении силы четырехглавой мышцы бедра в результате проведенной реабилитации (таб. 13).

Таблица 13 – Данные о динамике показателей профиля силы $V=30^\circ/\text{сек}$ у мужчин ($n=14$) контрольной группы ($M\pm SD$)

Показатель		Группа	Мужчины ($n=14$)
			$M\pm SD$
Крутящий момент максимальный (КММ), Н·м	Сгибание	До	$69,1\pm 18,65$
		После	$70,88\pm 22,94$
	Разгибание	До	$94,16\pm 22,93$
		После	$109,91\pm 21,93^*$
Удельная средняя мощность (УСМ), Вт/кг	Сгибание	До	$0,4\pm 0,61$
		После	$0,24\pm 0,09$
	Разгибание	До	$0,31\pm 0,12$
		После	$0,37\pm 0,12^*$
Удельный средний крутящий момент (УСКМ), Н·м/кг	Сгибание	До	$0,77\pm 0,25$
		После	$0,69\pm 0,26$
	Разгибание	До	$0,93\pm 0,4$
		После	$1,15\pm 0,33^*$

Примечание: * – внутригрупповое отличие значений до и после курса реабилитации, Т-критерий Вилкоксона (* – $p<0,01$)

При скорости $60^\circ/\text{сек}$ в контрольной группе мужчин достоверные отличия ($p<0,01$) обнаружены по значениям показателя КММ при сгибании, которые до лечения находились в диапазоне $81,14\pm 18,35$, а после лечения увеличились на 4,7% и составили $85,45\pm 16,03$. Такие данные могут говорить об умеренных изменениях в состоянии межмышечной координации в данной группе спортсменов (табл. 14).

При скорости $120^\circ/\text{сек}$ в контрольной группе мужчин по значениям регистрируемых показателей достоверных отличий не обнаружено. Возможно, это связано с тем, что задняя группа мышц бедра (сгибатели) физиологически слабее мышц разгибателей, и в норме эти показатели составляют $\approx 70\%$ от силы мышц разгибателей, что соответствует этапу реабилитации (таблица 15).

Таблица 14 – Данные о динамике показателей межмышечной координации, $V=60^\circ/\text{сек}$ у мужчин ($n=14$) контрольной группы ($M\pm SD$)

Показатель		Группа	Мужчины ($n=14$)
			$M\pm SD$
Крутящий момент максимальный (КММ), Н·м	Сгибание	До	81,14 \pm 18,35
		После	85,45 \pm 16,03*
	Разгибание	До	98,03 \pm 34,12
		После	101,77 \pm 30,38
Удельная средняя мощность (УСМ), Вт/кг	Сгибание	До	0,57 \pm 0,19
		После	0,64 \pm 0,13
	Разгибание	До	0,65 \pm 0,27
		После	0,68 \pm 0,22
Удельный средний крутящий момент (УСКМ), Н·м/кг	Сгибание	До	0,87 \pm 0,22
		После	0,92 \pm 0,16
	Разгибание	До	1,06 \pm 0,45
		После	1,07 \pm 0,37

Примечание: * – внутригрупповое отличие значений до и после курса реабилитации, Т-критерий Вилкоксона (* – $p<0,01$)

Таблица 15 – Данные о динамике показателей внутримышечной координации, $V=120^\circ/\text{сек}$ у мужчин ($n=14$) контрольной группы ($M\pm SD$)

Показатель		Группа	Мужчины ($n=14$)
			$M\pm SD$
Крутящий момент максимальный (КММ), Н·м	Сгибание	До	77,9 \pm 9,07
		После	74,28 \pm 11,39
	Разгибание	До	94,28 \pm 36,32
		После	97,53 \pm 27,72
Удельная средняя мощность (УСМ), Вт/кг	Сгибание	До	1 \pm 0,32
		После	0,95 \pm 0,23
	Разгибание	До	1,16 \pm 0,53
		После	1,19 \pm 0,43
Удельный средний крутящий момент (УСКМ), Н·м/кг	Сгибание	До	0,85 \pm 0,23
		После	0,79 \pm 0,18
	Разгибание	До	1 \pm 0,46
		После	0,99 \pm 0,37

В контрольной группе мужчин при скорости $180^\circ/\text{сек}$ по значениям регистрируемых показателей достоверных отличий не обнаружено. При этом значения показателя КММ при разгибании увеличились на 6,3%, значения

показателя УСМ при сгибании на 14,5%, при разгибании на 13,2%. Однако, значения показателя УСКМ при сгибании снизились (с $0,75 \pm 0,23$ Н·м/кг до $0,63 \pm 0,17$ Н·м/кг), а при разгибании незначительно увеличились (от $0,85 \pm 0,34$ Н·м/кг до $0,88 \pm 0,31$ Н·м/кг) (таблица 16). Такие данные у спортсменов контрольной группы свидетельствуют о некотором приросте скоростной выносливости без достижения физиологической нормы.

Таблица 16 – Данные о динамике показателей скоростной выносливости, $V=180^\circ/\text{сек}$ у мужчин ($n=14$) контрольной группы ($M \pm SD$)

Показатель		Группа	Мужчины ($n=14$)
			$M \pm SD$
Крутящий момент максимальный (КММ), Н·м	Сгибание	До	$68,53 \pm 9,5$
		После	$60,64 \pm 11,54$
	Разгибание	До	$80,9 \pm 22,41$
		После	$86,29 \pm 25,8$
Удельная средняя мощность (УСМ), Вт/кг	Сгибание	До	$1,03 \pm 0,31$
		После	$1,16 \pm 0,23$
	Разгибание	До	$1,05 \pm 0,29$
		После	$1,21 \pm 0,26$
Удельный средний крутящий момент (УСКМ), Н·м/кг	Сгибание	До	$0,75 \pm 0,23$
		После	$0,63 \pm 0,17$
	Разгибание	До	$0,85 \pm 0,34$
		После	$0,88 \pm 0,31$

Значение показателя уровня болевого синдрома по ВАШ в контрольной группе у женщин до прохождения курса реабилитационно-восстановительного лечения составило $2[0;4]$ балла, после реабилитационных мероприятий отмечается достоверное снижение ($p \leq 0,001$) данного показателя до $0[0;1]$ баллов. При анализе значений межквартильного интервала обращает на себя внимание снижение медиана и нижнеквартильного значения с $2[0;4]$ до $0[0;1]$ баллов (рис. 23). Такие данные свидетельствуют о регрессе болевого синдрома в группе женщин.

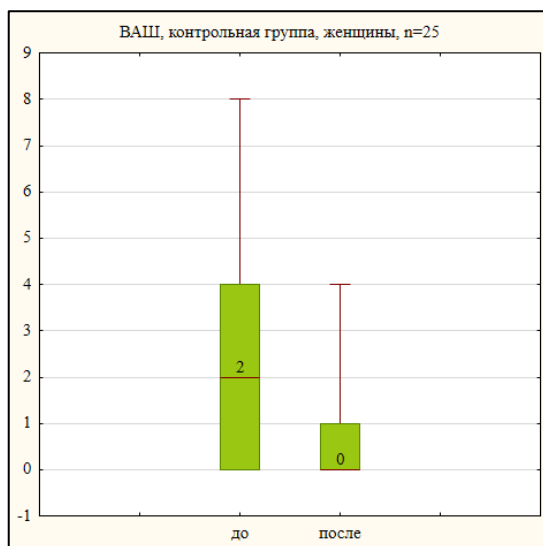


Рисунок 23 – Динамика значений показателей визуальной аналоговой шкалы в контрольной группе женщин (Me [Q1–Q3]), n=25

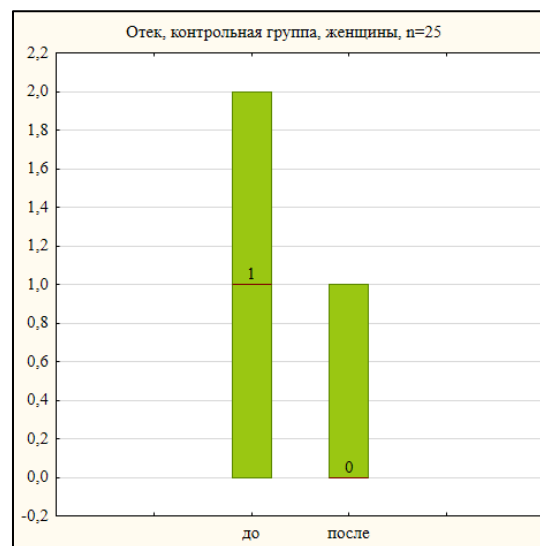


Рисунок 24 – Динамика значений показателей отека в контрольной группе женщин (Me[Q1–Q3]), n=25

Исходные значения показателя «Отек» в контрольной группе женщин составили 1[0;2] балла. По окончании курса реабилитационных мероприятий данный показатель достоверно ($p \leq 0,001$) снизился до 0[0;1] баллов, что говорит о возвращении значений показателя к физиологической норме (рис. 24).

Статистически значимых изменений в динамике значений показателя «Объем нижней трети бедра» в контрольной группе у женщин не обнаружено (рис. 25). При исходном обследовании медианное значение показателя в группе женщин составляло 42,5[39;44] см, после завершения курса реабилитационно-восстановительного лечения значения показателя снизились на 0,5 см, при этом отмечается сокращение межквартильного размаха до [40;43] см. Можно предположить, что снижение значения верхнего квартиля соотносится с уменьшением отека в верхнем завороте коленного сустава, в то время как увеличение нижнеквартильного значения может свидетельствовать о тенденции к появлению мышечной гипертрофии.

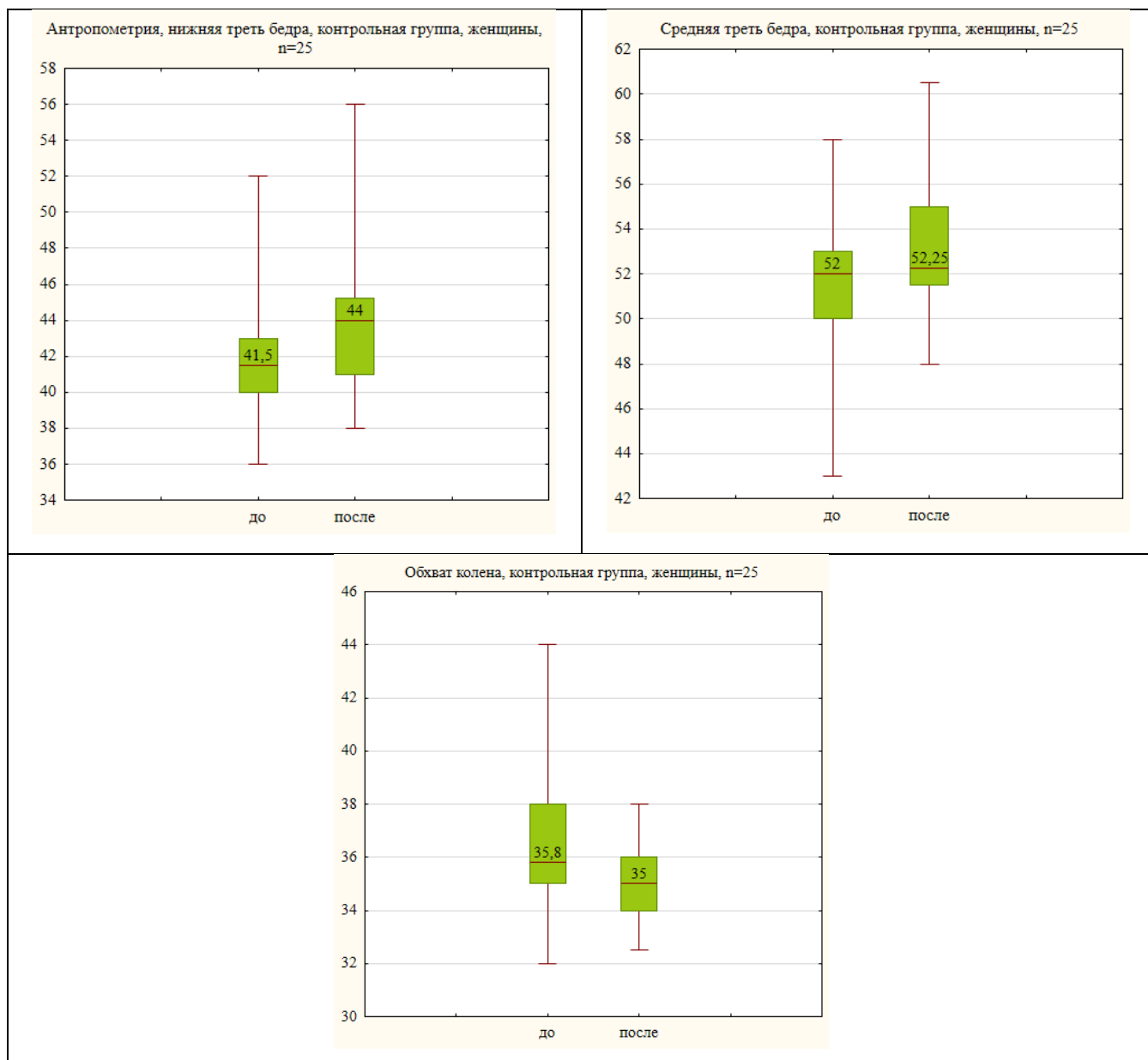


Рисунок 25 – Динамика значений показателей антропометрии в контрольной группе женщин (Me [Q1–Q3]), n=25

При анализе динамики значений показателя «Объем средней трети бедра» в контрольной группе женщин по окончании реабилитационно-восстановительного лечения отмечается рост медианного значения с 52[50;53] см до 52,25[51,5;55] см. Такие данные отражают положительную динамику, проявляющуюся в увеличении мышечной массы.

При первичной диагностике значения показателя «Объем коленного сустава» были зафиксированы на уровне 35,8[35;38] см, при заключительной диагностике отмечалась тенденция к снижению значений как медианного, так и

межквартильного интервала до 35[34;36] см. Полученные данные свидетельствуют о регрессе отека в коленном суставе.

Для выявления динамики изменений амплитуды движений в коленном суставе применялся метод гониометрии. Динамика значений показателей активного и пассивного сгибания/разгибания в контрольной группе женщин представлена на рисунках 26-27.

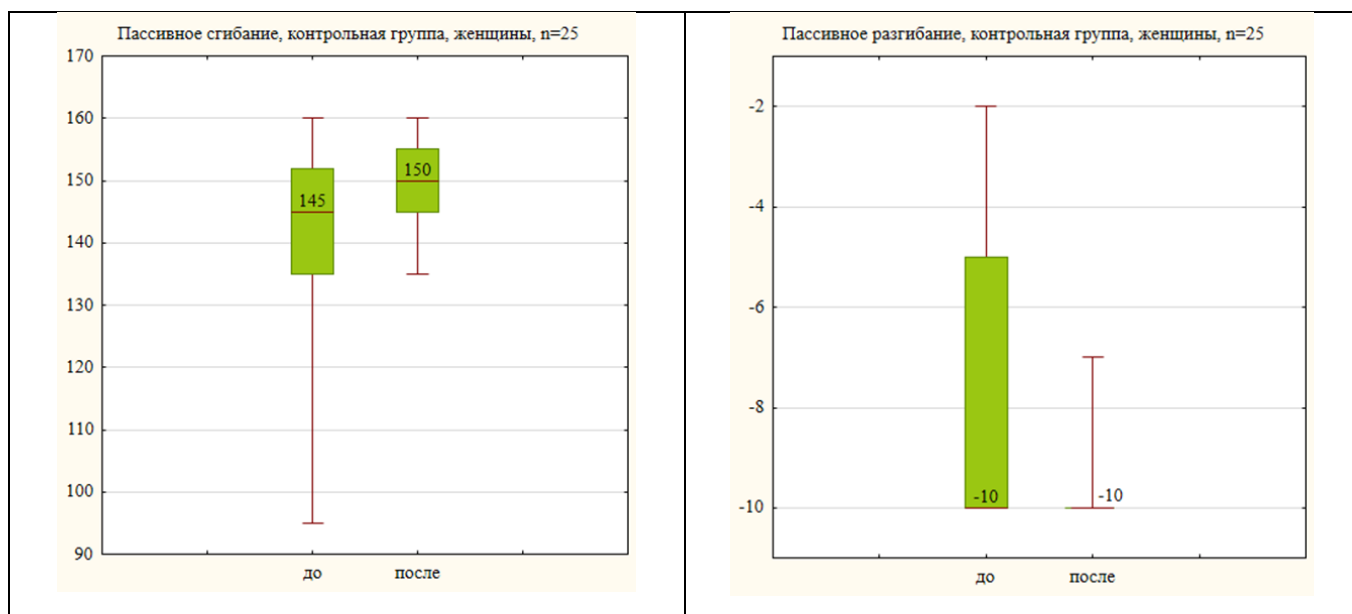


Рисунок 26 – Динамика значений показателей пассивного сгибания/разгибания в контрольной группе женщин (Me [Q1–Q3]), n=25

Исходные значения показателя «Пассивного сгибания» зафиксированы на уровне 145°[135;155], по окончании курса реабилитационно-восстановительного лечения отмечалось достоверное ($p<0,001$) увеличение значения медианы на 6,9%, увеличение нижнеквартильного значения на 13,3%, а верхнеквартильного значения на 3,2%. Значения межквартильного интервала уменьшилось на 65%.

По показателю «Пассивное разгибание» отмечается статистически значимое ($p<0,01$) различие медианных значений до и после реабилитационно-восстановительного лечения. Так, при исходном уровне медиана составила -10°[-10;-5], а при окончании лечения наблюдается увеличение верхнеквартильного значения в 2 раза (-10°[-10;-10]), такие данные говорят о восстановлении движения в коленном суставе до физиологической нормы (рис. 26).

Анализ динамики показателя «Активное сгибание» в контрольной группе женщин показывает, что до начала реабилитационно-восстановительного лечения значения медианы равны 130° , а межквартильный интервал составляет $[124;137]$, по завершении курса лечения медиана достоверно ($p \leq 0,01$) возросла на 3% и составила 137° . Также отмечается и увеличение значений межквартильного интервала до значений $[135;140]$, что означает увеличение амплитуды сгибания коленного сустава у данной группы спортсменок.

При анализе значений показателя «Активное разгибание» в контрольной группе женщин обращает на себя внимание достоверно значимое ($p \leq 0,05$) уменьшение межквартильного интервала по завершении курса восстановительного лечения. Так, исходное значение медианы составляло $-5^\circ [-5;-3]$, а при заключительной диагностике верхнеквартильное значение снизилось на 40%, от исходного состояния и медиана составила $-5^\circ [-5;-5]$ (рис. 27).

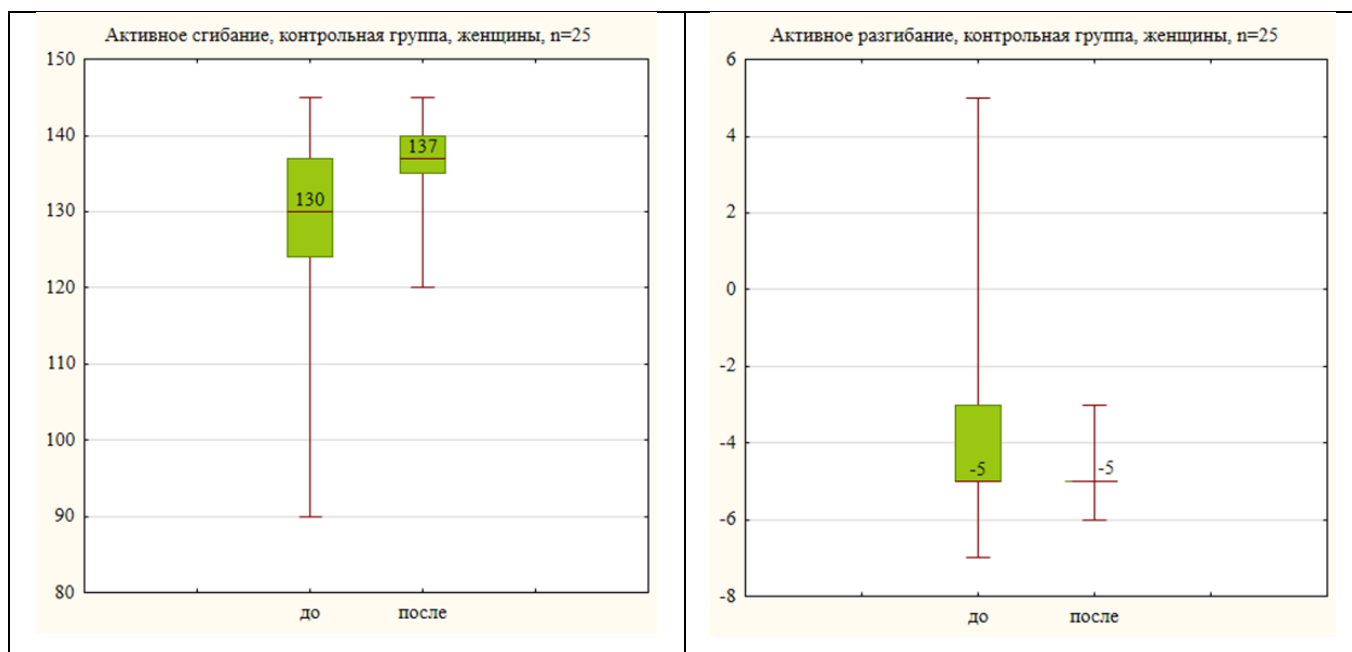


Рисунок 27 – Динамика значений показателей активного сгибания/разгибания в контрольной группе женщин (Me [Q1–Q3]), n=25

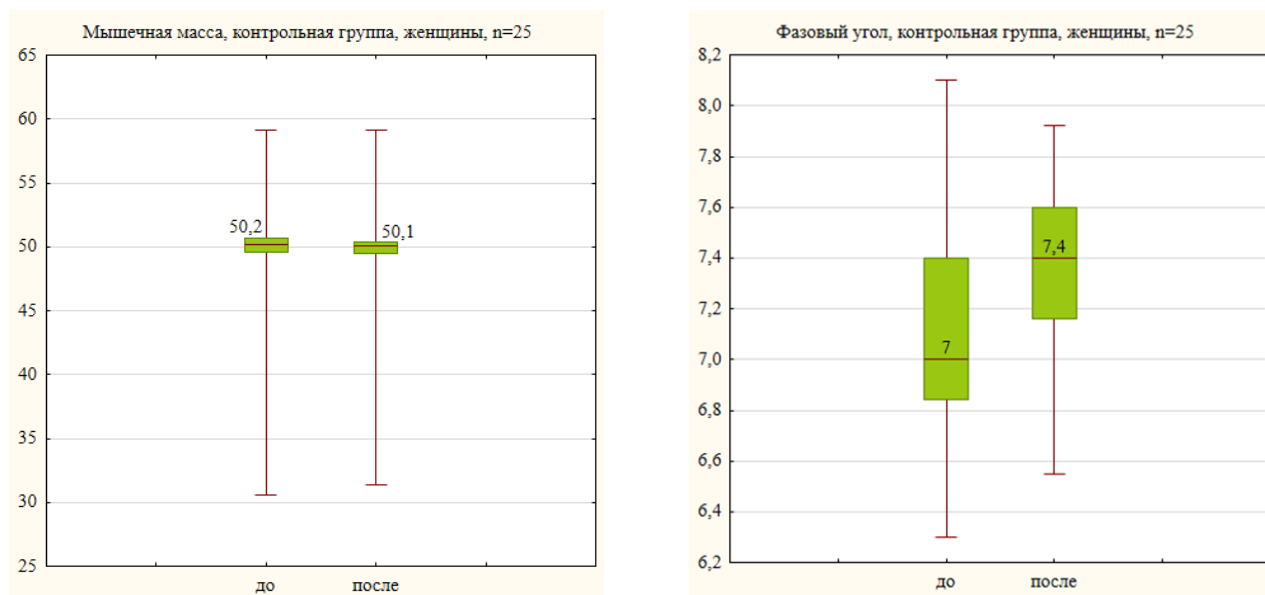


Рисунок 28 – Динамика значений показателей компонентного состава тела в контрольной группе женщин (Me [Q1–Q3]), n=25

На рисунке 28 отражена динамика значений показателя «Фазовый угол» и «Мышечная масса», полученных с помощью биоимпедансометрии. При анализе полученных данных отмечается достоверное ($p < 0,01$) повышение значений показателя «Фазовый угол», косвенно свидетельствующее о повышении общей работоспособности. Так, при первичной диагностике зафиксированы значения 7[6,84;7,4] у.е., а при заключительной - 7,4[7,16;7,6] у.е. что на 5,4% выше исходных. Значения верхнеквартильного интервала увеличились на 4,5%, нижнеквартильного на 2,6%. Значения показателя «Мышечная масса» достоверно не изменились (при исходной диагностике межквартильный интервал составил 50,2[49,6;50,7]%, а после реабилитационно-восстановительного лечения 50,1[49,5;50,4]%).

Статодинамические показатели были получены при помощи силовой платформы «Кобс». В контрольной группе женщин при анализе значений показателя «Распределение нагрузки» динамика отсутствовала - при первичной диагностике значения фиксировались в диапазоне 49[47;50]%, а по завершению реабилитационно-восстановительного лечения 49[48;50]%, что соответствует нормальным значениям распределения нагрузки тела (рис. 29).

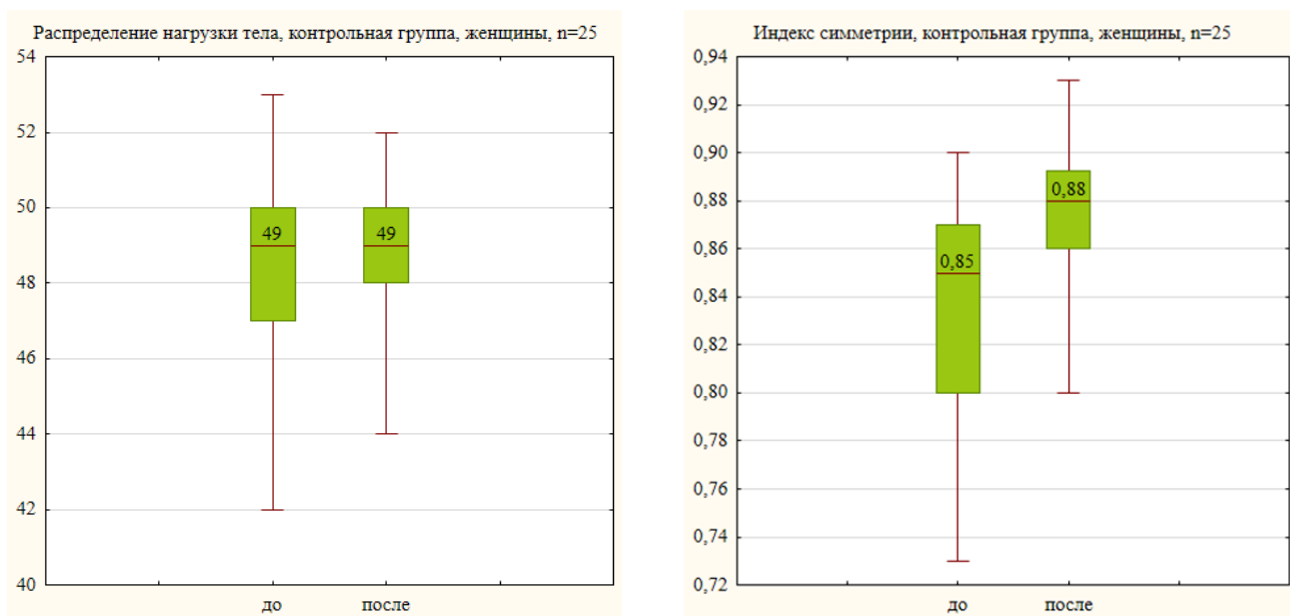


Рисунок 29 – Динамика значений показателей силовой платформы в контрольной группе женщин (Me [Q1–Q3]), n=25

По значениям показателя «Индекс симметрии» отмечалась достоверная ($p < 0,001$) положительная динамика, исходные значения составляли 0,85[0,8;0,87] у.е., а при выписке 0,88[0,86;0,89] у.е., прирост значений составил 3,4% (рис. 29).

Таблица 17 – Данные о динамике показателей профиля силы $V=30^\circ/\text{сек}$ у женщин (n=25) контрольной группы ($M \pm SD$)

Показатель		Группа	Женщины (n=25)
			$M \pm SD$
Крутящий момент максимальный (КММ), Н·м	Сгибание	До	45,89±13,23
		После	49,19±12,15
	Разгибание	До	79,61±20,17
		После	85,59±24,04**
Удельная средняя мощность (УСМ), Вт/кг	Сгибание	До	0,22±0,08
		После	0,24±0,08*
	Разгибание	До	0,39±0,11
		После	0,43±0,13*
Удельный средний крутящий момент (УСКМ), Н·м/кг	Сгибание	До	0,79±0,21
		После	0,8±0,17
	Разгибание	До	1,32±0,29
		После	1,34±0,37*

Примечание: * – внутригрупповое отличие значений до и после курса реабилитации,

Т-критерий Вилкоксона (* – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$)

В контрольной группе женщин достоверные отличия ($p<0,05$; $p<0,01$) при скорости $30^\circ/\text{сек}$ обнаружены по значениям показателей КММ, УСКМ при разгибании, УСМ при сгибании. Так, КММ при разгибании увеличился на 7,0%, УСКМ на 1,5%, прирост значений УСМ при сгибании составил 8,3% (таблица 17). Такие данные говорят о незначительном увеличении силы четырехглавой мышцы бедра.

При скорости $60^\circ/\text{сек}$ в контрольной группе женщин так же обнаружены достоверные отличия. Значения показателя КММ при сгибании достоверно ($p<0,001$) увеличились на 9,4%, при разгибании ($p<0,01$) на 7,7%. Значения показателя УСМ при сгибании достоверно ($p<0,05$) увеличились на 4,8%, при разгибании ($p<0,001$) на 11,5%. Значения показателя УСКМ при сгибании достоверно ($p<0,001$) увеличились на 10,3%, при разгибании ($p<0,05$) на 2,1% (таблица 18). Такие данные говорят о положительной практически значимой динамике состояния межмышечной координации в этой группе.

Таблица 18 – Данные о динамике показателей межмышечной координации, $V=60^\circ/\text{сек}$ у женщин ($n=25$) контрольной группы ($M\pm SD$)

Показатель		Группа	Женщины ($n=25$)
			$M\pm SD$
Крутящий момент максимальный (КММ), Н·м	Сгибание	До	$53,57\pm 13,92$
		После	$59,14\pm 13,75^{***}$
	Разгибание	До	$83,12\pm 23,12$
		После	$90,08\pm 26,1^{**}$
Удельная средняя мощность (УСМ), Вт/кг	Сгибание	До	$0,6\pm 0,14$
		После	$0,63\pm 0,12^*$
	Разгибание	До	$0,85\pm 0,22$
		После	$0,96\pm 0,22^{***}$
Удельный средний крутящий момент (УСКМ), Н·м/кг	Сгибание	До	$0,87\pm 0,18$
		После	$0,97\pm 0,18^{***}$
	Разгибание	До	$1,38\pm 0,36$
		После	$1,41\pm 0,35^*$

Примечание: * – внутригрупповое отличие значений до и после курса реабилитации, Т-критерий Вилкоксона (* – $p<0,05$; ** – $p<0,01$; *** – $p<0,001$)

При скорости $120^\circ/\text{сек}$ в этой группе достоверные отличия ($p<0,05$) обнаружены по значениям показателей КММ, УСКМ при разгибании и УСМ при

сгибании (таблица 19). Значения показателя КММ при разгибании увеличились на 7,2%, УСКМ на 0,8%, а УСМ при сгибании на 4,8%, при разгибании на 10,3%. Можно предположить незначительное улучшение состояния межмышечной координации в контрольной группе женщин.

Таблица 19 – Данные о динамике показателей внутримышечной координации, $V=120^\circ/\text{сек}$ у женщин ($n=25$) контрольной группы ($M\pm SD$)

Показатель		Группа	Женщины ($n=25$)
			$M\pm SD$
Крутящий момент максимальный (КММ), Н·м	Сгибание	До	46,62±12,81
		После	47,99±15,15
	Разгибание	До	75±19,22
		После	80,86±23,89*
Удельная средняя мощность (УСМ), Вт/кг	Сгибание	До	0,6±0,14
		После	0,63±0,12*
	Разгибание	До	1,47±0,34
		После	1,43±0,33
Удельный средний крутящий момент (УСКМ), Н·м/кг	Сгибание	До	0,87±0,18
		После	0,97±0,18
	Разгибание	До	1,24±0,29
		После	1,25±0,29*

Примечание: * – внутригрупповое отличие значений до и после курса реабилитации, Т-критерий Вилкоксона (* – $p<0,05$)

Таблица 20 – Данные о динамике показателей скоростной выносливости, $V=180^\circ/\text{сек}$ у женщин ($n=25$) контрольной группы ($M\pm SD$)

Показатель		Группа	Женщины ($n=25$)
			$M\pm SD$
Крутящий момент максимальный (КММ), Н·м	Сгибание	До	39,14±10,6
		После	40,34±12,7
	Разгибание	До	65,96±17,8
		После	70,09±19,33*
Удельная средняя мощность (УСМ), Вт/кг	Сгибание	До	1,02±0,22
		После	1,06±0,25
	Разгибание	До	1,64±0,4
		После	1,64±0,37
Удельный средний крутящий момент (УСКМ), Н·м/кг	Сгибание	До	0,62±0,12
		После	0,65±0,14
	Разгибание	До	1,06±0,23
		После	1,09±0,25

Примечание: * – внутригрупповое отличие значений до и после курса реабилитации, Т-критерий Вилкоксона (* – $p<0,05$)

В контрольной группе мужчин при скорости 180°/сек по значениям регистрируемых показателей достоверные отличия ($p < 0,05$) обнаружены по значениям показателя КММ при разгибании. До реабилитационно-восстановительного лечения значения показателя находились в диапазоне $65,96 \pm 17,8$, а после проведенного лечения увеличились на 5,9% и составили $70,09 \pm 19,33$ (таблица 20). Такие данные у спортсменов контрольной группы говорят о незначительном приросте скоростной выносливости.

Таким образом, вне зависимости от гендера динамика значений показателей «Активное сгибание» и «Активное разгибание» имела тенденцию к сокращению межквартильного интервала, что говорит о восстановлении амплитуды движений у большей части выборки до физиологической нормы. Однако, данные, полученные при помощи РБК Кон-Трекс, говорят о незначительной положительной динамике, которая выражалась в увеличении силы, межмышечной координации и скоростной выносливости. При этом показатели, характеризующие состояния межмышечной координации улучшились в большей степени. Следует отметить, что полученные результаты можно считать недостаточными и это связано с тем, что данный подход в реабилитационно-восстановительном лечении спортсменов не учитывает их особенности ОДА и ограниченные сроки восстановления.

4.2. Результаты реабилитационно-восстановительного лечения спортсменов после травм и операций на коленном суставе с применением лечебной физкультуры, физиотерапии и роботизированной биомеханики

Для обеспечения эффективного восстановления функций ОДА и более раннему возвращению спортсменов к активным занятиям спортом был предложен комплексный подход к физической реабилитации коленного сустава после травм и операции, включающий физические упражнения по своей специфике, объему и интенсивности, приближенные к тренировочным занятиям, физиотерапевтические процедуры и тренировки с применением роботизированного биомеханического комплекса. Спортсмены, проходившие

реабилитационно-восстановительное лечение на третьем этапе реабилитации по данной программе, в исследовании были объединены в «Основную» группу.

На рисунках 30-43 представлены данные спортсменов основной группы на 3 этапе реабилитационно-восстановительных мероприятий: мужчин ($n=16$) и женщин ($n=27$), $21,31 \pm 2,91$ года и $22,04 \pm 3,36$ года, соответственно, уровень спортивного мастерства не ниже КМС.

Данные динамики основных показателей спортсменов-мужчин основной группы представлены на рисунках 30-36.

Значения показателя интенсивности болевого синдрома по ВАШ в результате реабилитационно-восстановительного лечения достоверно ($p < 0,01$) снизились в основной группе спортсменов с $2[0,5;4]$ до $0[0;0,5]$ баллов (рис. 30). По значениям показателя «Отек» так же наблюдается выраженная положительная динамика. Это подтверждается данными межквартильных интервалов: отмечается достоверное ($p < 0,01$) снижение значений показателя с $1[0,5;2]$ до $0[0;1]$ баллов (рис. 31).

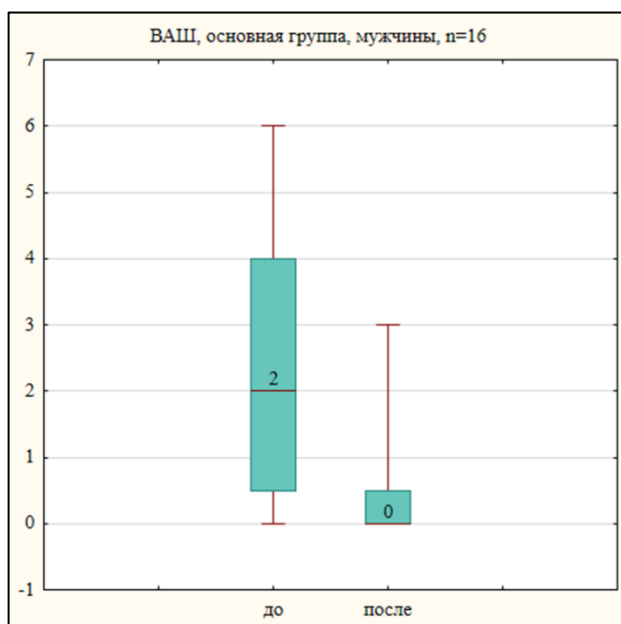


Рисунок 30 – Динамика значений показателей визуальной аналоговой шкалы в основной группе мужчин (Me [Q1–Q3]), $n=16$

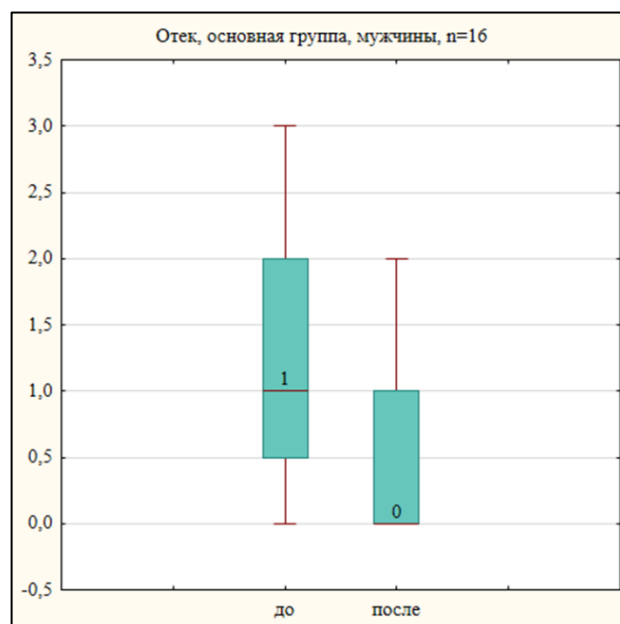


Рисунок 31 – Динамика значений показателей отека в основной группе мужчин (Me [Q1–Q3]), $n=16$

При анализе динамики значений показателя «Объем нижней трети бедра» в основной группе мужчин зафиксировано достоверное ($p < 0,01$) повышение

значения показателя с 43,5[42,25;47,25] см до 48[43,25;49,5] см, дополнительно свидетельствующее в пользу развития гипертрофии мышц бедра по сравнению с исходным состоянием (прирост до 9,4%) (рис. 32).

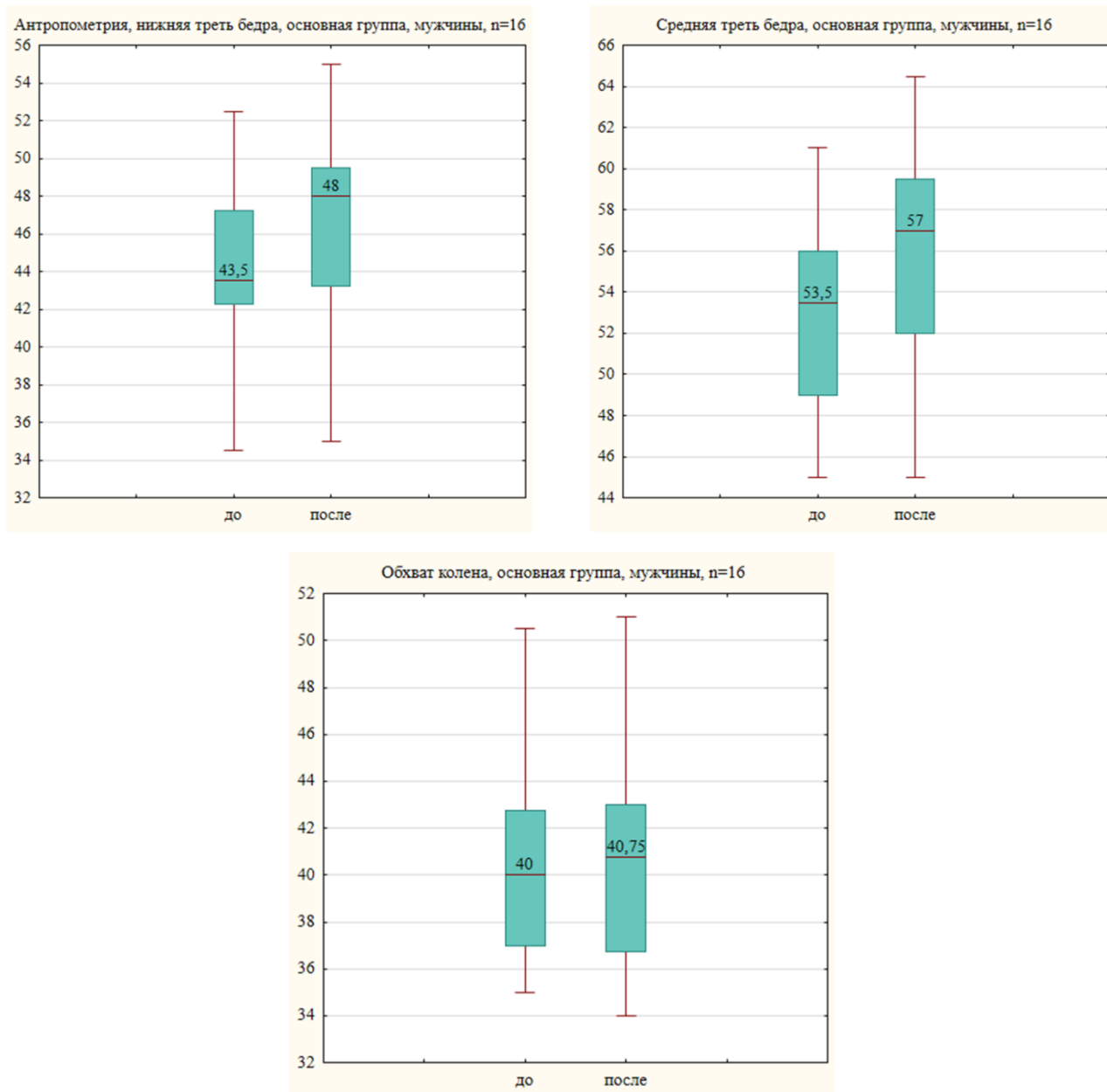


Рисунок 32 – Динамика значений показателей антропометрии в основной группе мужчин
(Me [Q1–Q3]), n=16

Аналогичная тенденция наблюдается в динамике значений показателя «Объем средней трети бедра» в основной группе мужчин. Отмечается достоверный ($p < 0,01$) прирост значения данного показателя на 6% (с 53,5[49;56] см до 57[52;59,5] см), что говорит о тенденции к развитию гипертрофии мышц бедра в основной группе мужчин после проведенного курса

реабилитационно-восстановительного лечения (рис. 32). Статистически значимых изменений медианного значения показателя «Обхват колена» в основной группе мужчин по окончании реабилитационно-восстановительного лечения зафиксировано не было (рис 32).

На рисунке 33 показана динамика значений показателя «Пассивного сгибания» и «Пассивного разгибания» в основной группе мужчин. По окончании реабилитационно-восстановительного лечения произошло достоверное ($p < 0,001$) увеличение значения показателя «Пассивного сгибания» с $145^\circ [140; 150,5]$ до $155^\circ [150; 157]$ и достоверное ($p < 0,01$) снижение значения показателя «Пассивного разгибания» с $-6^\circ [-10; -3]$ до $-10^\circ [-10; -8]$. Такие данные отражают положительную динамику амплитуды пассивных движений – как сгибания, так и разгибания в основной группе мужчин.

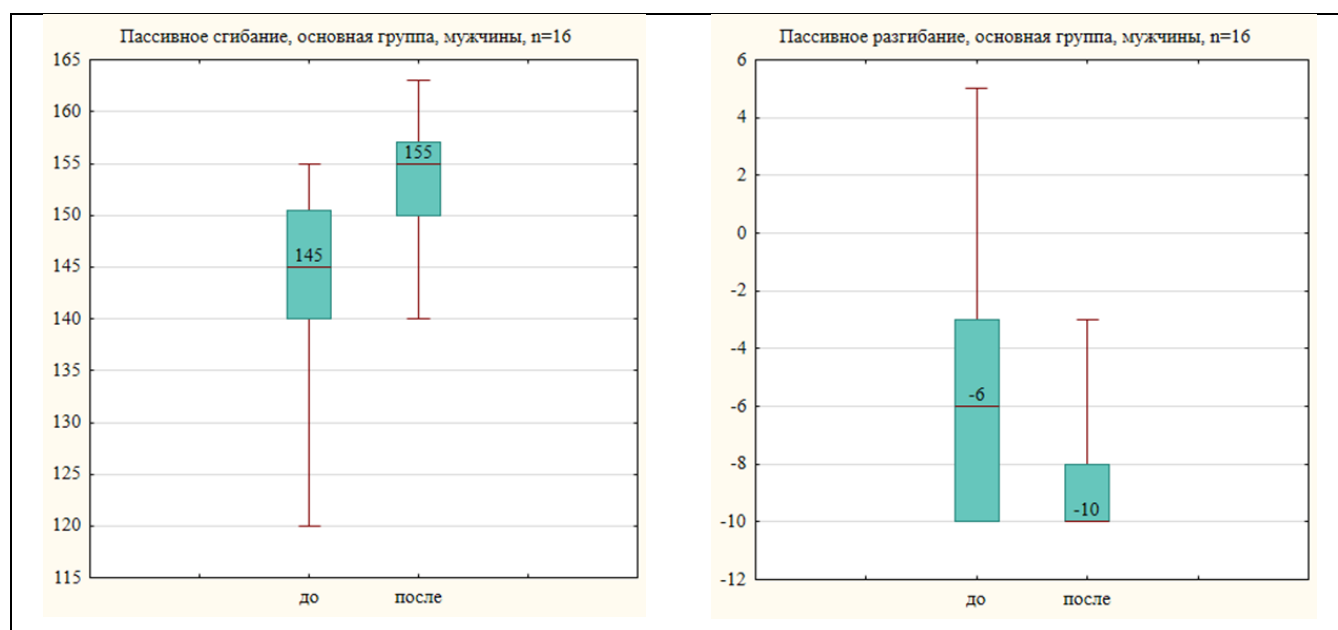


Рисунок 33 – Динамика значений показателей пассивного сгибания-разгибания в основной группе мужчин (Me[Q1–Q3]), n=16

При анализе динамики значений показателя «Активного сгибания» в основной группе мужчин выявлена достоверно положительная динамика: значения данного показателя ($p < 0,05$) увеличились с $130^\circ [123; 133,5]$ до $135^\circ [132; 136]$. Отмечается достоверное ($p < 0,05$) увеличение амплитуды активного разгибания в основной группе мужчин, значения показателя снизились с $-2,5^\circ [-5; 2]$ до $-5^\circ [-5; -5]$ (рис. 34).

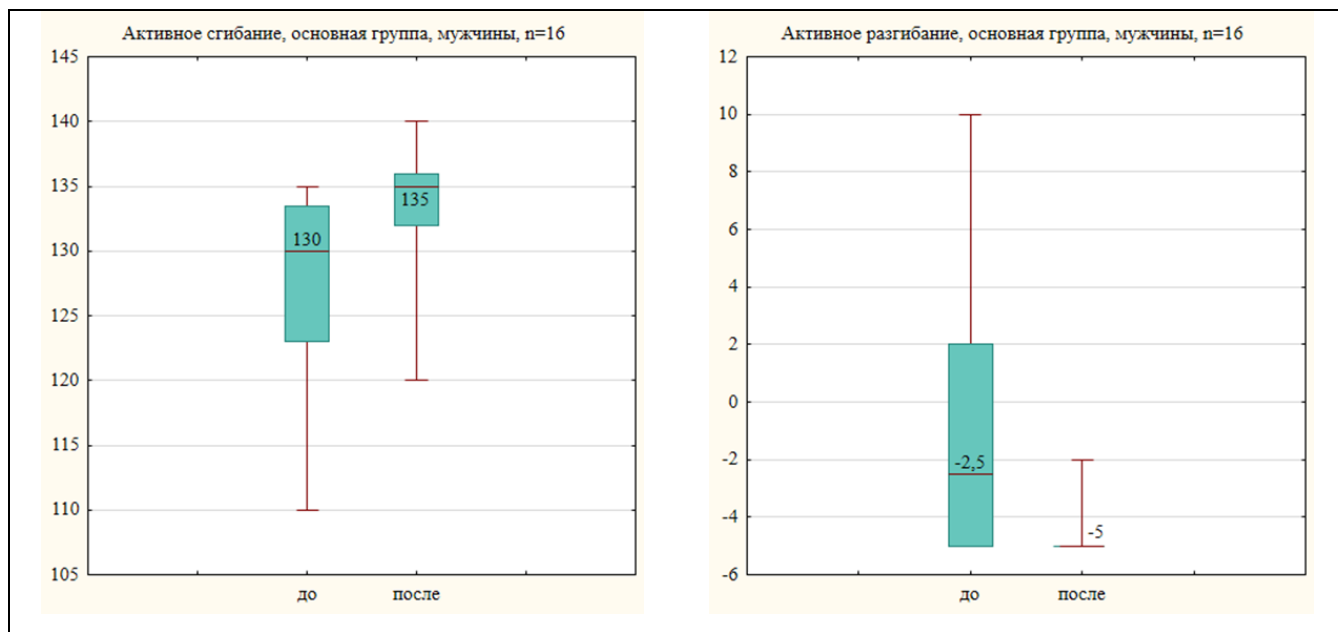


Рисунок 34 – Динамика значений показателей активного сгибания-разгибания в основной группе мужчин (Me[Q1–Q3]), n=16

Значения показателя «Фазовый угол» при исходной диагностике зафиксированы на уровне 7,72[7,08;7,96] у.е., а при выписке достоверно ($p<0,05$) увеличились на 2,3% и составили 7,9[7,6;8,1] у.е. По показателю «Мышечная масса» достоверных отличий не обнаружено, при этом значения увеличились на 0,3% (рис. 35).

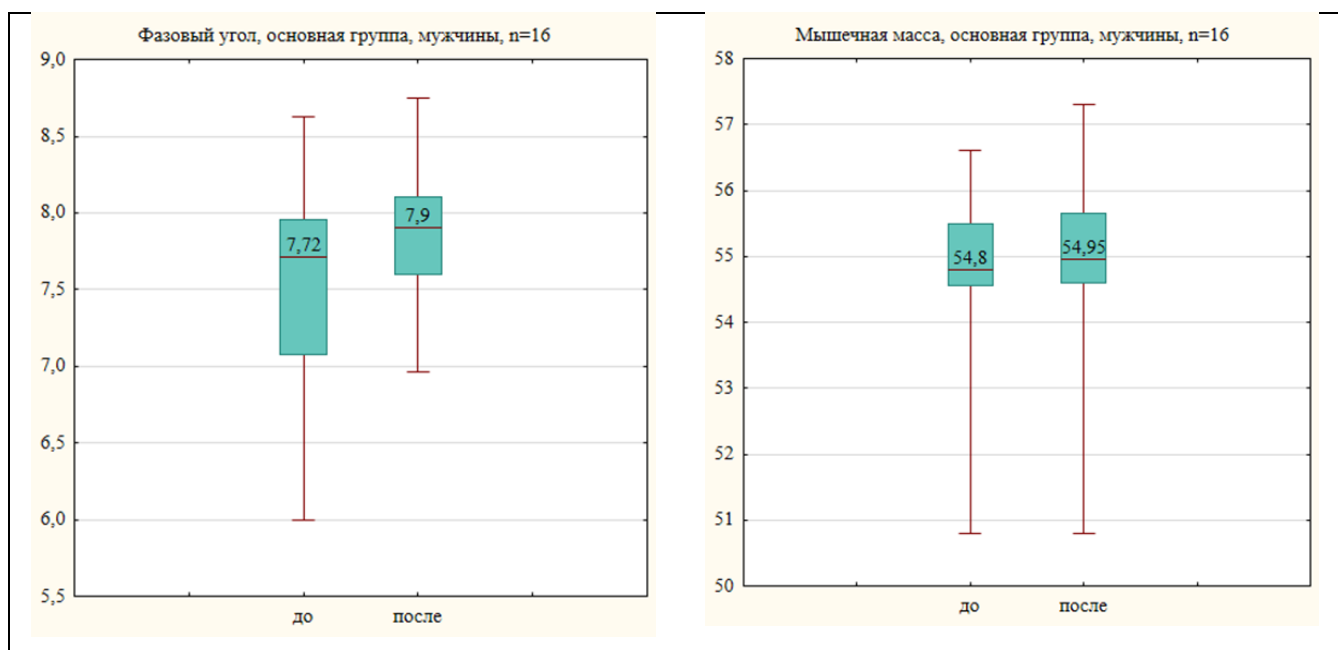


Рисунок 35 – Динамика значений показателей компонентного состава тела в основной группе мужчин (Me [Q1–Q3]), n=16

При анализе данных, полученных с силовой платформы, в основной группе мужчин при первичной диагностике зафиксировано умеренное смещение значений показателя «Распределение нагрузки» на здоровую ногу (48% при норме 49-51%). После проведенного реабилитационно-восстановительного лечения отмечалось незначительное улучшение. По значениям показателя «Индекс симметрии» выявлена достоверная ($p < 0,001$) положительная динамика, прирост значений составил 8,8% (рис. 36).

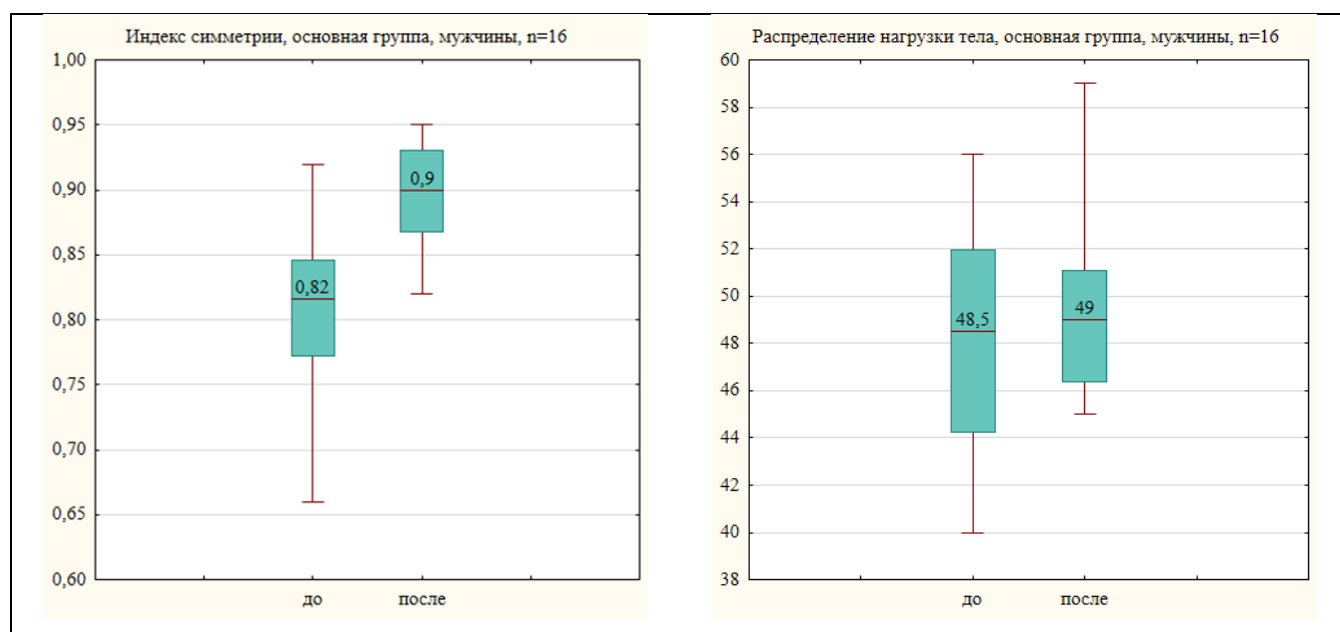


Рисунок 36 – Динамика значений показателей силовой платформы в основной группе мужчины (Me [Q1–Q3]), n=16

В таблицах 21-28 приведены данные обследования спортсменов основных групп (мужчины и женщины) на роботизированном биомеханическом комплексе.

Значения показателей КММ, УСМ и УСКМ после проведенного реабилитационно-восстановительного лечения в основной группе мужчин достоверно ($p < 0,001$) отличались при разгибании (таблица 21). КММ увеличился на 22,0%, УСМ на 22,9%, УСКМ на 21,3%. При сгибании достоверно ($p < 0,001$) увеличились значения показателей КММ на 13,2%, значения показателей УСМ достоверно ($p < 0,01$) увеличились на 24,1%. Такие данные говорят о значительном увеличении силы мышц бедра (сгибателей и разгибателей).

Таблица 21 – Данные о динамике показателей профиля силы, $V=30^\circ/\text{сек}$ у мужчин ($n=16$) основной группы ($M\pm SD$)

Показатель		Группа	Мужчины ($n=16$)
			$M\pm SD$
Крутящий момент максимальный (КММ), Н·м	Сгибание	До	67,38±20,6
		После	77,64±22,1***
	Разгибание	До	92,37±33,93
		После	118,73±23,49***
Удельная средняя мощность (УСМ), Вт/кг	Сгибание	До	0,22±0,11
		После	0,29±0,09**
	Разгибание	До	0,37±0,14
		После	0,48±0,13***
Удельный средний крутящий момент (УСКМ), Н·м/кг	Сгибание	До	0,78±0,34
		После	0,9±0,25
	Разгибание	До	1,18±0,42
		После	1,5±0,41***

Примечание: * – внутригрупповое отличие значений до и после курса реабилитации, Т-критерий Вилкоксона (** – $p<0,01$, *** – $p<0,001$)

Таблица 22 – Данные о динамике показателей межмышечной координации, $V=60^\circ/\text{сек}$ у мужчин ($n=16$) основной группы ($M\pm SD$)

Показатель		Группа	Мужчины ($n=16$)
			$M\pm SD$
Крутящий момент максимальный (КММ), Н·м	Сгибание	До	79,17±22,38
		После	89,38±11,41**
	Разгибание	До	94,37±35
		После	113,61±34,67**
Удельная средняя мощность (УСМ), Вт/кг	Сгибание	До	0,57±0,2
		После	0,66±0,18
	Разгибание	До	0,75±0,26
		После	0,89±0,27*
Удельный средний крутящий момент (УСКМ), Н·м/кг	Сгибание	До	0,89±0,25
		После	1,07±0,2*
	Разгибание	До	1,22±0,44
		После	1,45±0,47*

Примечание: * – внутригрупповое отличие значений до и после курса реабилитации, Т-критерий Вилкоксона (* – $p<0,05$; ** – $p<0,01$)

При скорости $60^\circ/\text{сек}$ в основной группе мужчин обнаружены достоверные отличия (таблица 22). После проведенного реабилитационно-восстановительного лечения значения показателя КММ при сгибании увеличились на 11,4%, а при

разгибании на 16,8% ($p<0,01$), что говорит о нормализации физиологического баланса сил мышц сгибателей к разгибателям (норма не менее 75%). Значения показателя УСМ при разгибании достоверно ($p<0,05$) увеличились на 16,5%. Значения показателя УСКМ при сгибании достоверно ($p<0,05$) увеличились на 16,8%, при разгибании ($p<0,05$) на 15,9%. Такие данные говорят о значительной положительной динамике состояния межмышечной координации в этой группе.

Таблица 23 – Данные о динамике показателей внутримышечной координации, $V=120^\circ/\text{сек}$ у мужчин ($n=16$) основной группы ($M\pm SD$)

Показатель		Группа	Мужчины ($n=16$)
			$M\pm SD$
Крутящий момент максимальный (КММ), Н·м	Сгибание	До	73,61 \pm 12,09
		После	76,26 \pm 12,42*
	Разгибание	До	85,68 \pm 32,61
		После	110,49 \pm 31,84***
Удельная средняя мощность (УСМ), Вт/кг	Сгибание	До	0,95 \pm 0,35
		После	1,1 \pm 0,26
	Разгибание	До	1,36 \pm 0,6
		После	1,56 \pm 0,44*
Удельный средний крутящий момент (УСКМ), Н·м/кг	Сгибание	До	0,82 \pm 0,22
		После	0,95 \pm 0,15*
	Разгибание	До	1,11 \pm 0,44
		После	1,35 \pm 0,39**

Примечание: * – внутригрупповое отличие значений до и после курса реабилитации, Т-критерий Вилкоксона (* – $p<0,05$; ** – $p<0,01$, *** – $p<0,001$)

После реабилитационно-восстановительного лечения при скорости $120^\circ/\text{сек}$ в основной группе мужчин достоверные отличия ($p<0,05$) при сгибании обнаружены по значениям показателей КММ и УСКМ. Значения показателя КММ при сгибании увеличились на 3,5% (с 73,61 \pm 12,09 до 76,26 \pm 12,42), а значения показателя УСКМ на 13,7% (с 0,82 \pm 0,22 до 0,95 \pm 0,15). Значения показателя КММ при разгибании достоверно ($p<0,001$) увеличились на 22,5% (с 85,68 \pm 32,61 до 110,49 \pm 31,84). Значения показателей УСМ при разгибании увеличились на 12,8% (с 1,36 \pm 0,6 до 1,56 \pm 0,44), а УСКМ при разгибании на 17,8% (с 1,11 \pm 0,44 до 1,35 \pm 0,39) (таблица 23). Это подтверждает значительную

положительную динамику в состоянии межмышечной координации в основной группе мужчин.

Таблица 24 – Данные о динамике показателей скоростной выносливости, $V=180^\circ/\text{сек}$ у мужчин ($n=16$) основной группы ($M\pm SD$)

Показатель		Группа	Мужчины ($n=16$)
			$M\pm SD$
Крутящий момент максимальный (КММ), Н·м	Сгибание	До	$55,97\pm 10,87$
		После	$67,59\pm 12,64^{**}$
	Разгибание	До	$79,58\pm 25,14$
		После	$94,07\pm 23,37^{**}$
Удельная средняя мощность (УСМ), Вт/кг	Сгибание	До	$1,11\pm 0,36$
		После	$1,32\pm 0,24^{**}$
	Разгибание	До	$1,52\pm 0,27$
		После	$1,92\pm 0,18^{***}$
Удельный средний крутящий момент (УСКМ), Н·м/кг	Сгибание	До	$0,7\pm 0,17$
		После	$0,82\pm 0,12^{**}$
	Разгибание	До	$1,01\pm 0,34$
		После	$1,17\pm 0,27^{**}$

Примечание: * – внутригрупповое отличие значений до и после курса реабилитации, Т-критерий Вилкоксона (** – $p<0,01$, *** – $p<0,001$)

В основной группе мужчин после реабилитационно-восстановительного лечения при скорости $180^\circ/\text{сек}$ по значениям всех регистрируемых показателей обнаружены достоверные отличия (таблица 24). Значения показателя КММ при сгибании увеличились на 17,2%, УСМ на 15,9%, УСКМ на 14,6%. При разгибании значения показателей КММ увеличились на 15,4%, УСМ на 20,8%, УСКМ на 13,7%. Такие данные у спортсменов основной группы говорят о значительном приросте скоростной выносливости с достижением физиологической нормы баланса скоростной выносливости мышц сгибателей к разгибателям (72% после лечения).

Анализ динамики основных показателей спортсменок-женщин основной группы представлен на рисунках 37-43.

Анализ динамики показателя интенсивности болевого синдрома по ВАШ в основной группе женщин показывает, что до реабилитационно-

восстановительного лечения значения находились в диапазоне 2[0;4] балла, а по завершении достоверно ($p < 0,001$) снизились до 0[0;1] баллов (рис. 37).

По окончании реабилитационно-восстановительного лечения в основной группе женщин статистически значимых изменений медианного значения показателя «Отек» зафиксировано не было. Однако, отмечается снижение верхнеквартильного значения с 2 до 0 баллов, что говорит о полном регрессе отека в данной группе ($p < 0,01$) (рис. 38).

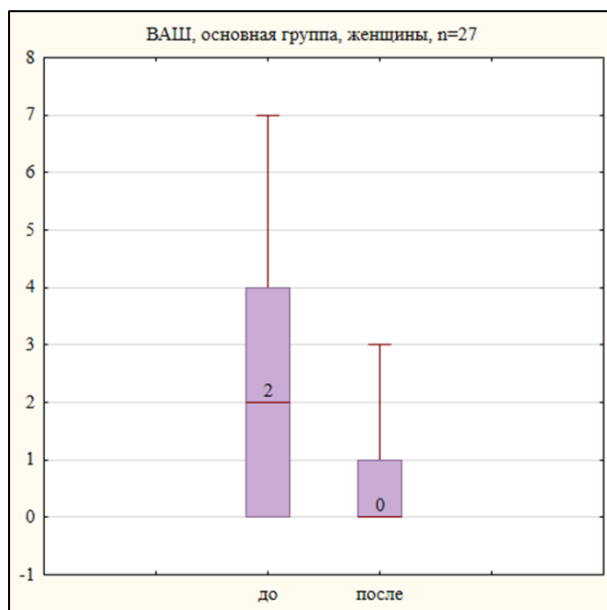


Рисунок 37 – Динамика значений показателей визуальной аналоговой шкалы в основной группе женщин (Me [Q1–Q3]), n=27

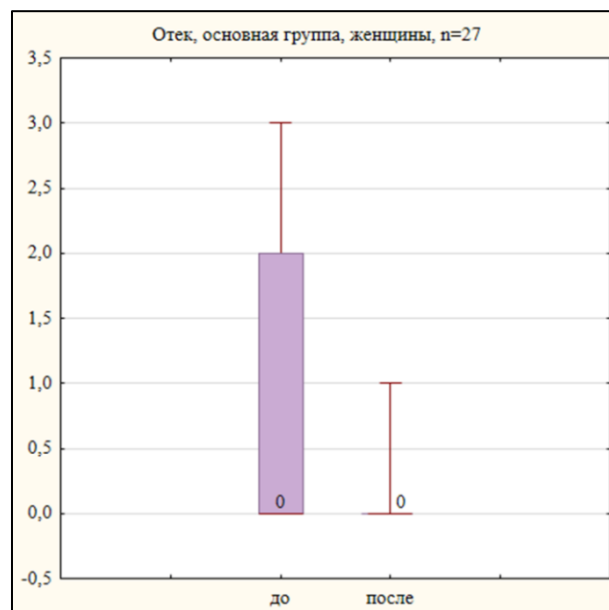


Рисунок 38 – Динамика значений показателей отека в основной группе женщин (Me [Q1–Q3]), n=27

На рисунке 39 отражена динамика значений антропометрических показателей в основной группе женщин. Анализ динамики показателя «Объем нижней трети бедра» в основной группе женщин показывает, что до реабилитационно-восстановительного лечения медианное значение находилось в диапазоне 42,5[39;44] см, а по завершении составило 42[40;43] см. Такие данные могут косвенно свидетельствовать о регрессе отека в верхнем завороте коленного сустава в данной группе.

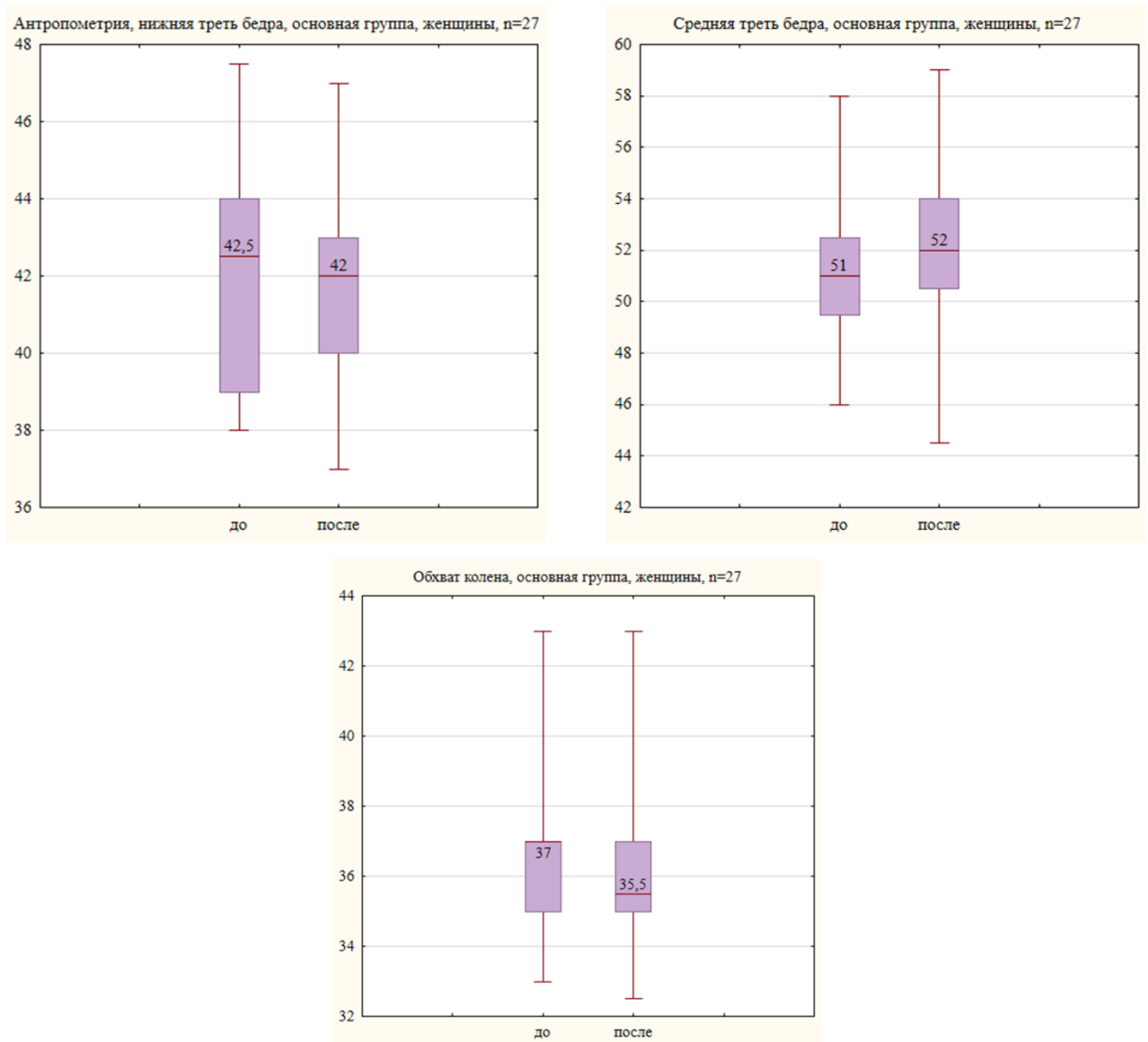


Рисунок 39 – Динамика значений антропометрических показателей в основной группе женщин

В значениях показателя «Объем средней трети бедра» в основной группе женщин отмечается прирост на 2% (с 51[49,5;52,5] до 52[50,5;54] см), что говорит о тенденции к развитию гипертрофии мышц бедра в основной группе женщин после проведенного курса реабилитационно-восстановительного лечения.

При анализе динамики значений показателя «Обхват колена» в основной группе женщин, отмечается достоверное ($p < 0,01$) снижение значений показателя с 37[35;37] до 35,5[35;37] см, что может свидетельствовать о снижении степени выраженности отека в данной группе.

Как видно из представленных данных на рисунке 40, у спортсменов из основной группы женщин после проведенного курса реабилитационно-

восстановительного лечения достоверно ($p < 0,001$) отличались значения показателя «Пассивного сгибания», отмечается прирост значения показателя с $146^\circ [138; 150]$ до $155^\circ [153; 160]$.

Статистически значимых изменений значения показателя «Пассивное разгибание» по окончании реабилитационно-восстановительного лечения в основной группе женщин зафиксировано не было.

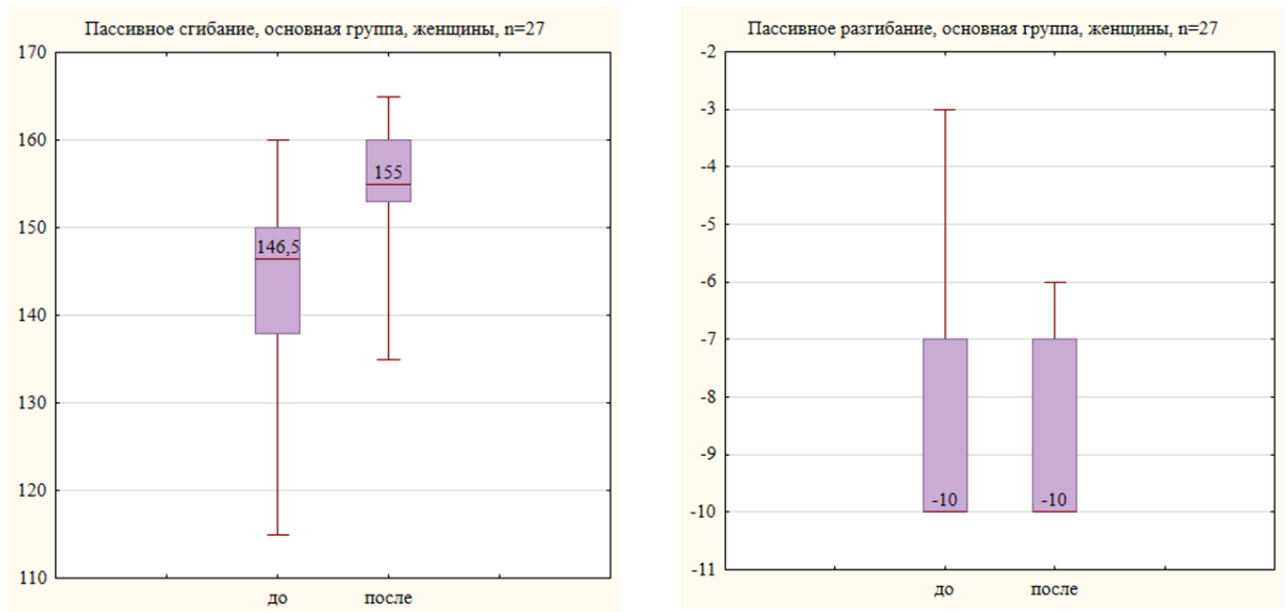


Рисунок 40 – Динамика значений пассивного сгибания-разгибания в основной группе женщин (Me [Q1–Q3]), n=27

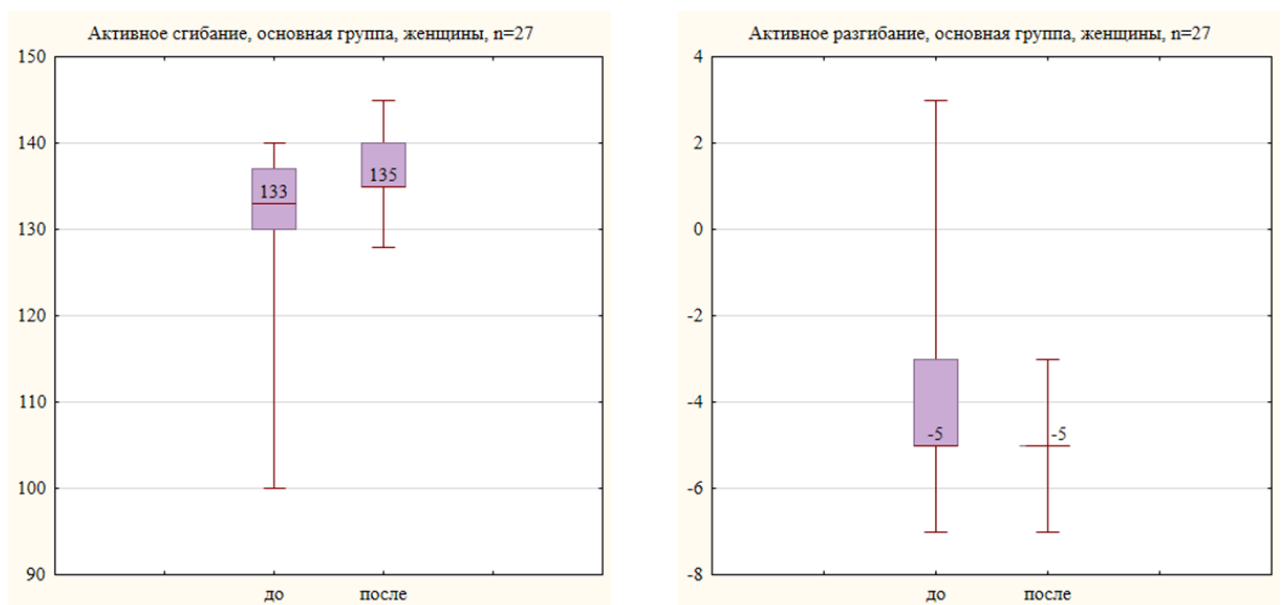


Рисунок 41 – Динамика значений показателей активного сгибания-разгибания в основной группе женщин (Me [Q1–Q3]), n=27

Сходная динамика наблюдалась при анализе значений показателей «Активного сгибания-разгибания» в основной группе женщин. Как показано на рисунке 41, наблюдалось достоверное ($p<0,01$) увеличение значения показателя «Активного сгибания» с $133^\circ[130;137]$ до $135^\circ[135;140]$. Значения показателя «Активного разгибание» так же подвергались статистически значимым изменениям ($p<0,05$): значения межквартильных интервалов снижались с $[-5;-3]$ до $[-5;-5]$.

На рисунке 42 представлена динамика значений показателей биоимпедансометрии в основной группе женщин.

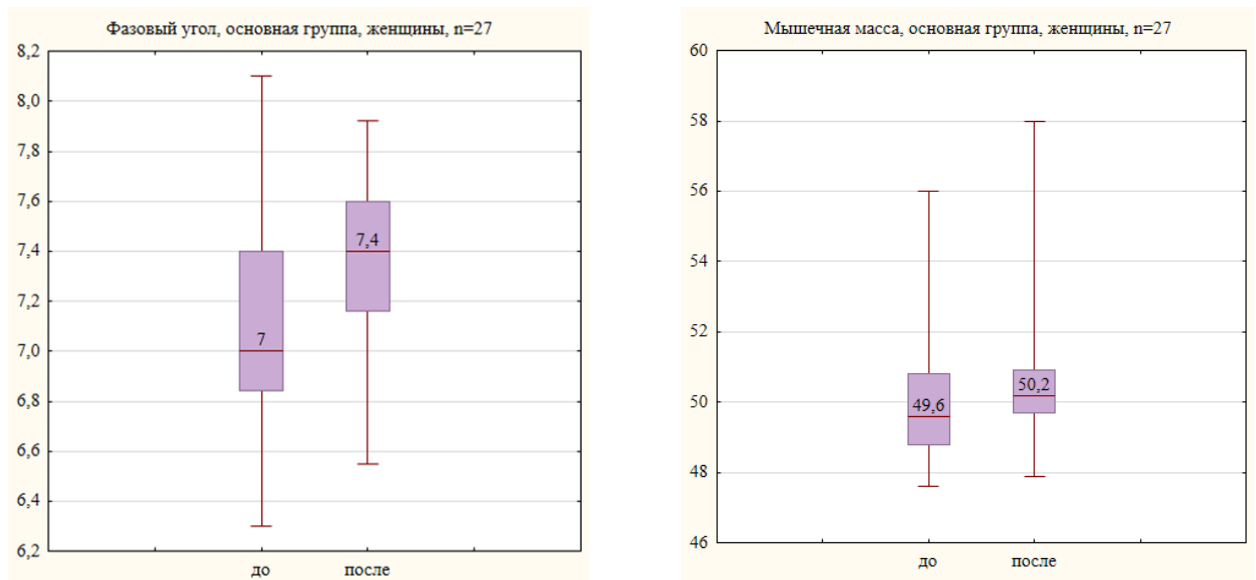


Рисунок 42 – Динамика значений показателей компонентного состава тела в основной группе женщин (Me [Q1–Q3]), n=27

Значения показателя «Фазовый угол» достоверно увеличились ($p<0,001$). При исходной диагностике составили $7[6,84;7,4]$ у.е., а при выписке увеличились на 6,6% до $7,4[7,16;7,6]$ у.е. Значения верхнеквартильного интервала выросли на 8,4%, а значения нижнеквартильного интервала увеличились на 6,3% (рис. 42).

Значения показателя «Мышечная масса» также достоверно ($p<0,05$) увеличились, прирост составил 1,2%. При исходной диагностике значения этого показателя составляли $49,6[48,8;50,8]$, а после проведения реабилитационно-восстановительного лечения увеличились до $50,2[49,7;50,9]$ (рис. 42).

По результатам сравнительной оценки данных, полученных при проведении обследования на силовой платформе «Кобс», в группе спортсменок при первичной диагностике было зафиксировано умеренное смещение распределения нагрузки тела на здоровую ногу 48,0% при норме 49-51%. Повторная диагностика после завершения курса реабилитации показала положительную динамику значений распределения нагрузки тела до нормальных общепопуляционных значений – 49,0% (N 49-51%). По показателю индекса симметрии прирост значений составил 5,5%, с 0,85 у.е. до 0,90 у.е. (рис. 43).

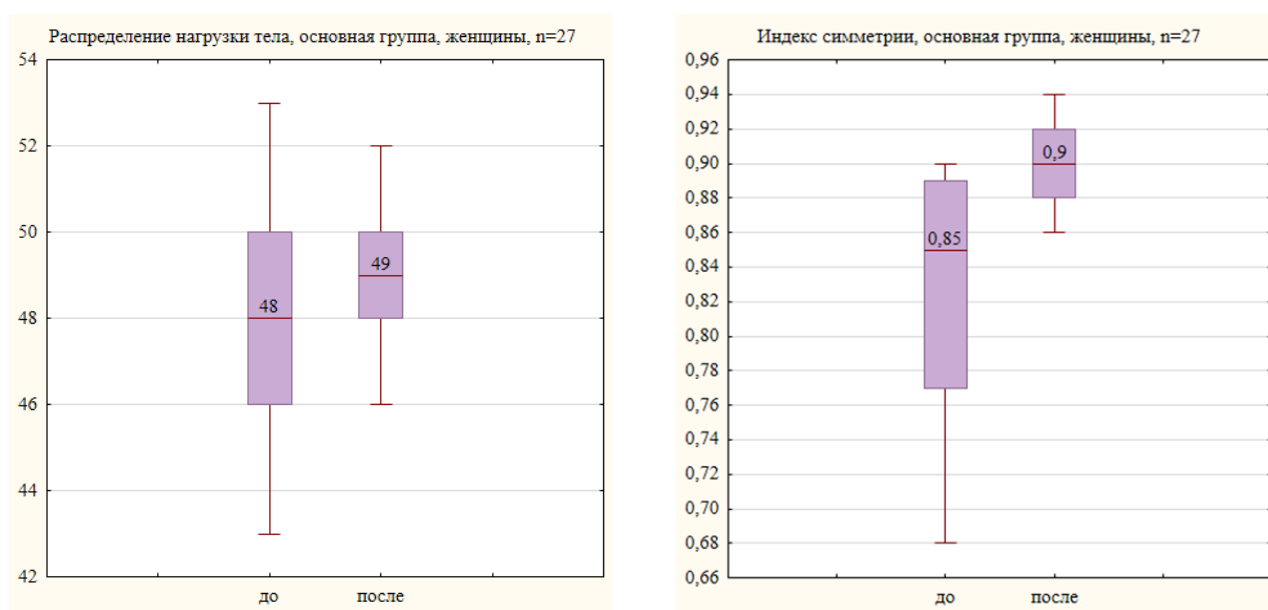


Рисунок 43 – Динамика значений показателей силовой платформы в основной группе женщин (Me [Q1–Q3]), n=27

В таблицах 25-28 представлены данные, полученные при помощи РБК Кон-Трекс.

При скорости 30°/сек в основной группе женщин достоверные отличия обнаружены по значениям всех регистрируемых показателей (таблица 25). Наиболее значимые изменения произошли по значениям показателей КММ, УСМ и УСКМ при разгибании. Так, значения показателей КММ увеличились на 18,1%, УСМ на 19,6%, а УСКМ на 21,4%, что говорит о значительном увеличении мышечной силы бедра.

Таблица 25 – Данные о динамике показателей профиля силы, $V=30^\circ/\text{сек}$ у женщин ($n=27$) основной группы ($M\pm SD$)

Показатель		Группа	Женщины ($n=27$)
			$M\pm SD$
Крутящий момент максимальный (КММ), Н·м	Сгибание	До	43,86±20,08
		После	53,52±19,4**
	Разгибание	До	72,53±20,46
		После	88,44±21,64***
Удельная средняя мощность (УСМ), Вт/кг	Сгибание	До	0,22±0,08
		После	0,26±0,07*
	Разгибание	До	0,37±0,1
		После	0,46±0,1**
Удельный средний крутящий момент (УСКМ), Н·м/кг	Сгибание	До	0,69±0,25
		После	0,82±0,27**
	Разгибание	До	1,14±0,26
		После	1,45±0,29**

Примечание: * – внутригрупповое отличие значений до и после курса реабилитации, Т-критерий Вилкоксона (* – $p<0,05$; ** – $p<0,01$; *** – $p<0,001$)

Таблица 26 – Данные о динамике показателей межмышечной координации, $V=60^\circ/\text{сек}$ у женщин ($n=27$) основной группы ($M\pm SD$)

Показатель		Группа	Женщины ($n=27$)
			$M\pm SD$
Крутящий момент максимальный (КММ), Н·м	Сгибание	До	55,01±18,16
		После	65,23±16,94***
	Разгибание	До	79,91±27,34
		После	94,73±21,54***
Удельная средняя мощность (УСМ), Вт/кг	Сгибание	До	0,58±0,14
		После	0,65±0,14**
	Разгибание	До	0,79±0,23
		После	0,88±0,23**
Удельный средний крутящий момент (УСКМ), Н·м/кг	Сгибание	До	0,85±0,22
		После	1,01±0,22***
	Разгибание	До	1,25±0,36
		После	1,56±0,32**

Примечание: * – внутригрупповое отличие значений до и после курса реабилитации, Т-критерий Вилкоксона (** – $p<0,01$, *** – $p<0,001$)

В основной группе женщин при скорости $60^\circ/\text{сек}$ достоверные отличия получены по значениям всех регистрируемых показателей, что говорит о практически значимой положительной динамике в этой группе. Так, например, значения показателя КММ при сгибании до лечения находились в диапазоне

55,01±18,16 Н·м, а после лечения увеличились на 15,7% и лежали в диапазоне 65,23±16,94 Н·м. При разгибании значения этого показателя до лечения были 79,91±27,34 Н·м, а после лечения увеличились на 15,3% и составили 94,73±21,54 Н·м (таблица 26).

После проведенного реабилитационно-восстановительного лечения при скорости 120°/сек в этой группе достоверные отличия получены по значениям всех регистрируемых показателей (таблица 27). Наибольший прирост отмечался в значениях показателей КММ - при сгибании на 16,7% и разгибании на 16,6%, УСКМ - при сгибании на 15,8%, при разгибании 18,8%. Такие данные говорят о значительном приросте внутримышечной координации.

Таблица 27 – Данные о динамике показателей внутримышечной координации, V=120°/сек у женщин (n=27) основной группы (M±SD)

Показатель		Группа	Женщины (n=27)
			M±SD
Крутящий момент максимальный (КММ), Н·м	Сгибание	До	45,33±12,44
		После	54,41±16,37***
	Разгибание	До	68,51±19,24
		После	82,15±21,33***
Удельная средняя мощность (УСМ), Вт/кг	Сгибание	До	0,58±0,14
		После	0,65±0,14**
	Разгибание	До	1,24±0,31
		После	1,53±0,35**
Удельный средний крутящий момент (УСКМ), Н·м/кг	Сгибание	До	0,85±0,22
		После	1,01±0,22***
	Разгибание	До	1,08±0,26
		После	1,33±0,26***

Примечание: * – внутригрупповое отличие значений до и после курса реабилитации, Т-критерий Вилкоксона (** – p<0,01, *** – p<0,001)

При скорости 180°/сек в основной группе женщин достоверные отличия получены по значениям всех регистрируемых показателей (таблица 28). Наибольший прирост отмечался в значениях показателей КММ, так при сгибании до лечения значения показателя находились в диапазоне 37,66±10,78, а после лечения увеличились на 18,7% и находились в диапазоне 46,32±15,71. При разгибании до лечения значения показателя КММ были 57,86±15,47, после лечения выросли на 18,08% и составили 70,63±21,56. Такие данные говорят о

значительной положительной динамике скоростной выносливости с достижением физиологической нормы баланса скоростной выносливости мышц сгибателей к разгибателям.

Таблица 28 – Данные о динамике показателей скоростной выносливости, $V=180^\circ/\text{сек}$ у женщин ($n=27$) основной группы ($M\pm SD$)

Показатель		Группа	Женщины ($n=27$)
			$M\pm SD$
Крутящий момент максимальный (КММ), Н·м	Сгибание	До	$37,66\pm 10,78$
		После	$46,32\pm 15,71^{***}$
	Разгибание	До	$57,86\pm 15,47$
		После	$70,63\pm 21,56^{***}$
Удельная средняя мощность (УСМ), Вт/кг	Сгибание	До	$0,97\pm 0,25$
		После	$1,14\pm 0,31^{**}$
	Разгибание	До	$1,37\pm 0,33$
		После	$1,75\pm 0,38^{***}$
Удельный средний крутящий момент (УСКМ), Н·м/кг	Сгибание	До	$0,58\pm 0,14$
		После	$0,71\pm 0,18^{***}$
	Разгибание	До	$0,91\pm 0,21$
		После	$1,13\pm 0,22^{**}$

Примечание: * – внутригрупповое отличие значений до и после курса реабилитации, Т-критерий Вилкоксона (** – $p<0,01$; *** – $p<0,001$)

Таким образом, оценивая результаты проведённого реабилитационно-восстановительного лечения с включением РБК Кон-Трекс у спортсменов основной группы отмечалась выраженная комплексная положительная динамика. Так, и у мужчин, и у женщин по показателю ВАШ выраженность болевого синдрома снизилась; уменьшился отек поврежденной области (коленный сустав); восстановилась амплитуда движения в суставе, как при пассивных, так и при активных движениях; улучшились показатели компонентного состава тела и координационные способности. Обращает на себя внимание, что по данным диагностического обследования на РБК Кон-Трекс при каждом значении угловых скоростей происходили достоверно значимые улучшения. По нашему мнению, такие результаты связаны с тем, что именно применение роботизированного комплекса в реабилитационном лечении спортсменов позволяет скрупулёзно и эффективно, с учетом особенностей опорно-двигательного аппарата спортсменов

осуществлять восстановление сниженных функций при повреждениях коленного сустава.

4.3. Оценка эффективности методики реабилитации спортсменов после травм и операций на коленном суставе с применением роботизированных биомеханических комплексов

Для выявления динамики изменений основных показателей комплексного обследования в обеих группах мужчин и женщин был проведен сравнительный анализ данных, полученных после окончания реабилитационно-восстановительного лечения.

В таблице 29 представлены данные спортсменов мужчин контрольной ($n=14$) и основной ($n=16$) групп на 3 этапе реабилитационно-восстановительных мероприятий после проведенного лечения, возраст $22,4 \pm 3,84$ и $21,31 \pm 2,91$, соответственно уровень спортивного мастерства не ниже КМС.

Анализ наличия статистически значимых изменений в данных обследования проводился с помощью непараметрического U-критерия Мана-Уитни. Статистически значимым различием считалось значение вероятности ошибки $p \leq 0,05$.

Значения показателя интенсивности болевого синдрома по ВАШ в контрольной и основной группах мужчин по завершении реабилитационно-восстановительного лечения достоверно ($p < 0,01$) отличались и составляли $0,5[0;3]$ и $0[0;0,5]$ баллов, соответственно. Это свидетельствует в пользу меньшей выраженности болевого синдрома в основной группе мужчин. По окончании реабилитационно-восстановительного лечения в основной и контрольной группе мужчин статистически значимых различий в значениях показателя «Отек» зафиксировано не было.

Таблица 29 – Средние значения показателей комплексного обследования спортсменов-мужчин основной и контрольной группы после проведенного реабилитационно-восстановительного лечения

Метод	Показатель	Мужчины	
		Контрольная группа (n=14)	Основная группа (n=16)
		$\overline{M \pm SD}$ $Me[Q1; Q3]$	
	ВАШ	$\frac{1,21 \pm 1,48}{0,5[0;3]}$	$\frac{0,38 \pm 0,81}{0[0;0,5]}$
	Отёк	$\frac{0,39 \pm 0,49}{0[0;1]}$	$\frac{0,38 \pm 0,62}{0[0;1]}$
Антропометрия	Нижняя треть бедра	$\frac{47 \pm 2,59}{47,5[45;48]}$	$\frac{46,28 \pm 5,69}{48[43,25;49,5]}$
	Средняя треть бедра	$\frac{57,05 \pm 3,39}{58[56,25;59]}$	$\frac{55,78 \pm 5,84}{57[52;59,5]}$
	Колено	$\frac{41,21 \pm 2,11}{42[39,25;43]}$	$\frac{40,44 \pm 4,52}{40,75[36,75;43]}$
Пассивное	Сгибание	$\frac{151,29 \pm 10,79}{155,5[145;160]}$	$\frac{153,38 \pm 6,03}{155[150;157]}$
	Разгибание	$\frac{-7,36 \pm 4,47}{-10[-10;-5]}$	$\frac{-8,81 \pm 2,01}{-10[-10;-8]}$
Активное	Сгибание	$\frac{133,36 \pm 7,49}{135[130;140]}$	$\frac{133,06 \pm 6,21}{135[132;136]}$
	Разгибание	$\frac{-4,64 \pm 2,37}{-5[-5;-5]}$	$\frac{-4,75 \pm 0,77}{-5[-5;-5]}$
Медасс	Фазовый угол	$\frac{7,66 \pm 0,31}{7,7[7,37;7,93]}$	$\frac{7,87 \pm 0,44}{7,9[7,6;8,1]}$
	Мышечная масса	$\frac{54,72 \pm 0,78}{54,84[54,55;55,25]}$	$\frac{54,98 \pm 1,44}{54,95[54,6;55,65]}$
Кобс	Распределение нагрузки	$\frac{49,0 \pm 2,25}{48,94[47;51]}$	$\frac{49,5 \pm 3,48}{49[46,38;51,06]}$
	Индекс симметрии	$\frac{0,86 \pm 0,02}{0,85[0,85;0,88]}$	$\frac{0,9 \pm 0,04^{**}}{0,9[0,87;0,93]}$

Примечание: ** – отличие от значения того же показателя в группе без Кон-Трекса, U-критерий Манна-Уитни ($p < 0,01$)

По завершении реабилитационно-восстановительного лечения при сравнительном анализе значений показателей «Объем нижней трети бедра» в контрольной (47,5[45;48] см) и основной (48[43,25;49,5] см) группе мужчин достоверных отличий не выявлено.

В значениях показателей «Объем средней трети бедра» статистически значимых отличий в контрольной и основной группе мужчин не отмечалось (58[56,25;59] и 57[52;59,5] см соответственно).

При сравнительном анализе значений показателя «Обхвата колена» в контрольной и основной группе мужчин выявлено, что значения данного показателя составляли 42,0[39,25;43] см и 40,75[36,75;43] см, соответственно, что может свидетельствовать о меньшей степени выраженности отека в основной группе мужчин на фоне проведенного курса реабилитационно-восстановительного лечения с РБК.

Для показателя «Пассивного разгибания» регистрировались идентичные медианные значения в обеих группах, в то время как имеющаяся разница межквартильных интервалов свидетельствует в пользу более выраженного прироста угла пассивного разгибания в основной группе мужчин (-10° [-10;-8]) по сравнению с контрольной (-10° [-10;-5]). В значениях показателя «Пассивного сгибания» при сравнительном анализе в контрольной и основной группе мужчин статистически значимых отличий не отмечалось.

Статистически значимых отличий значений показателя «Активного разгибания» по окончании реабилитационно-восстановительного лечения в контрольной и основной группах мужчин зафиксировано не было. Аналогичные данные зафиксированы и для значений показателей «Активного сгибания», однако обращает на себя внимание разница межквартильных интервалов, что говорит о более выраженной динамике прироста угла активного сгибания в основной группе мужчин (135° [132;136]) по сравнению с контрольной (135° [130;140]).

При сравнительном анализе значений показателей состава тела достоверных отличий не обнаружено. Однако, значения показателя «Фазовый угол» в основной группе на 2,5% выше (7,7[7,37;7,93] и 7,9[7,6;8,1] у.е., соответственно). Значения показателей «Мышечной массы» в основной группе $54,98 \pm 1,44\%$, а в контрольной $54,72 \pm 0,78\%$. При сравнительном анализе значений показателей состава тела достоверных отличий не обнаружено.

Данные, полученные с помощью силовой платформы, говорят о незначительном смещении распределения нагрузки тела (48,94[47;51]%) в контрольной группе спортсменов, тогда как в основной зафиксировано полностью сбалансированное распределение нагрузки (49[46,38;51,06]%).

Значения показателя «Индекс симметрии» в контрольной группе были зафиксированы на уровне 0,85[0,85;0,88] у.е., а в основной группе достоверно ($p \leq 0,001$) отличались и находились в диапазоне 0,9[0,87;0,93] у.е., что на 5,5% больше, чем в контрольной группе.

В таблицах 30-33 представлены данные, полученные при помощи РБК Кон-Трекс.

При анализе значений показателей профиля силы после реабилитационно-восстановительного лечения в основной и контрольной группе мужчин достоверные отличия получены по показателям при разгибании КММ, УСМ и УСКМ, при сгибании по показателю УСКМ (таблица 30). Так, при разгибании значения показателя КММ в контрольной группе фиксировались в диапазоне $109,91 \pm 21,93$ Н·м, а в основной составили $118,73 \pm 23,49$ Н·м, что на 7,4% выше, чем в контрольной группе.

Таблица 30 – Значения показателей профиля силы, $V=30^\circ/\text{сек}$ у спортсменов-мужчин основной ($n=16$) и контрольной ($n=14$) группы после реабилитационно-восстановительного лечения ($M \pm SD$)

Показатель		Мужчины	
		Контрольная группа ($n=14$)	Основная группа ($n=16$)
		$M \pm SD$	
Крутящий момент максимальный (КММ), Н·м	Сгибание	$70,88 \pm 22,94$	$77,64 \pm 22,1$
	Разгибание	$109,91 \pm 21,93$	$118,73 \pm 23,49^*$
Удельная средняя мощность (УСМ), Вт/кг	Сгибание	$0,24 \pm 0,09$	$0,29 \pm 0,09$
	Разгибание	$0,37 \pm 0,12$	$0,48 \pm 0,13^*$
Удельный средний крутящий момент (УСКМ), Н·м/кг	Сгибание	$0,69 \pm 0,26$	$0,9 \pm 0,25^*$
	Разгибание	$1,15 \pm 0,33$	$1,5 \pm 0,41^*$

Примечание: * – отличие от значения того же показателя в основной и контрольной группе, U-критерий Манна-Уитни ($p < 0,05$)

При скорости $30^\circ/\text{сек}$ были обнаружены достоверные отличия. Значения показателя УСМ при разгибании в контрольной группе ниже на 22,9%, чем в

основной ($0,37 \pm 0,12$ Н·м и $0,48 \pm 0,13$ Н·м, соответственно). Значения показателей УСКМ при сгибании и разгибании в основной группе выше на 23,3%, чем в контрольной (таблица 30). Очевидно, что в основной группе после реабилитационно-восстановительного лечения все регистрируемые показатели имеют более значимую положительную динамику.

Таблица 31 – Значения показателей межмышечной координации, $V = 60^\circ/\text{сек}$ у спортсменов-мужчин основной ($n=16$) и контрольной ($n=14$) группы после реабилитационно-восстановительного лечения ($M \pm SD$)

Показатель		Мужчины	
		Контрольная группа ($n=14$)	Основная группа ($n=16$)
		$M \pm SD$	
Крутящий момент максимальный (КММ), Н·м	Сгибание	$85,45 \pm 16,03$	$89,38 \pm 11,41$
	Разгибание	$101,77 \pm 30,38$	$113,61 \pm 34,67$
Удельная средняя мощность (УСМ), Вт/кг	Сгибание	$0,64 \pm 0,13$	$0,66 \pm 0,18$
	Разгибание	$0,68 \pm 0,22$	$0,89 \pm 0,27^*$
Удельный средний крутящий момент (УСКМ), Н·м/кг	Сгибание	$0,92 \pm 0,16$	$1,07 \pm 0,2^*$
	Разгибание	$1,07 \pm 0,37$	$1,45 \pm 0,47^*$

Примечание: * – отличие от значения того же показателя в основной и контрольной группе,

U-критерий Манна-Уитни ($p < 0,05$)

Анализ значений показателей при скорости $60^\circ/\text{сек}$ после реабилитационно-восстановительного лечения в основной и контрольной группе мужчин выявил достоверные отличия по показателям при разгибании УСМ и УСКМ, при сгибании по показателю УСКМ. При разгибании значения показателя УСМ в основной группе на 23,6% выше, чем в контрольной ($0,89 \pm 0,27$ Вт/кг и $0,68 \pm 0,22$ Вт/кг). Значения показателя УСКМ при сгибании в основной группе находились в диапазоне $1,07 \pm 0,2$ Н·м/кг, что на 14,0% выше, чем в контрольной ($0,92 \pm 0,16$ Н·м/кг). Значения показателей УСКМ при разгибании в основной группе фиксировались в диапазоне $1,45 \pm 0,47$ Н·м/кг, а в контрольной в диапазоне $1,07 \pm 0,37$ Н·м/кг (выше на 26,2%) (таблица 31). Такие данные отражают продуктивный и эффективный процесс восстановления в основной группе после реабилитационно-восстановительного лечения.

Таблица 32 – Значения показателей внутримышечной координации, $V=120^\circ/\text{сек}$ у спортсменов-мужчин основной ($n=16$) и контрольной ($n=14$) группы после реабилитационно-восстановительного лечения ($M\pm SD$)

Показатель		Мужчины	
		Контрольная группа ($n=14$)	Основная группа ($n=16$)
		$M\pm SD$	
Крутящий момент максимальный (КММ), Н·м	Сгибание	74,28±11,39	76,26±12,42
	Разгибание	97,53±27,72	110,49±31,84*
Удельная средняя мощность (УСМ), Вт/кг	Сгибание	0,95±0,23	1,1±0,26*
	Разгибание	1,19±0,43	1,56±0,44*
Удельный средний крутящий момент (УСКМ), Н·м/кг	Сгибание	0,79±0,18	0,95±0,15**
	Разгибание	0,99±0,37	1,35±0,39*

Примечание: * – отличие от значения того же показателя в основной и контрольной группе, U-критерий Манна-Уитни (* – $p<0,05$, ** – $p<0,01$)

Аналогичная динамика прослеживается по значениям показателей внутримышечной координации. Так, например, наиболее значимые изменения произошли со значениями показателей УСМ и УСКМ при разгибании. В основной группе значения показателя УСМ после реабилитационно-восстановительного лечения находились в диапазоне $1,56\pm 0,44$ Вт/кг, что на 23,7% выше, чем в контрольной группе, диапазон значений в которой составил $1,19\pm 0,43$ Вт/кг. Отмечается достоверный прирост значений (на 26,7%) и по показателям УСКМ при разгибании, в основной группе они фиксировались на уровне $1,35\pm 0,39$ Н·м/кг, а в контрольной $0,99\pm 0,37$ Н·м/кг (таблица 32). Соответственно, в основной группе за одинаковый период времени лечения прирост значений внутримышечной координации имеет ярко положительную динамику.

При анализе значений показателей скоростной выносливости в обеих группах мужчин после реабилитационно-восстановительного лечения достоверные отличия обнаружены по показателям УСМ и УСКМ при сгибании и разгибании. Значения показателей УСМ при сгибании в контрольной группе зафиксирован в диапазоне $1,16\pm 0,23$ Вт/кг, а в основной на 12,1% выше в диапазоне $1,32\pm 0,24$ Вт/кг. При разгибании значения показателя УСМ в контрольной группе составляли $1,21\pm 0,26$ Н·м/кг, а в основной были на 37,0%

выше и фиксировались на уровне $1,92 \pm 0,18$ Н·м/кг. Аналогичная тенденция прослеживается и по значениям показателей УСКМ при сгибании и разгибании (таблица 33). Такие данные показывают значительный прирост скоростной выносливости в основной группе по сравнению с контрольной у спортсменов-мужчин.

Таблица 33 – Значения показателей скоростной выносливости, $V=180^\circ/\text{сек}$ у спортсменов-мужчин основной ($n=16$) и контрольной ($n=14$) группы после реабилитационно-восстановительного лечения ($M \pm SD$)

Показатель		Мужчины	
		Контрольная группа ($n=14$)	Основная группа ($n=16$)
		$M \pm SD$	
Крутящий момент максимальный (КММ), Н·м	Сгибание	$60,64 \pm 11,54$	$67,59 \pm 12,64$
	Разгибание	$86,29 \pm 25,8$	$94,07 \pm 23,37$
Удельная средняя мощность (УСМ), Вт/кг	Сгибание	$1,16 \pm 0,23$	$1,32 \pm 0,24^{**}$
	Разгибание	$1,21 \pm 0,26$	$1,92 \pm 0,18^{**}$
Удельный средний крутящий момент (УСКМ), Н·м/кг	Сгибание	$0,63 \pm 0,17$	$0,82 \pm 0,12^{**}$
	Разгибание	$0,88 \pm 0,31$	$1,17 \pm 0,27^*$

Примечание: * – отличие от значения того же показателя в основной и контрольной группе,

U-критерий Манна-Уитни (* – $p < 0,05$, ** – $p < 0,01$)

В таблице 34 представлены данные спортсменок (женщин) контрольной ($n=25$) и основной ($n=27$) групп на 3 этапе реабилитационно-восстановительных мероприятий после проведенного лечения, уровень спортивного мастерства не ниже КМС, возраст $22,86 \pm 5,02$ и $22,04 \pm 3,36$ соответственно.

При анализе данных, полученных по окончании реабилитационно-восстановительного лечения в контрольной и основной группах женщин, статистически значимых отличий значения показателя интенсивности болевого синдрома по ВАШ зафиксировано не было ($0[0;1]$ и $0[0;1]$ баллов соответственно).

Статистически значимых отличий медианного значения показателя «Отек» в группах не наблюдалось. Однако, обращает на себя внимание разница в верхнеквартильных значениях, что говорит о полном регрессе отека в основной группе ($0[0;0]$ балл и $0[0;1]$ балл, соответственно).

Таблица 34 – Средние значения показателей комплексного обследования спортсменок-женщин основной и контрольной группы после проведенного реабилитационно-восстановительного лечения

Метод	Показатель	Мужчины	
		Контрольная группа (n=14)	Основная группа (n=16)
		$\overline{M \pm S}$ $Me[Q1;Q3]$	
	ВАШ	$1,21 \pm 1,48$ 0,5[0;3]	$0,38 \pm 0,81$ 0[0;0,5]
	Отёк	$0,39 \pm 0,49$ 0[0;1]	$0,38 \pm 0,62$ 0[0;1]
Антропометрия	Нижняя треть бедра	$47 \pm 2,59$ 47,5[45;48]	$46,28 \pm 5,69$ 48[43,25;49,5]
	Средняя треть бедра	$57,05 \pm 3,39$ 58[56,25;59]	$55,78 \pm 5,84$ 57[52;59,5]
	Колено	$41,21 \pm 2,11$ 42[39,25;43]	$40,44 \pm 4,52$ 40,75[36,75;43]
Пассивное	Сгибание	$151,29 \pm 10,79$ 155,5[145;160]	$153,38 \pm 6,03$ 155[150;157]
	Разгибание	$-7,36 \pm 4,47$ -10[-10;-5]	$-8,81 \pm 2,01$ -10[-10;-8]
Активное	Сгибание	$133,36 \pm 7,49$ 135[130;140]	$133,06 \pm 6,21$ 135[132;136]
	Разгибание	$-4,64 \pm 2,37$ -5[-5;-5]	$-4,75 \pm 0,77$ -5[-5;-5]
Медасс	Фазовый угол	$7,66 \pm 0,31$ 7,7[7,37;7,93]	$7,87 \pm 0,44$ 7,9[7,6;8,1]
	Мышечная масса	$54,72 \pm 0,78$ 54,84[54;55,25]	$54,98 \pm 1,44$ 54,95[54,6;55,65]
Кобс	Распределение нагрузки	$49 \pm 2,25$ 48,94[47;51]	$49,5 \pm 3,48$ 49[46,38;51,06]
	Индекс симметрии	$0,86 \pm 0,02$ 0,85[0,85;0,88]	$0,9 \pm 0,04^{**}$ 0,9[0,87;0,93]

Примечание: * – отличие от значения того же показателя в группе без Кон-Трекса, U-критерий Манна-Уитни (* – $p < 0,05$, ** – $p < 0,01$)

При сравнительном анализе значений показателей «Объем нижней трети бедра» в основной группе женщин медианное значение находилось на уровне 42[40;43] см, в то время как в контрольной группе оно составило 44[41;45,25] см. Такие данные свидетельствуют о более выраженном регрессе отека в верхнем завороте коленного сустава в основной группе женщин.

При сравнительном анализе значений показателя «Объем средней трети бедра» в контрольной и основной группах женщин статистически значимых отличий выявлено не было (52,25[51,5;55] и 52[50,5;54] см соответственно).

Статистически значимых отличий медианных значений показателя «Обхват колена» в контрольной и основной группе женщин по окончании реабилитационно-восстановительного лечения зафиксировано не было.

По результатам проведенного сравнительного анализа было отмечено, что значения показателей «Пассивного сгибания» по окончании реабилитационно-восстановительного лечения составляли 150°[145;155] – для контрольной группы женщин, и 155°[153;160] – для основной. Такие данные говорят о более выраженной динамике прироста угла пассивного сгибания в основной группе женщин. При этом статистически значимых отличий в значениях показателей «Пассивного разгибания» у спортсменок из контрольной и основной группы женщин не наблюдалось.

Как видно из представленных данных, после проведенного курса реабилитационно-восстановительного лечения статистически значимых отличий в значениях показателей «Активного сгибания» и «Активного разгибания» в контрольной и основной группе женщин отмечено не было.

Значения показателя «Мышечная масса» в контрольной группе спортсменок находились в диапазоне 50,1[49,5;50,4]%, что на 0,1% меньше, чем в основной группе (50,2[49,7;50,9]%). По значениям показателя «Фазовый угол» достоверных отличий не обнаружено.

По значениям показателя «Индекс симметрии» были обнаружены достоверные отличия ($p < 0,01$). Так в контрольной группе значения находились в диапазоне 0,88[0,86;0,89] у.е., а в основной группе женщин в диапазоне 0,9[0,88;0,92] у.е., при этом значения показателя в обеих группах находились в пределах нормальных значений.

В таблицах 35-38 представлены данные, полученные при помощи РБК Кон-Трекс. Были выявлены достоверные отличия ($p < 0,05$) по значениям всех регистрируемых показателей при разгибании. Так, значения показателя КММ

после реабилитационно-восстановительного лечения в основной группе был выше на 3,2%, показатель УСМ на 6,5%, показатель УСКМ на 7,6%, что говорит о более значимом приросте профиля силы мышц разгибателей в основной группе после лечения.

Таблица 35 – Значения показателей профиля силы, $V=30^\circ/\text{сек}$ у спортсменок-женщин основной ($n=27$) и контрольной ($n=25$) группы после реабилитационно-восстановительного лечения ($M\pm SD$)

Показатель		Женщины	
		Контрольная группа ($n=25$)	Основная группа ($n=27$)
		$M\pm SD$	
Крутящий момент максимальный (КММ), Н·м	Сгибание	49,19±12,15	53,52±19,4
	Разгибание	85,59±24,04	88,44±21,64*
Удельная средняя мощность (УСМ), Вт/кг	Сгибание	0,24±0,08	0,26±0,07
	Разгибание	0,43±0,13	0,46±0,1*
Удельный средний крутящий момент (УСКМ), Н·м/кг	Сгибание	0,8±0,17	0,82±0,27
	Разгибание	1,34±0,37	1,45±0,29*

Примечание: * – отличие от значения того же показателя в основной и контрольной группе, U-критерий Манна-Уитни (* – $p<0,05$)

При анализе данных, полученных при скорости $60^\circ/\text{сек}$, после реабилитационно-восстановительного лечения достоверные отличия получены по значениям показателей КММ и УСКМ при разгибании (таблица 36). Так, в контрольной группе значения КММ находились в диапазоне $90,08\pm 26,1$ Н·м, а в основной группе женщин в диапазоне $94,73\pm 21,54$ Н·м (на 4,9% выше), значения показателей УСКМ составляли в контрольной группе $1,41\pm 0,35$ Н·м/кг, в основной $1,56\pm 0,32$ Н·м/кг (на 9,6% выше), что свидетельствует о лучшем состоянии межмышечной координации в основной группе.

Аналогичная тенденция сохраняется при анализе значений показателей внутримышечной координации в основной и контрольной группе после реабилитационно-восстановительного лечения. Значения показатели КММ при сгибании в основной группе на 11,8% выше, чем в контрольной. Значения показателей УСМ и УСКМ при разгибании в основной группе выше на 6,5% и

6,0% соответственно (таблица 37). Такие данные говорят о лучшей внутримышечной скоординированности работы мышц бедра в основной группе.

Таблица 36 – Значения показателей межмышечной координации, $V=60^\circ/\text{сек}$ у спортсменок-женщин основной ($n=27$) и контрольной ($n=25$) группы после реабилитационно-восстановительного лечения ($M\pm SD$)

Показатель		Женщины	
		Контрольная группа ($n=25$)	Основная группа ($n=27$)
		$M\pm SD$	
Крутящий момент максимальный (КММ), Н·м	Сгибание	59,14±13,75	65,23±16,94
	Разгибание	90,08±26,1	94,73±21,54*
Удельная средняя мощность (УСМ), Вт/кг	Сгибание	0,63±0,12	0,65±0,14
	Разгибание	0,96±0,22	0,88±0,23
Удельный средний крутящий момент (УСКМ), Н·м/кг	Сгибание	0,97±0,18	1,01±0,22
	Разгибание	1,41±0,35	1,56±0,32**

Примечание: * – отличие от значения того же показателя в основной и контрольной группе, U-критерий Манна-Уитни (* – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$)

Таблица 37 – Значения показателей внутримышечной координации, $V=120^\circ/\text{сек}$ у спортсменок-женщин основной ($n=27$) и контрольной ($n=25$) группы после реабилитационно-восстановительного лечения ($M\pm SD$)

Показатель		Женщины	
		Контрольная группа ($n=25$)	Основная группа ($n=27$)
		$M\pm SD$	
Крутящий момент максимальный (КММ), Н·м	Сгибание	47,99±15,15	54,41±16,37*
	Разгибание	80,86±23,89	82,15±21,33
Удельная средняя мощность (УСМ), Вт/кг	Сгибание	0,63±0,12	0,65±0,14
	Разгибание	1,43±0,33	1,53±0,35*
Удельный средний крутящий момент (УСКМ), Н·м/кг	Сгибание	0,97±0,18	1,01±0,22
	Разгибание	1,25±0,29	1,33±0,26*

Примечание: * – отличие от значения того же показателя в основной и контрольной группе, U-критерий Манна-Уитни (* – $p < 0,05$)

При анализе значений скоростной выносливости в основной и контрольной группах после реабилитационно-восстановительного лечения достоверные отличия обнаружены по значениям показателя УСМ при разгибании. В контрольной группе после лечения значения показателя составили $1,64\pm 0,37$ Вт/кг, а в основной $1,75\pm 0,38$ Вт/кг, что на 6,3% выше (таблица 38).

Таблица 38 – Значения показателей скоростной выносливости, $V=180^\circ/\text{сек}$ у спортсменок-женщин основной ($n=27$) и контрольной ($n=25$) группы после реабилитационно-восстановительного лечения ($M\pm SD$)

Показатель		Женщины	
		Контрольная группа ($n=25$)	Основная группа ($n=27$)
		$M\pm SD$	
Крутящий момент максимальный (КММ), Н·м	Сгибание	40,34±12,7	46,32±15,71
	Разгибание	70,09±19,33	70,63±21,56
Удельная средняя мощность (УСМ), Вт/кг	Сгибание	1,06±0,25	1,14±0,31
	Разгибание	1,64±0,37	1,75±0,38*
Удельный средний крутящий момент (УСКМ), Н·м/кг	Сгибание	0,65±0,14	0,71±0,18
	Разгибание	1,09±0,25	1,13±0,22

Примечание: * – отличие от значения того же показателя в основной и контрольной группе,

U-критерий Манна-Уитни (* – $p<0,05$)

Таким образом, проводя сравнительный анализ эффективности двух вариантов реабилитационно-восстановительного лечения спортсменов на третьем этапе реабилитации нами выявлено, что применение в программе реабилитации роботизированного биомеханического комплекса Кон-Трекс привело к более значимым позитивным изменениям в динамике состояния спортсменов. Это проявилось в более значимых положительных сдвигах показателей применяемых в исследовании диагностических методик в основной группе по сравнению с контрольной. Например, достоверно снизилась интенсивность болевого синдрома по показателю ВАШ до 0,5[0;3] баллов в контрольной группе и до 0[0;0,5] баллов в основной группе у мужчин, соответственно. В основной группе достоверно более выражен прирост угла пассивного разгибания ($-10^\circ[-10;-8]$) по сравнению с контрольной ($-10^\circ[-10;-5]$), а также активного сгибания в основной группе мужчин ($135^\circ[132;136]$) по сравнению с контрольной ($135^\circ[130;140]$). Значения показателя «Индекс симметрии» в контрольной группе составили 0,85[0,85;0,88] у.е., а в основной 0,9[0,87;0,93] у.е. В основной группе у мужчин наблюдались более выраженные положительные изменения в значениях показателей профиля силы, межмышечной и внутримышечной координации и скоростной выносливости. Аналогичная тенденция была характерна и у женщин-

спортсменок. По ряду показателей у женщин в основной группе динамика показателей превышала аналогичные данные, полученные у мужчин.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Развитие спорта на современном этапе характеризуется критическим ростом объема и интенсивности как тренировочных, так и соревновательных нагрузок, что предъявляет максимально высокие требования ко всем органам и системам в организме спортсмена (Разумов А.Н. с соавт., 2018; Самойлов А.С. с соавт., 2022; Разинкин С.М. с соавт., 2022; Бадтиева В.А. с соавт., 2023). Следует отметить, что на всех уровнях физической активности получение травмы является постоянной угрозой. Спортивная деятельность в зависимости от стажа и специфичности нагрузки приводит к изменениям анатомических структур и функции, особенно при травмах и повреждениях (Орджоникидзе З.Г. с соавт., 2008; Епифанов А.В. с соавт., 2010). Целью реабилитации лиц, активно занимающихся физической культурой и спортом, является возвращение к оптимальной спортивной форме и возможность скорейшего возобновления активных тренировок.

В литературных источниках приводятся сведения, что применение изокинетических динамометров с диагностической целью становится все более популярным в спорте, исследованиях и научных работах в различных областях (de Araujo Ribeiro Alvares J.B. et al., 2015; Cvjetkovic D. D. et al., 2015 и др.). Применение изокинетических динамометров (в том числе РБК Кон-Трекс) может быть названо «золотым стандартом» диагностики для проведения оценки мышечной силы, крутящего момента и скорости движения, как для клинических, так и для исследовательских целей (Корягина Ю.В. с соавт., 2018; Kim J.-H. et al., 2018 и др.).

Однако применение в реабилитационно-восстановительных программах спортсменов методик работы на РБК к настоящему моменту недостаточно изучено, несмотря на то, что РБК позволяют использовать широкий спектр тренировок направленных на поддержание и развития силы и выносливости, а также увеличение внутримышечной и межмышечной координации и оптимизацию движений спортсмена.

Ряд исследователей указывают, что роботизированный биомеханический диагностический и тренажерный комплекс с биологической обратной связью, позволяет объективно оценивать и проводить тренировки функционального состояния опорно-двигательного и нейромышечного аппарата спортсмена (пациента) на основе объема выполняемого движения, регистрируемого усилия и определения оптимальных скоростных характеристик движения (Лядов К.В. с соавт., 2008; Черкес П.П. с соавт., 2015; Wu J. et al., 2022 и др.).

Результаты обзора литературных источников свидетельствуют об актуальности изучения проблем реабилитации спортсменов после травм и операций на коленном суставе с применением роботизированных биомеханических комплексов. Предполагается, что применение данного метода позволит повысить эффективность реабилитационно-восстановительного лечения спортсменов на третьем этапе реабилитации, детально изучить динамику изменений силовых, скоростных и мощностных показателей ОДА нижней конечностей. Разработка адекватного реабилитационно-восстановительного комплекса, основываясь на атравматичном принципе, будет направлена на восстановление и улучшение стабильности миоэнтезического аппарата травмированной области, восстановления полного объема движения в коленном суставе, а также сенсомоторного контроля в управлении движениями.

В связи с вышеизложенным, целью исследования явилась разработка и научное обоснование методики реабилитации спортсменов после травм и операций на коленном суставе с применением роботизированных биомеханических комплексов.

Исследование проводилось в Центре спортивной медицины и реабилитации ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А. И. Бурназяна ФМБА России.

В исследовании на различных этапах приняли участие 527 спортсменов. Средний возраст спортсменов, проходивших реабилитацию с травмами колена, составил $23,2 \pm 4,45$ года у мужчин и $22,8 \pm 4,2$ года у женщин. Средняя продолжительность спортивной карьеры составила $11,3 \pm 6,8$ лет. Анализ показал, что частота встречаемости различных травм нижней конечности в структуре

общего травматизма спортсменов, обратившихся за медицинской помощью в ЦСМиР за период 2021-2023 гг. составила в 2021 году 74,6%, в 2022 году 68,7%, а в 2023 году 67%. При этом частота встречаемости нагрузочных травм и заболеваний коленного сустава составили не менее 63,2% от общего числа травм нижних конечностей.

В дальнейшем для проведения экспериментальной части исследования было отобрано 82 спортсмена после травм и операций на коленном суставе, чье состояние соответствовало третьему этапу реабилитации. Методом рандомизации были отобраны группы. В основную группу вошло 43 спортсмена (16 мужчин и 27 женщин), а в контрольную 39 спортсменов (14 мужчин и 25 женщин). Спортсмены обеих групп были сопоставимы по возрасту, спортивному мастерству и стажу занятий спортом.

На основании анализа литературных источников и собственного опыта проведения реабилитационно-восстановительного лечения спортсменов после травм и операций на коленном суставе в настоящем исследовании были подобраны диагностические и реабилитационные методики, которые позволили определить уровень возможной двигательной нагрузки на момент обращения, рекомендовать или исключить определенные виды физической нагрузки в реабилитационной программе, соответствующей третьему этапу реабилитации.

Диагностические методики включали в себя: осмотр спортивного врача (в том числе оценка интенсивности боли – визуальная аналоговая шкала), сбор анамнеза, физикальное обследование (тесты «Лахмана», «Переднего выдвижного ящика», «Заднего выдвижного ящика», «МакМюррея», «Apley», мануально-мышечное тестирование), антропометрия (объемы средней и нижней трети бедра, окружность коленного сустава), клинико-инструментальные (АПК «Медасс», силовая платформа «Кобс») и функциональные методы исследования (модуль MJ РБК «Кон-Трекс» по протоколу сгибание/разгибание в коленном суставе).

Из набора реабилитационных методик в исследовании были использованы физиотерапевтические методы (селективная электростимуляция лимфатической и

венозной систем (BODY DRAIN), магнитотерапия (MANTIS), электростатический массаж нижних конечностей (Хивамат); ЛФК с включением элементов стретчинга (растяжки); ОФП с применением свободных весов и спортивных снарядов (гантели, штанга и т.д.) и тренировки с применением РБК Кон-Трекс.

В исследовании были использованы математико-статистические методы (средние значения изучаемых показателей и их стандартное отклонение, медианные значения изучаемых показателей и значения верхнего и нижнего квартилей, непараметрический U-критерий Манна-Уитни для оценки статистических различий в двух независимых выборках, непараметрический T-критерий Вилкоксона для связанных выборок в целях анализа внутригрупповых различий). Выбор методов был обусловлен спецификой экспериментальной и контрольной выборок, объекта и предмета исследования, целью и поставленными задачами.

В целях оптимизации реабилитационно-восстановительных мероприятий на третьем этапе реабилитации в исследовании был разработан и использован алгоритм работы на роботизированном биомеханическом комплексе Кон-Трекс, представленный на рисунке 16 (глава 3.2.). В предлагаемой нами методике основной акцент делался на максимально раннем начале и активном участии спортсмена в реабилитационно-восстановительном лечении с применением РБК Кон-Трекс.

Особенность реабилитационно-восстановительных мероприятий в основной группе исследования заключалась в том, что в ней применялись тренировки на РБК Кон-Трексе по следующей схеме: начиная с 1 по 5 день время работы на РБК Кон-Трекс составляло менее 20 минут (на скорости 60°/сек – 18% от занятия, на скорости 120°/сек – 18%, на скорости 30°/сек – 9%, отдых между подходами – 55%); с 8 по 12 день время занятия увеличивалось примерно до 25 минут (на скорости 60°/сек – 12%, на скорости 120°/сек – 12%, на скорости 180°/сек – 18%, на скорости 30°/сек – 6%, отдых между подходами – 52%); с 15 по 19 день время работы возрастает до 30 минут (работа на скорости 60°/сек – 10%, на скорости

120°/сек – 10%, на скорости 180°/сек – 14%, на скорости 30°/сек – 14%, отдых между подходами – 52%).

Сравнительный межгрупповой анализ результатов лечения выявил статистически значимые различия по следующим показателям, например, значения показателя «Индекс симметрии» в контрольной группе были зафиксированы на уровне 0,85[0,85;0,88] у.е., а в основной группе достоверно ($p \leq 0,05$) отличались и находились в диапазоне 0,9[0,87;0,93] у.е., что на 5,5% больше, чем в контрольной группе. При анализе значений показателей профиля силы после реабилитационно-восстановительного лечения в основной и контрольной группе мужчин имели достоверные отличия ($p \leq 0,001$): при разгибании значения показателя КММ в контрольной группе фиксировались в диапазоне $109,91 \pm 21,93$ Н·м, а в основной составили $118,73 \pm 23,49$ Н·м, что на 7,4% выше, чем в контрольной группе; значения показателя УСМ при разгибании в контрольной группе ниже на 22,9%, чем в основной ($0,37 \pm 0,12$ Н·м и $0,48 \pm 0,13$ Н·м соответственно); значения показателей УСКМ при сгибании и разгибании в основной группе выше на 23,3%, чем в контрольной.

Анализ значений показателей характеризующих межмышечную координацию после реабилитационно-восстановительного лечения в основной и контрольной группе мужчин выявил достоверные отличия ($p \leq 0,01$), так при разгибании значения показателя УСМ в основной группе на 23,6% выше, чем в контрольной ($0,89 \pm 0,27$ Вт/кг и $0,68 \pm 0,22$ Вт/кг), значения показателя УСКМ при сгибании в основной группе находились в диапазоне $1,07 \pm 0,2$ Н·м/кг, что на 14,0% выше, чем в контрольной ($0,92 \pm 0,16$ Н·м/кг), значения показателей УСКМ при разгибании в основной группе фиксировались в диапазоне $1,45 \pm 0,47$ Н·м/кг, а в контрольной в диапазоне $1,07 \pm 0,37$ Н·м/кг (выше на 26,2%).

При анализе внутримышечной координации, наиболее значимые и достоверные изменения произошли со значениями показателей УСМ и УСКМ при разгибании ($p \leq 0,05$). В основной группе значения показателя УСМ после реабилитационно-восстановительного лечения находились в диапазоне $1,56 \pm 0,44$ Вт/кг, что на 23,7% выше, чем в контрольной группе, диапазон

значений в которой составил $1,19 \pm 0,43$ Вт/кг. Отмечается достоверный прирост значений (на 26,7%) и по показателям УСКМ при разгибании, в основной группе они фиксировались на уровне $1,35 \pm 0,39$ Н·м/кг, а в контрольной $0,99 \pm 0,37$ Н·м/кг.

Показатели скоростной выносливости также имели достоверные отличия ($p \leq 0,05$): значения показателей УСМ при сгибании в контрольной группе зафиксирован в диапазоне $1,16 \pm 0,23$ Вт/кг, а в основной на 12,1% выше в диапазоне $1,32 \pm 0,24$ Вт/кг. При разгибании значения показателя УСМ в контрольной группе составляли $1,21 \pm 0,26$ Н·м/кг, а в основной были на 37,0% выше и фиксировались на уровне $1,92 \pm 0,18$ Н·м/кг.

Аналогичная динамика показателей комплексного обследования отмечалась в группе спортсменов-женщин.

Таким образом, разработанная программа реабилитационно-восстановительного лечения спортсменов после травм и операций на коленном суставе с применением роботизированного биомеханического комплекса Кон-Трекс имеет ряд существенных преимуществ, которые позволили стабилизировать миоэнтезический аппарат коленного сустава, восстановить в полном объеме амплитуду движений, укрепить мышечный каркас, то есть улучшить основные индикаторы эффективности процесса физической реабилитации спортсменов и достичь уровня, позволяющего приступить к активным занятиям профессиональным спортом.

ВЫВОДЫ

1. Выявлено, что преобладающей патологией у спортсменов являются травмы и заболевания нижних конечностей (не ниже 67,0% пациентов в год). При этом встречаемость нагрузочных травм и заболеваний коленного сустава составили 63,2%, острых травм – 36,8%. Наиболее часто встречающимися были бурсит/синовит коленного сустава (27,3%), повреждение внутренней/наружной боковых связок (19,2%), повреждение медиального мениска (13,0%), повреждение передней крестообразной связки ПКС (10,9%).

2. Показано, что применение в программе комплексного реабилитационно-восстановительного лечения при травмах и операциях на коленном суставе у спортсменов роботизированных биомеханических комплексов, основано на теоретических постулатах изокинетики и атравматичном принципе работы РБК, учитывает функциональное состояние опорно-двигательного аппарата спортсмена, а также особенности третьего этапа реабилитации, что в совокупности приводит к выраженной положительной динамике.

3. Использование разработанного алгоритма применения роботизированных биомеханических комплексов позволяет провести объективную диагностику кинетических и кинематических показателей движения в коленном суставе, а также состояния миоэнтезического аппарата травмированной области. Применение данного алгоритма в программе реабилитации способствует восстановлению и улучшению стабильности травмированной области, восстановлению полного объема движения в коленном суставе, а также сенсомоторному контролю в управлении движениями. Так болевой синдром в основной группе полностью купирован к концу второй недели, а в контрольной сохраняется у 17,9% спортсменов к 21-му дню; относительная выраженность отека в основной группе сохранилась у 6,7%, а в контрольной у 15,3% спортсменов; баланс тела в положении стоя в основной группе

восстановился к 15-му дню, при этом в контрольной группе у 23,1% сохраняются проявления дисбаланса.

4. Доказано положительное влияние комплексной реабилитационно-восстановительной программы на показатели биомеханики движения в коленном суставе: у спортсменов основной группы (мужчины) значения показателей мощности по отношению к исходному уровню увеличились на 24,6%, значения показателей внутримышечной координации увеличиваются на 14,4%, а значения показателей скоростной выносливости увеличиваются 16,3% ($p < 0,01$). В контрольной группе достоверно увеличились показатели межмышечной координации на 4,7% ($p < 0,05$), динамика других показателей не носила достоверный характер. Сравнительный анализ данных основной и контрольной групп показал статистически достоверную эффективность применения роботизированной биомеханики ($p < 0,01$). После проведенного реабилитационно-восстановительного лечения значения показателей силы при сгибании и разгибании в основной группе выше на 23,3%, чем в контрольной; значения показателей межмышечной координации при разгибании в основной группе выше на 26,2%; значения показателей внутримышечной координации в основной группе на 23,7% выше; значения показателей скоростной выносливости в основной были на 37,0% выше. Аналогичные тенденции наблюдались в группе спортсменов-женщин.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Программа реабилитационно-восстановительных мероприятий для спортсменов после травм и операций на коленном суставе, включающая комплекс физиотерапевтических процедур, занятий ЛФК и тренировки на роботизированных биомеханических комплексах, может быть рекомендована к применению на третьем этапе реабилитации в рамках медико-биологического сопровождения спорта высоких достижений.

2. При проведении реабилитационно-восстановительных мероприятий тренировки на РБК Кон-Трекс рекомендуется проводить по следующей схеме: начиная с 1 по 5 день время работы на РБК Кон-Трекс составляло менее 20 минут (на скорости $60^{\circ}/\text{сек}$ – 18% от занятия, на скорости $120^{\circ}/\text{сек}$ – 18%, на скорости $30^{\circ}/\text{сек}$ – 9%, отдых между подходами – 55%); с 8 по 12 день время занятия увеличивалось примерно до 25 минут (на скорости $60^{\circ}/\text{сек}$ – 12%, на скорости $120^{\circ}/\text{сек}$ – 12%, на скорости $180^{\circ}/\text{сек}$ – 18%, на скорости $30^{\circ}/\text{сек}$ – 6%, отдых между подходами – 52%); с 15 по 19 день время работы возрастает до 30 минут (работа на скорости $60^{\circ}/\text{сек}$ – 10%, на скорости $120^{\circ}/\text{сек}$ – 10%, на скорости $180^{\circ}/\text{сек}$ – 14%, на скорости $30^{\circ}/\text{сек}$ – 14%, отдых между подходами – 52%).

3. Для отслеживания динамики изменений основных индикаторов эффективности процесса физической реабилитации у спортсмена рекомендуется в первый и последний дни реабилитационно-восстановительного лечения проводить оценку уровня силовых, скоростных и мощностных показателей нижней конечности с использованием протокола диагностики сгибание/разгибание в коленном суставе на роботизированном биомеханическом комплексе.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

АПК – Аппаратно программный комплекс

БИА – Биоимпедансный анализ

БКС – Боковая коллатеральная связка

ВАШ – Визуальная аналоговая шкала

Вт/кг – Ватт/килограмм

ЗКС – Задняя крестообразная связка

КММ – Крутящий момент максимальный

КМС – Кандидат в мастера спорта

ЛФК – Лечебная физическая культура

МРТ – Магнитно-резонансная томография

МКС – Медиальная коллатеральная связка

ММТ – Мануально-мышечное тестирование

НИР – Научно-исследовательская работа

Н·м – Ньютон на метр

Н·м/кг – Ньютон на метр на килограмм

ОФП – Общая физическая подготовка

ОДА – Опорно-двигательный аппарат

ПКС – Передняя крестообразная связка

РБК – Роботизированный биомеханический комплекс

УСМ – Удельная средняя мощность

УСКМ – Удельный средний крутящий момент

ЦСМиР – Центр спортивной медицины и реабилитации

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абуталимова, С. М. Применение роботизированного комплекса Con-trex MJ для диагностики и коррекции дисбаланса мышц голени у спортсменов легкоатлетов / С. М. Абуталимова, Е. В. Костюк, Ю. В. Корягина // Современные вопросы биомедицины. – 2018. – Т. 2, № 4 (5). – С. 63-68.
2. Анализ динамики и структуры заболеваемости спортсменов сборных команд Москвы по результатам углубленного медицинского обследования / В. А. Бадтиева, Е. А. Теняева, Н. В. Сичинава [и др.] // Спортивная медицина: наука и практика. – 2022. – Т. 12, № 2. – С. 22-31.
3. Анализ координационных способностей при восстановлении спортсменов после артроскопии коленного сустава на основе проведенных реабилитационных мероприятий / Н. И. Шевякова, С. М. Комлев, И. В. Катковский, А. В. Хан // Сборник материалов тезисов XIV Международной научной конференции по вопросам состояния и перспективам развития медицины в спорте высших достижений "спортмед-2019", Москва, 05-06 декабря 2019 года. – Москва: Российская ассоциация по спортивной медицине и реабилитации больных и инвалидов, 2019. – С. 170-171.
4. Анализ уровня и структуры травм коленного сустава в различных видах спорта / А. А. Пучко, А. С. Ясюкевич, Н. П. Гулевич, О. В. Маслов // Прикладная спортивная наука. – 2019. – № 1(9). – С. 65-75.
5. Ассоциативные детерминанты трофологического статуса у спортсменов с аэробной и анаэробной направленностью тренировочного процесса / А. И. Кузин, А. Ю. Хребтова, О. В. Камерер, Е. В. Быков // Человек. Спорт. Медицина. – 2020. – Т. 20, № 3. – С. 51-63.
6. Бахвалова, А. Е. Физическая реабилитация спортсменов игровых видов спорта после пластики передней крестообразной связки на послеоперационном периоде / А. Е. Бахвалова, Л. А. Добрынина // Студенческая наука: материалы Межрегиональной научной конференции,

- посвященной Году науки и технологий РФ, Москва, 11–12 марта 2021 года.
– Москва: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Российский государственный университет физической культуры, спорта, молодёжи и туризма (ГЦОЛИФК)", 2021. – С. 110-114.
7. Башкиров, В. Ф. Возникновение и лечение травм у спортсменов / В. Ф. Башкиров. – Москва: Физкультура и спорт, 1981. – 224 с.
 8. Башкиров, В. Ф. Комплексная реабилитация спортсменов после травм опорно-двигательного аппарата / В. Ф. Башкиров. – Москва: Физкультура и спорт, 1984. – 240 с.
 9. Бернштейн, Н. А. О построении движений / Н. А. Бернштейн. – Москва: Медгиз, 1947. – 255 с.
 10. Биомеханика и физиология движений: избранные психологические труды / Н. А. Бернштейн; Российская академия образования, Московский психолого-социальный ин-т; под ред. В. П. Зинченко. – 3-е изд., стер. – Москва: Московский психолого-социальный ин-т; Воронеж: МОДЭК, 2008. – 687 с.
 11. Бондаренко, Е. К. Повышение риска травматизма нижних конечностей в зависимости от кинематических характеристик движения во флорболе / Е. К. Бондаренко, А. Е. Бондаренко // Игровые виды спорта: актуальные вопросы теории и практики: сборник научных статей 2-ой Международной научно-практической конференции, посвящённой памяти ректора ВГИФК Владимира Ивановича Сысоева, Воронеж, 23-24 октября 2019 года. – Воронеж: ООО "Ритм", 2019. – С. 303-307.
 12. Влияние интенсивных физических нагрузок на сердечно-сосудистую систему и продолжительность жизни спортсменов / А. С. Самойлов, А. В. Жолинский, Н. В. Рылова [и др.] // Курортная медицина. – 2023. – № 3. – С. 66-74.
 13. Воронов, А. В. Скоростно-силовые свойства мышц человека при спортивных локомоциях: специальность 03.00.13: диссертация на соискание

- ученой степени доктора биологических наук / Воронов Андрей Владимирович. – Москва, 2004. – 438 с.
14. Восстановительное лечение после артроскопических вмешательств на коленном суставе при повреждениях капсульно-связочного аппарата / А. В. Епифанов, О. С. Цека, В. А. Епифанов, А. В. Королев. – Москва: Авторская Академия, 2011. – 151 с.
 15. Гершбург, М. И. Восстановление сенсомоторного контроля у спортсменов после артроскопической реконструкции передней крестообразной связки / М. И. Гершбург, С. Н. Попов // Национальные программы формирования здорового образа жизни: Международный научно-практический конгресс, Москва, 27-29 мая 2014 года / Российский государственный университет физической культуры, спорта, молодёжи и туризма (ГЦОЛИФК). Том 3. – Москва: Российский государственный университет физической культуры, спорта, молодежи и туризма, 2014. – С. 43-49.
 16. Гершбург, М. И. Проприоцептивная тренировка в реабилитации спортсменов после операций и травм нижней конечности / М. И. Гершбург, С. Н. Попов, М. Хайдари // Лечебная физкультура и спортивная медицина. – 2013. – № 7(115). – С. 13-19.
 17. Гончарова, Г.А. Медико-биологический контроль функциональной подготовленности юных спортсменов циклических видов спорта: методические рекомендации / Г. А. Гончарова, Н. Н. Балашова, А. Н. Корженевский. – Москва: ВНИИФК, 1984. – 10 с.
 18. Добрынина, Л. А. Физическая реабилитация спортсменов после пластики передней крестообразной связки в период восстановления / Л. А. Добрынина // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. – 2019. – № 2(168). – С. 115-117.
 19. Епифанов, В. А. Восстановительное лечение при повреждениях опорно-двигательного аппарата / В. А. Епифанов, А. В. Епифанов. – Москва: Авторская академия: Товарищество научных изданий КМК, 2009. – 479 с.

20. Епифанов, В. А. Реабилитация в травматологии / В. А. Епифанов, А. В. Епифанов. – Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2010. – 331 с.
21. Еремин, Д. Н. Физическая реабилитация футболистов с разрывом передней крестообразной связки / Д. Н. Еремин, Е. О. Архипенкова // StudNet. – 2020. – Т. 3, № 10. – С. 149.
22. Зациорский, В. М. Биомеханика двигательного аппарата человека / В. М. Зациорский, А. С. Аруин, В. Н. Селуянов. – М.: Физкультура и спорт, 1981. – 143 с.
23. 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.
24. 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. – Т. 62, № 4. – С. 56-62.
25. Кадышкин, Д. А. О влиянии физической подготовки на развитие профессионально важных качеств летного состава / Д. А. Кадышкин, А. А. Частихин // Вестник Тамбовского университета. Серия: Гуманитарные науки. – 2018. – Т. 23, № 173. – С. 86-94.
26. Каптелин, А. Ф. Гидрокинезотерапия в ортопедии и травматологии / А. Ф. Каптелин. – Москва: Медицина, 1986. – 222 с.
27. Карева, Н. А. Баланс-тренинг для развития проприоцепции у футболистов в восстановительном периоде после травм и операций на нижних конечностях / Н. А. Карева // Современные вопросы биомедицины. – 2021. – Т. 5, № 4(17). – Порядковый номер: 9.
28. Клинические рекомендации по реабилитации высококвалифицированных спортсменов после оперативного лечения травм и заболеваний нижних конечностей: клинические рекомендации // М. А. Попогребский,

- В. В. Карамзин, Д. М. Проскуряков [и др.]; под ред. В. В. Уйба. – Москва: ФМБА России, 2018. – 120 с.
29. Колышенков, В. А. Оценка эффективности метода медицинской реабилитации с использованием роботизированной механотерапии с системой у пациентов с повреждением передней крестообразной связки коленного сустава / В. А. Колышенков, А. Д. Фесюн, М. Ю. Яковлев // Russian Journal of Environmental and Rehabilitation Medicine. – 2023. – № 1. – С. 37-40.
 30. Корнякова, В. В. Функциональная готовность спортсменов циклических видов спорта / В. В. Корнякова, В. А. Бадтиева, В. Д. Конвай // Человек. Спорт. Медицина. – 2020. – Т. 20, № 1. – С. 128-134.
 31. Королев, А. В. Артроскопический артролиз в лечении артрофиброза коленного сустава / А. В. Королев, Н. В. Загородний // Травматология и ортопедия XXI века: Сборник тезисов докладов VIII съезда травматологов-ортопедов России, Самара, 06-08 июня 2006 года / Под редакцией Миронова С. П., Котельникова Г. П. – Том 1. – Самара: ООО Офорт, 2006. – С. 222.
 32. Коротких, Л. И. Физическая реабилитация спортсменов после операций на коленном суставе с применением артрологического комплекса "Biodex": специальность 13.00.04 "Теория и методика физического воспитания, спортивной тренировки, оздоровительной и адаптивной физической культуры": автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата педагогических наук / Коротких Людмила Ивановна. – Малаховка, 2007. – 26 с.
 33. Корюкин, Д. А. Причины возникновения травматизма в различных видах спорта / Д. А. Корюкин, О. Н. Косолапов // Проблемы и перспективы развития физической культуры и спорта в Зауралье: Сборник трудов Региональной научно-практической конференции, Курган, 22 ноября 2013 года. – Курган: Курганский государственный университет, 2013. – С. 12-16.

34. Котельников, Г. П. Нестабильность коленного сустава: монография / Г. П. Котельников, А. П. Чернов, С. Н. Измалков; М-во здравоохранения РФ. Сам. гос. мед. ун-т. – Самара: Самарский дом печати, 2001. – С. 21.
35. Коц, Я. М. Тренировка мышечной силы методом электростимуляции. Сообщение 1. Теоретические предпосылки / Я. М. Коц // Теория и практика физ. культуры. – 1971. – № 3. – С.64-67.
36. Лесгафт, П. Ф. Основы теоретической анатомии / П.Ф. Лесгафт. – 2-е изд., испр. Ч. 1-2. – Петроград: Гос. изд., 1909-1922. – VIII, 410 с. – Ч. 2.
37. Лечебная физическая культура в системе медицинской реабилитации: национальное руководство / Н. А. Амосова, Г. П. Арутюнов, Д. В. Базаров [и др.]. – Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2022. – 896 с.
38. Лядов, К. В. Комплексная реабилитация спортсменов после операций на коленном суставе / К. В. Лядов, В. И. Дубровский, А. В. Дубровская // Физиотерапия, бальнеология и реабилитация. – 2008. – № 6. – С. 27-28.
39. Мариани, П. П. Раннее возвращение к спортивной деятельности профессиональных футболистов после операции по реконструкции передней крестообразной связки / П. П. Мариани // Спортивная медицина: наука и практика. – 2016. – Т. 6, № 1. – С. 67-76.
40. Махов, А. С. Физиологически оправданная реабилитация спортсменов, перенесших пластику связок коленного сустава / А. С. Махов, И. Н. Медведев // Теория и практика физической культуры. – 2020. – № 6. – С. 106.
41. Медицинский скрининг в массовом спорте / А. С. Самойлов, М. С. Ключников, А. Б. Федин [и др.] // Лечебная физкультура и спортивная медицина. – 2019. – № 1(149). – С. 21-26.
42. Миронова, З. С. Повреждение менисков, боковых и крестообразных связок коленного сустава при занятиях спортом: пособие для врачей, работающих в области спортивной медицины / З. С. Миронова. – Москва: Медгиз, 1962. – 135 с.

43. Миронова, З. С. Спортивная травматология. / З. С. Миронова, Е. М. Морозова. – Москва: Физкультура и спорт, 1976. – 152 с.
44. Мирошкина, А. В. средства реабилитации спортсменов после повреждения передней крестообразной связки / А. В. Мирошкина, Е. Ю. Лалаева // Современные проблемы спорта, физического воспитания и адаптивной физической культуры: материалы VII международной научно-практической конференции посвящённой 85-летию Донецкого национального университета, Донецк, 24-25 марта 2022 года. Том 2. – Донецк: Донецкий национальный университет, 2022. – С. 45-49.
45. Мониторинг послеоперационного отека коленного сустава методом биоимпедансометрии / А. С. Самойлов, М. Н. Величко, Н. В. Рылова [и др.] // Ильинские чтения 2022: Сборник материалов школы-конференции молодых учёных и специалистов, Москва, 06-07 октября 2022 года. – Москва: ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, 2022. – С. 176-178.
46. Мониторинг послеоперационного отека коленного сустава методом биоимпедансометрии / А. С. Самойлов, М. Н. Величко, Н. В. Рылова [и др.] // Ильинские чтения 2022: Сборник материалов школы-конференции молодых учёных и специалистов, Москва, 06–07 октября 2022 года. – Москва: ФГБУ ГНЦ ФМБЦ А.И. Бурназяна ФМБА России, 2022. – С. 176-178.
47. Мультидисциплинарный подход в реабилитации спортсменов высших достижений / А. С. Самойлов, С. М. Разинкин, А. В. Хан [и др.] // Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. – 2016. – Т. 93, № 2-2. – С. 147.
48. Недостаточность проприоцептивного контроля после пластики ПКС как причина повторных травм коленного сустава у профессиональных спортсменов / П. П. Чекерес, М. В. Будашкина, В. В. Муханов, А. А. Карпашевич // Клиническая практика. – 2015. – № 3-4 (23). – С. 95-98.

49. Ницше, Н. Эффект тренировок с открытой и закрытой кинематическими цепями после пластики передней крестообразной связки / Н. Ницше, Н. Шульц // Лечебная физкультура и спортивная медицина. – 2013. – № 8 (116). – С. 34-42.
50. Опыт комплексного подхода в реабилитации спортсмена с замедленной консолидацией перелома большеберцовой кости (клинический случай) / Н. Б. Корчажкина, М. С. Петрова, Е. А. Зайцева, С. Е. Назарян // Физиотерапевт. – 2015. – № 4. – С. 25-27.
51. Опыт применения механотерапии с биологической обратной связью в восстановительном лечении спортсменов сборных команд РФ на базе центра физической реабилитации ФСНКЦ ФМБА России / А. О. Павлов, С. В. Прокопенко, Е. В. Портнягин [и др.] // Современные технологии и оборудование для медицинской реабилитации, санаторно-курортного лечения и спортивной медицины: Материалы IV Международного конгресса VITA RENAV WEEK, посвященного 50-летию УралГУФК, Екатеринбург, 13-14 октября 2020 года. – Екатеринбург: Уральский государственный университет физической культуры, 2020. – С. 132-136.
52. Опыт сочетания реабилитационных мероприятий с предсоревновательным периодом тренировочного процесса на примере легкой атлетики / В. В. Петрова, А. В. Хан, С. Е. Назарян, А. В. Смирнова // Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. – 2016. – Т. 93, № 2-2. – С. 122-123.
53. Орджоникидзе, З. Г. Проприоцептивная тренировка в системе реабилитации футболистов с патологией опорно-двигательного аппарата / З. Г. Орджоникидзе, М. И. Гершбург, Г. А. Кузнецова. // Физическая культура в профилактике, лечении и реабилитации. – 2006. – № 1. – С. 56-60.
54. Особенности изменений состава тела студентов в зависимости от влияния на него аэробных упражнений различной интенсивности / Н. В. Казанцева,

- О. И. Кузьмина, В. Ю. Лебединский [и др.] // Теория и практика физической культуры. – 2020. – № 6. – С. 60-62.
55. Костюк, Е. В. Особенности функционального состояния ахиллова сухожилия и мышц голени с помощью комплекса CON-TREX MJ у спортсменов с признаками ахиллотендопатии / Е. В. Костюк, Ю. В. Корягина // Современные вопросы биомедицины. – 2018. – Т. 2, № 1(2). – С. 8.
 56. Оценка физического состояния спортсменов после пластики передней крестообразной связки с целью предупреждения повторных травм / В. Ю. Преображенский, О. В. Зиновьев, Е. В. Сидоренко [и др.] // Доктор.Ру. – 2011. – № 8 (67). – С. 38-41.
 57. Оценка эффективности физической реабилитации после повреждений передней крестообразной связки коленного сустава в раннем послеоперационном периоде / Л. В. Бортникова, А. Д. Лифанов, А. Г. Хайруллин [и др.] // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. – 2021. – № 12(202). – С. 37-40.
 58. Павлов, С. Е. Основы медико-биологического обеспечения подготовки квалифицированных спортсменов: Научное издание / С. Е. Павлов, А. Н. Разумов, Т. Н. Павлова; Российский государственный университет физической культуры, спорта, молодёжи и туризма. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью "ОнтоПринт", 2018. – 340 с.
 59. Педагогическая технология развития координационных способностей у бойцов рукопашного боя и оценка ее эффективности / В. Б. Парамзин, В. З. Яцык, А. Э. Болотин, А. В. Новиков // Физическая культура, спорт – наука и практика. – 2018. – № 2. – С. 24-33.
 60. Перминов, В.А. Эффективность использования малоинвазивных методов в диагностике и восстановительном лечении травм коленного сустава у спортсменов в горнолыжных видах спорта: специальность 14.00.51: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата

- медицинских наук / Перминов Владимир Аркадьевич. – Москва, 2002. – 20 с.
61. Повреждение связок коленного сустава – 2021-2022-2023: клинические рекомендации: Утверждены Минздравом РФ 03.11.2021 г.
 62. Полиевский, С. А. Стимуляция двигательной активности: монография / С. А. Полиевский. – Москва: Физическая культура, 2006. – 255 с.
 63. Попов, С. Н. Проприоцептивные и плиометрические упражнения в реабилитации спортсменов после реконструкции передней крестообразной связки / С. Н. Попов, М. Хайдари, М. И. Гершбург // Доктор.Ру. – 2013. – № 10 (88). – С. 31-36.
 64. Применение изокинетических динамометров в реабилитации и восстановлении высококвалифицированных спортсменов после травм и операций коленного сустава / В. В. Петрова, А. В. Хан, С. Е. Назарян [и др.] // Кремлевская медицина. Клинический вестник. – 2023. – № 4. – С. 69-72.
 65. Применение комбинированной инъекционной терапии хондропротекторами для коррекции пателлофemorального болевого синдрома у спортсменов после реконструкции / В. В. Арьков, А. А. Дмитриев, П. Ю. Ершов [и др.] // Лечащий врач. – 2019. – №. 5. – С. 78.
 66. Проприоцептивная тренировка в процессе физической реабилитации футболистов после артроскопической аутопластики передней крестообразной связки / Н. М. Валеев, М. И. Гершбург, Н. Л. Иванова, Х. Мохаммед // Лечебная физкультура и спортивная медицина. – 2012. – № 5 (101). – С. 26-32.
 67. Разумов, А. Н. Здоровье здорового человека: Основы восстановительной медицины / А. Н. Разумов, В. Пономаренко, В. А. Пискунов; под ред. В. С. Шинкаренко. – Москва: Медицина, 1996. – 413 с.
 68. Разумов, А. Н. Оздоровительная физкультура в восстановительной медицине / А. Н. Разумов, О. В. Ромашкин. – 2-е изд. – Москва: МДВ, 2007. – 264 с.

69. Рахматова, М. Р. Анализ состава тела спортсменов юниоров и кадетов легкоатлетов и велогонщиков / М. Р. Рахматова // *European Journal of Biomedical and Life Sciences*. – 2022. – № 2-3. – С. 64-67.
70. Реабилитация в спорте высших достижений / С. М. Разинкин, А. С. Самойлов, В. В. Петрова [и др.]. – Москва: ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А. И. Бурназяна ФМБА России, 2022. – 356 с.
71. Реабилитация при повреждении капсульно-связочного аппарата коленного сустава (консервативное лечение): федеральные клинические рекомендации // С. П. Миронов, М. Б. Цыкунов, Т.В. Булова. – Москва: Минздрав России, 2015. – 39 с.
72. Самойлов, А. С. Оптимизация системы медико-биологического обеспечения спортсменов сборных команд России зимних видов спорта (на примере подготовки и проведения XXII зимних Олимпийских игр в г. Сочи): специальность 14.03.11 "Восстановительная медицина, спортивная медицина, лечебная физкультура, курортология и физиотерапия": диссертация на соискание ученой степени доктора медицинских наук / Самойлов Александр Сергеевич. – Москва, 2016. – 257 с.
73. Синдром перетренированности: современные подходы к диагностике (обзор литературы) / С. А. Парастаев, Е. А. Анисимов, А. В. Жолинский [и др.] // *Лечебная физкультура и спортивная медицина*. – 2020. – № 1(155). – С. 4-13.
74. Система реабилитации спортсменов после реконструкции передней крестообразной связки коленного сустава / Ю. В. Осипов, А. В. Волотовская, Н. П. Гулевич [и др.] // *Прикладная спортивная наука*. – 2022. – № 2(16). – С. 93-98.
75. Скворцов, Д. В. Клинический анализ движений. Стабилометрия / Д. В. Скворцов. – Москва: МБН, 2000. – 189 с.
76. Соколов, В. В. Использование восстановительных средств и методов в современной системе подготовки спортсменов / В. В. Соколов, О. В. Четайкина // *Наука и прогресс: время перемен: Сборник научных трудов*. – Казань: ООО "СитИвент", 2021. – С. 113-118.

77. Спортивная медицина / Э. И. Аухадеев, В. А. Бадтиева, Р. А. Бодрова [и др.]. – 3-е издание, переработанное и дополненное. – Москва : Общество с ограниченной ответственностью Издательская группа "ГЭОТАР-Медиа", 2023. – 664 с.
78. Спортивная медицина: национальное руководство / гл. ред. С. П. Миронов, Б. А. Поляев, Г. А. Макарова; Российская ассоц. по спортивной медицине и реабилитации больных и инвалидов. – Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2013. – 1182 с.
79. Теория и методики физического воспитания: Учеб. для ТЗЗ студентов фак. физ. культуры пед. ин-тов по спец. 03.03 «Физ. культура» / Б. А. Ашмарин, Ю. А. Виноградов, З. Н. Вяткина [и др.]; Под ред. Б. А. Ашмарина. – Москва: Просвещение, 1990. – 287 с.
80. 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 // Физическая культура и спорт. Олимпийское образование: Материалы международной научно-практической конференции, Краснодар, 06-07 октября 2022 года. – Краснодар: Кубанский государственный университет физической культуры, спорта и туризма, 2022. – С. 274-279.
81. Третьяков, В. А. Восстановление амплитудно-силовых характеристик нижней конечности боксеров после разрыва передней крестообразной связки на этапе спортивной реабилитации / В. А. Третьяков, Н. В. Лунина // Российский журнал спортивной науки: медицина, физиология, тренировка. – 2022. – Т. 1, № 2(2). – Порядковый номер: 5.
82. Турсунов, Н. Б. Распространенность спортивных травм среди спортсменов-дзюдоистов / Н. Б. Турсунов, В. Р. Оздаева // Молодой ученый. – 2017. – № 5(139). – С. 546-551.
83. Федорова, Т. Н. Программа физической реабилитации после оперативной пластики передней крестообразной связки у спортсменов / Т. Н. Федорова,

- Т. М. Пинаева // Адаптивная физическая культура. – 2014. – № 2(58). – С. 47-50.
84. Федулова, Д. В. Влияние развития проприоцепции на функциональное восстановление коленного сустава после сочетанной травмы передней крестообразной связки и мениска / Д. В. Федулова // Современные методы организации тренировочного процесса, оценки функционального состояния и восстановления спортсменов: Материалы Всероссийской научно-практической конференции, Челябинск, 24-25 октября 2017 года. Том 1. – Челябинск: Уральский государственный университет физической культуры, 2017. – С. 310-314.
85. Федулова, Д. В. Физическая реабилитация спортсменов после травмы передней крестообразной связки и мениска коленного сустава с применением баланс-тренинга / Д. В. Федулова, К. А. Бердюгин. – Екатеринбург: Б. и., 2022. – 124 с.
86. Формирование устойчивости положения для стрельбы в служебном двоеборье / И. Ю. Пугачев, В. Б. Парамзин, С. В. Разновская, О. Е. Понимасов // Теория и практика физической культуры. – 2022. – № 6. – С. 49-51.
87. Хорошилова, А. А. Лечебная физическая культура для спортсменов-тхэквондистов с разрывом передних крестообразных связок / А. А. Хорошилова, С. А. Ткаченко // Студенческая наука: Материалы Межрегиональной научной конференции, Москва, 25-27 марта 2020 года. – Москва: ГЦОЛИФК, 2020. – С. 290-295.
88. Хусейн, М. М. Восстановление спортивной работоспособности футболистов на завершающем этапе реабилитации / М. М. Хусейн, Н. М. Валеев // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. – 2016. – № 5(135). – С. 236-241.
89. Цыкунов, М. Б. Изометрическая тренировка четырехглавой мышцы при повреждениях капсульно-связочных структур коленного сустава /

- М. Б. Цыкунов, И. С. Косов // Вестник травматологии и ортопедии им. Н. Н. Приорова. – 1997. – № 4. – С. 45-50.
90. Цыкунов, М. Б. Клиническая и инструментальная оценка состояния активных стабилизаторов при повреждениях капсульно-связочного аппарата коленного сустава / М. Б. Цыкунов, А. К. Орлецкий, И. С. Косов // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. – 1997. – № 1. – С. 27-32.
91. Цыкунов, М. Б. Принципы реабилитации при травмах конечностей / М. Б. Цыкунов // ЛФК и массаж. – 2002. – № 2. – С. 46-51.
92. Цыкунов, М. Б. Программа реабилитации при повреждениях хрящевых и капсульно-связочных структур коленного сустава. Методические рекомендации / М. Б. Цыкунов // Вестник восстановительной медицины. – 2014. – № 3 (61). – С. 110-114.
93. Чекирда, И. Ф. Координационная структура произвольных движений человека различной сложности в условиях полета по параболе Кеплера / И. Ф. Чекирда // Космическая биология и медицина. – 1968. – Т. 1, №. 6. – С. 55-62.
94. Швыгина, Н. В. Физическая реабилитация футболистов с разрывами крестообразных связок в позднем послеоперационном периоде / Н. В. Швыгина // Лечебная физическая культура и спортивная медицина: традиции и инновации: Материалы IX Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной Году науки и технологий в РФ, Москва, 20 мая 2021 года / Отв. редакторы А. Б. Мирошников, Ю. А. Ермолаева. – Москва: ГЦОЛИФК, 2021. – С. 177-184.
95. Шиндина, И. В. Обоснование эффективности методики применения упражнений на развитие двигательного-координационных способностей юных теннисистов / И. В. Шиндина, А. Ю. Потеев // Актуальные вопросы спортивной подготовки в XXI веке: Материалы Всероссийской научно-практической интернет-конференции, Саранск, 01-13 апреля 2019 года. –

Саранск: Мордовский государственный педагогический институт имени М. Е. Евсевьева, 2020. – Порядковый номер: 18.

96. Шпехт, М. В. Алгоритм медицинской реабилитации пациентов после пластики передней крестообразной связки / М. В. Шпехт, Л. А. Пирогова // Журнал Гродненского государственного медицинского университета. – 2021. – Т. 19, № 6. – С. 629-635.
97. A robotic exoskeleton for treatment of crouch gait in children with cerebral palsy: design and initial application // *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng.* – 2017. – V. 25, № 6. – P. 650-659.
98. A simple exoskeleton that assists plantarflexion can reduce the metabolic cost of human walking / P. Malcolm, W. Derave, S. Galle, D. De Clercq // *PLoS One.* – 2013. – V. 8, № 2. – Article: e56137.
99. ACL reconstruction in the professional or elite athlete: state of the art / R. A. Buerba, S. Zaffagnini, R. Kuroda, V. Musahl // *J ISAKOS.* – 2021. – V. 6, № 4. – P. 226-236.
100. ACL Reconstruction Rehabilitation: Clinical Data, Biologic Healing, and Criterion-Based Milestones to Inform a Return-to-Sport Guideline / A. W. Brinlee, S. B. Dickenson, A. Hunter-Giordano, L. Snyder-Mackler // *Sports Health.* – 2022. – V. 14, № 5. – P. 770-779.
101. Adolescent Athletes Demonstrate Inferior Objective Profiles at the Time of Return to Sport After ACLR Compared With Healthy Controls / J. D. Robinson Jr, J. Hannon, S. Goto [et al.] // *Orthop J Sports Med.* – 2022. – V. 10, № 1. – Article: 23259671211063576.
102. Alexander, N. Lower limb joint forces during walking on the level and slopes at different inclinations / N. Alexander, H. Schwameder // *Gait & Posture.* – 2016. – V. 45. – P. 137-142.
103. An adaptive knee joint exoskeleton based on biological geometries / D.-h. Wang, J. Guo, K.-M. Lee [et al.] // *IEEE International Conference on Robotics and Automation, Shanghai, 9-13 May 2011.* – Shanghai, 2011. – P. 1386-1391.

104. Analytical approach within cephalometric studies assessment in people with various somatotypes / S. V. Dmitrienko, D. A. Domenyuk, S. V. Melekhov [et al.] // Archiv EuroMedica. – 2019. – Vol. 9, № 3. – P. 103-111.
105. Andrews, J. R. Physical rehabilitation of the injured athlete / J. R. Andrews, G. L. Harrelson, K. E. Wilk. – 3rd ed. – USA: Saunders, 2004. – 708 p.
106. Anterior cruciate ligament injury alters preinjury lower extremity biomechanics in the injured and uninjured leg: the JUMP-ACL study / B. M. Goerger, S. W. Marshall, A. I. Beutler [et al.] // Br J Sports Med. – 2015. – V. 49, № 3. – P. 188-195.
107. Anterior Cruciate Ligament Rehabilitation for the 10- to 18-Year-Old Adolescent Athlete: Practice Guidelines Based on International Delphi Consensus / N. van Melick, M. Dietvorst, M. I. A. M. van Oort [et al.] // Orthop J Sports Med. – 2023. – V. 11, № 7. – Article: 23259671231172454.
108. Aspetar clinical practice guideline on rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction / R. Kotsifaki, V. Korakakis, E. King [et al.] // Br J Sports Med. – 2023. – V. 57, № 9. – P. 500-514.
109. Baker, R. Gait analysis methods in rehabilitation / R. Baker // J Neuroeng Rehabil. – 2006. – V. 3. – Article: 4.
110. Best Practices and Current Care Concepts in Prehospital Care of the Spine-Injured Athlete in American Tackle Football March 2-3, 2019; Atlanta, GA / R. Courson, J. Ellis, S. A. Herring [et al.] // J Athl Train. – 2020. – V. 55, № 6. – P. 545-562.
111. Best, M. J. Anterior Cruciate Ligament Injuries in the Older Athlete / M. J. Best, B. A. Zikria, J. H. Wilckens // Sports Health. – 2021. – V. 13, № 3. – P. 285-289.
112. Biomechanics of knee joint – a review / B. K. Madeti, S. R. Chalamalasetti, S. K. S. siva rao Bolla Pragada // Frontiers of Mechanical Engineering. – 2015. – V. 10, № 2. – P. 176-186.
113. Biomechanics of knee ligaments: injury, healing, and repair / S. L.-Y. Woo, S. D. Abramowitch, R. Kilger, R. Liang // Journal of Biomechanics. – 2006. – V. 39, № 1. – P. 1-20.

114. Blankevoort, L. Helical axes of passive knee joint motions / L. Blankevoort, R. Huiskes, A. de Lange // J Biomech. – 1990. – V. 23, № 12. – P. 1219-1229.
115. Brophy, R. H. American Academy of Orthopaedic Surgeons Clinical Practice Guideline Case Study: Management of Anterior Cruciate Ligament Injuries / R. H. Brophy, R. M. Silverman, K. J. Lowry // J Am Acad Orthop Surg. – 2023. – V. 31, № 11. – P. 538-548.
116. Celebi, B. AssistOn-Knee: A Self-Aligning Knee Exoskeleton / B. Celebi, M. Yalcin, V. Patoglu // IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), Tokyo, 3-7 November 2013. – Tokyo, 2013. – P. 996-1002.
117. Chau, M. M. Osteochondritis Dissecans of the Knee in Young Athletes / M. M. Chau, M. A. Tompkins // Clin Sports Med. – 2022. – V. 41, № 4. – P. 579-594.
118. Chhabra, A. Normal anatomy and biomechanics of the knee / A. Chhabra, C. C. Elliott, M. D. Miller // Sports Medicine and Arthroscopy Review. – 2001. – V. 9, № 3. – P. 166-177.
119. Chinese Experts Consensus and Practice Guideline on Discoid Lateral Meniscus / S. Yang, S. Zhang, R. Li [et al.] // Orthop Surg. – 2023. – V. 15, № 4. – P. 915-929.
120. Clinical Guidelines for Return to Play After Injury. – AOSSM, 2016.
121. Clinical Guidelines for the Diagnosis and Treatment of Fragility Fractures of the Pelvis / J. Zhang, L. Zhang, C. Li [et al.] // Orthop Surg. – 2023. – V. 15, № 9. – P. 2195-2212.
122. Comparison of functional outcome measures after ACL reconstruction in competitive soccer players: a randomized trial / F. Mohammadi, M. B. Salavati, B. Akhbari [et al.] // J Bone Joint Surg Am. – 2013. – V. 95, № 14. – P. 1271-1277.
123. Deficits in neuromuscular control of the trunk predict knee injury risk: a prospective biomechanical-epidemiologic study / B. T. Zazulak, T. E. Hewett, N. P. Reeves [et al.] // Am J Sports Med. – 2007. – V. 35, № 7. – P. 1123-1130.

124. Design and evaluation of a quasi-passive knee exoskeleton for investigation of motor adaptation in lower extremity joints / K. Shamaei, M. Cenciarini, A. A. Adams [et al.] // IEEE Transactions on Biomedical Engineering. – 2014. – V. 61, № 6. – P. 1809-1821.
125. Design of a biologically inspired lower limb exoskeleton for human gait rehabilitation / M. Lyu, W. Chen, X. Ding [et al.] // Rev Sci Instrum. – 2016. – V. 87, № 10. – Article: 104301.
126. Design of a knee Exoskeleton using foot pressure and knee torque sensors / J.-H. Kim, M. Shim, D. H. Ahn [et al.] // International Journal of Advanced Robotic Systems. – 2015. – V. 12, № 8. – Article: 112.
127. Domenyuk, D. Major telerenthengogram indicators in people with various growth types of facial area / D. Domenyuk, M. Porfyriadis, S. Dmitrienko // Archiv EuroMedica. – 2018. – Vol. 8, № 1. – P. 19-24.
128. Effects of biodex balance training on symptomatic knee osteoarthritis in Rawalpindi: A randomized control trial / S. Javed, H. Riaz, A. Saeed, R. Begum // J Pak Med Assoc. – 2021. – V. 71, № 2(A). – P. 402-405.
129. Effects of neuromuscular training on knee proprioception in individuals with anterior cruciate ligament injury: a systematic review and GRADE evidence synthesis / A. Arumugam, M. Björklund, S. Mikko, C. K. Häger // BMJ Open. – 2021. – V. 11, № 5. – Article: e049226.
130. Efficacy of Patellar Taping and Electromyographic Biofeedback Training at Various Knee Angles on Quadriceps Strength and Functional Performance in Young Adult Male Athletes with Patellofemoral Pain Syndrome: A Randomized Controlled Trial / S. Hasan, A. Alonazi, S. Anwer [et al.] // Pain Res Manag. – 2022. – Article: 8717932.
131. Factors affecting knee abduction during weight-bearing activities in individuals with anterior cruciate ligament reconstruction / A. Cronström, E. Ageberg, M. M. Franettovich Smith [et al.] // Phys Ther Sport. – 2019. – V. 38. – P. 8-15.

132. Fear of re-injury in people who have returned to sport following anterior cruciate ligament reconstruction surgery / C. L. Ardern, N. F. Taylor, J. A. Feller, K. E. Webster // J Sci Med Sport. – 2012. – V. 15, № 6. – P. 488-495.
133. Ferber, R. Gender differences in lower extremity mechanics during running / R. Ferber, I. McClay Davis, D. S. Williams 3rd // Clin Biomech (Bristol, Avon). 2003. – V. 18, № 4. - P. 350-357.
134. Filbay, S. R. Evidence-based recommendations for the management of anterior cruciate ligament (ACL) rupture / S. R. Filbay, H. Grindem // Best Pract Res Clin Rheumatol. – 2019. – V. 33, № 1. – P. 33-47.
135. Flandry, F. Normal anatomy and biomechanics of the knee / F. Flandry, G. Hommel // Sports Med Arthrosc Rev. – 2011. – V. 19, № 2. – P. 82-92.
136. Functional and Patient-Reported Outcomes Improve Over the Course of Rehabilitation: A Secondary Analysis of the ACL-SPORTS Trial / A. J. H. Arundale, J. J. Capin, R. Zarzycki [et al.] // Sports Health. – 2018. – V. 10, № 5. – P. 441-452.
137. Gao, B. Alterations in three-dimensional joint kinematics of anterior cruciate ligament-deficient and -reconstructed knees during walking / B. Gao, N. N. Zheng // Clin Biomech (Bristol, Avon). – 2010. – V. 25, № 3. – P. 222-229.
138. Geurts, A. C. Intrasubject variability of selected force-platform parameters in the quantification of postural control / A. C. Geurts, B. Nienhuis, T. W. Mulder // Arch Phys Med Rehabil. – 1993. – V. 74, № 11. – P. 1144-1150.
139. Global recommendations on physical activity for health. – Switzerland: WHO, 2010. – 58 p.
140. Guskiewicz, K. M. Research and clinical applications of assessing balance / K. M. Guskiewicz, D. H. Perrin // J. Sport Rehabil. – 1996. – № 5. – P. 45-63.
141. 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 // J Biomech. – 2013. – V. 46, № 4. – P. 780-787.

142. Henriksson, M. Postural control after anterior cruciate ligament reconstruction and functional rehabilitation / M. Henriksson, T. Ledin, L. Good // *Am J Sports Med.* – 2001. – V. 29, № 3. – P. 359-366.
143. Herman, I. R. *Physics of Human Body* / I. R. Herman. – 2nd ed. – New York: Springer, 2016. – XXIV, 977 p.
144. Hohmann, E. Strength does not influence knee function in the ACL-deficient knee but is a correlate of knee function in the and ACL-reconstructed knee / E. Hohmann, A. Bryant, K. Tetsworth // *Arch Orthop Trauma Surg.* – 2016. – V. 136, № 4. – P. 477-483.
145. *Human Musculoskeletal Biomechanics* / C. T. Wang, D. M. Wang, X. L. Bai [et al.]. – Beijing, China: Science Press, 2015.
146. Inter-machine reliability of the Biodex and Cybex isokinetic dynamometers for knee flexor/extensor isometric, concentric and eccentric tests / J. B. de Araujo Ribeiro Alvares, R. Rodrigues, R. de Azevedo Franke [et al.] // *Phys Ther Sport.* – 2015. – V. 16, № 1. – P. 59-65.
147. *International Consensus on Rehabilitation Methods*, The International Olympic Committee, 2015.
148. Interpretation of 2020 American Academy of Orthopaedic Surgeons (AAOS) on the Management of Glenohumeral Joint Osteoarthritis Evidence-Based Clinical Practice Guideline / T. You, W. Zhang, W. Li [et al.] // *Zhongguo Xiu Fu Chong Jian Wai Ke Za Zhi.* – 2021. – V. 35, № 8. – P. 935-940.
149. Isokinetic Testing in Evaluation Rehabilitation Outcome After ACL Reconstruction / D. D. Cvjetkovic, S. Bijeljic, S. Palija [et al.] // *Med Arch.* – 2015. – V. 69, № 1. – P. 21-23.
150. Italian consensus statement (2020) on return to play after lower limb muscle injury in football (soccer) / G. N. Bisciotti, P. Volpi, G. Alberti [et al.] // *BMJ Open Sport Exerc Med.* – 2019. – V. 5, № 1. – Article: e000505.
151. José, L. P. *Wearable Robots: Biomechatronic Exoskeleton* / L. P. José. – New York: Wiley, 2008. – 358 p.

152. Kakouris, N. A systematic review of running-related musculoskeletal injuries in runners / N. Kakouris, N. Yener, D. T. P. Fong // *J Sport Health Sci.* – 2021. – V. 10, № 5. – P. 513-522.
153. Kawamura, S. Biomechanics and healing response of the meniscus / *Operative Techniques in Sports Medicine.* – 2003. – V. 11, № 2. – P. 68-76.
154. Kinematics of anterior cruciate ligament-deficient knees in a Chinese population during stair ascent / C. Zhao, C. Lin, W. Wang [et al.] // *Journal of Orthopaedic Surgery and Research.* – 2016. – V. 11, № 1. – Article: 89.
155. Knee and hip joint biomechanics are gender-specific in runners with high running mileage / D. Gehring, G. Mornieux, J. Fleischmann, A. Gollhofer // *Int J Sports Med.* – 2014. – V. 35, № 2. – P. 153-158.
156. Laser-evoked potentials: normative values / A. Truini, F. Galeotti, A. Romaniello [et al.] // *Clin. Neurophysiol.* – 2005. – V. 116, № 4. – P. 821-826.
157. Lee, K.-M. Design analysis of a passive weight-support lower-extremity-exoskeleton with compliant knee-joint / K.-M. Lee, D. Wang // *Proceedings – IEEE International Conference on Robotics and Automation, Seattle, WA, 26-30 may 2015.* – Seattle, WA, 2015. – P. 5572-5577.
158. Longitudinal changes in knee kinematics and moments following knee arthroplasty: a systematic review / L. Sosdian, F. Dobson, T. V. Wrigley [et al.] // *The Knee.* – 2014. – V. 21, № 6. – P. 994-1008.
159. Louie, D. R. Powered robotic exoskeletons in post-stroke rehabilitation of gait: a scoping review / D. R. Louie, J. J. Eng // *J Neuroeng Rehabil.* – 2016. – V. 13, № 1. – Article: 53.
160. Magyar, M. O. The influence of medial meniscus injury and meniscectomy on the variability of gait parameters / M. O. Magyar, Z. Knoll, R. M. Kiss // *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* – 2012. – V. 20, № 2. – P. 290-297.
161. Masouros, S. D. Biomechanics of the knee joint / S. D. Masouros, A. M. J. Bull, A. A. Amis // *Orthopaedics and Traumatology.* – 2010. – V. 24, № 2. – P. 84-91.

162. Meniscus Injuries Alter the Kinematics of Knees With Anterior Cruciate Ligament Deficiency / A. Hosseini, J.-S. Li, T. J. Gill 4th, G. Li // *Orthop J Sports Med.* – 2014. – V. 2, № 8. – Article: 2325967114547346.
163. Modulation of the relationship between external knee adduction moments and medial joint contact forces across subjects and activities / A. Trepczynski, I. Kutzner, G. Bergmann [et al.] // *Arthritis & Rheumatology.* – 2014. – V. 66, № 5. – P. 1218-1227.
164. Mooney, L. M. Biomechanical walking mechanisms underlying the metabolic reduction caused by an autonomous exoskeleton / L. M. Mooney, H. M. Herr // *Journal of Neuro Engineering and Rehabilitation.* – 2016. – V. 13. – Article: 4.
165. Non-contact ACL injuries in female athletes: an International Olympic Committee current concepts statement / P. Renstrom, A. Ljungqvist, E. Arendt [et al.] // *Br J Sports Med.* – 2008. – V. 42, № 6. – P. 394-412.
166. Passive knee exoskeleton using torsion spring for cycling assistance in 2017 IEEE / R. Chaichaowarat, D. F. P. Granados, J. Kinugawa, K. Kosuge // *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), Vancouver, 24-28 September 2017.* – Vancouver, 2017. – P. 3069-3074.
167. Patient predictors of early revision surgery after anterior cruciate ligament reconstruction: a cohort study of 16,930 patients with 2-year follow-up / D. Andernord, N. Desai, H. Björnsson [et al.] // *Am J Sports Med.* – 2015. – V. 43, № 1. – P. 121-127.
168. Piazza, S. J. Muscle-driven forward dynamic simulations for the study of normal and pathological gait / S. J. Piazza // *J. Neuroengineering Rehabil.* – 2006. – V. 3. – Article: 5.
169. Postacchini, F. Lumbar disc herniation: a new equilibrium is needed between nonoperative and operative treatment / F. Postacchini // *Spine (Phila Pa 1976).* – 2001. – V. 26, № 6. – P. 601.
170. Powered lower-limb exoskeletons to restore gait for individuals with paraplegia: a review / S. R. Chang, R. Kobetic, M. L. Audu [et al.] // *Case Orthop. J.* – 2015. – V. 12, № 1. – P. 75-80.

171. Progressive Changes in Walking Kinematics and Kinetics After Anterior Cruciate Ligament Injury and Reconstruction: A Review and Meta-Analysis / L. V. Slater, J. M. Hart, A. R. Kelly, C. M. Kuenze // *Journal of Athletic Training*. – 2017. – V. 52, № 9. – P. 847-860.
172. Ramsey, D. K. Unloader braces for medial compartment knee osteoarthritis: implications on mediating progression / D. K. Ramsey, M. E. Russell // *Sports Health*. – 2009. – V. 1, № 5. – P. 416-426.
173. Reeves, N. D. Conservative biomechanical strategies for knee osteoarthritis / N. D. Reeves, F. L. Bowling // *N Nat Rev Rheumatol*. – 2011. – V. 7, № 2. – P. 113-122.
174. Rehabilitation before regenerative cartilage knee surgery: a new prehabilitation guideline based on the best available evidence / A. Hirschmüller, W. Schoch, H. Baur [et al.] // *Arch Orthop Trauma Surg*. – 2019. – V. 139, № 2. – P. 217-230.
175. Rehabilitation Principles to Consider for Anterior Cruciate Ligament Repair / J. Wu, J. L. Kator, M. Zarro, N. L. Leong // *Sports Health*. – 2022. – V. 14, № 3. – P. 424-432.
176. 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 [et al.] // *Physical Therapy*. – 2017. – V. 97, № 5. – P. 571-580.
177. Return to official Italian First Division soccer games within 90 days after anterior cruciate ligament reconstruction: a case report / G. S. Roi, D. Creta, G. Nanni [et al.] // *J Orthop Sports Phys Ther*. – 2005. – V. 35, № 2. – P. 52-61.
178. Riemann, B. L. Examination of a Clinical method of Assessing Postural Control during a Functional Performance Task / B. L. Riemann, N. A. Caggiano, S. M. Lephart // *J. Sport Rehabil*. – 1999. – V. 8, № 3. – P. 171-183.
179. Scheer, V. Musculoskeletal injuries in ultra-endurance running: a scoping review / V. Scheer, B. J. Krabak // *Frontiers in Physiology*. – 2021. – V. 12. – Article: 664071.

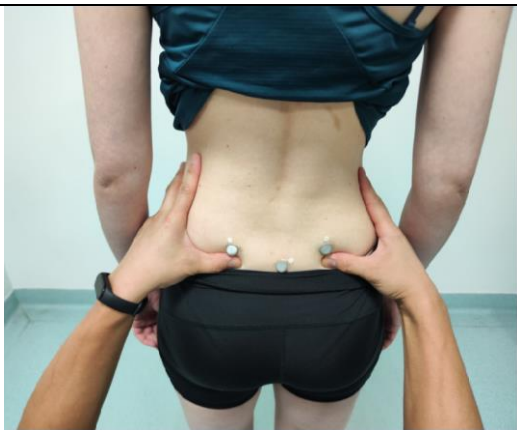

180. Senter, C. Biomechanical analysis of tibial torque and knee flexion angle: implications for understanding knee injury / C. Senter, S. L. Hame // *Sports Medicine*. – 2006. – V. 36, № 8. – P. 635-641.
181. Sinclair, J. Mechanical effects of medial and lateral wedged orthoses during running / J. Sinclair // *Physical Therapy in Sport*. – 2018. – V. 32. – P. 48-53.
182. Smidt, G. L. Biomechanical analysis of knee flexion and extension / G. L. Smidt // *Journal of Biomechanics*. – 1973. – V. 6, № 1. – P. 79-92.
183. Tang, R. G. The basic biomechanical concepts of knee / R. G. Tang, K. R. Zang // *International Journal of Orthopaedics*. – 1981. – V. 4. – P. 205-210.
184. The axes of rotation of the knee / A. M. Hollister, S. Jatana, A. K. Singh [et al.] // *Clin Orthop Relat Res*. – 1993. – № 290. – P. 259-268.
185. The effect of vision on knee biomechanics during functional activities – A systematic review / Q. Louw, N. Gillion, S.-M. van Niekerk [et al.] // *J Sci Med Sport*. – 2015. – V. 18, № 4. – P. 469-474.
186. The Effects of Tai Chi Chuan Versus Core Stability Training on Lower-Limb Neuromuscular Function in Aging Individuals with Non-Specific Chronic Lower Back Pain / L. Zou, Y. Zhang, Y. Liu [et al.] // *Medicina (Kaunas)*. – 2019. – V. 55, № 3. – Article: 60.
187. The transepicondylar axis approximates the optimal flexion axis of the knee / D. L. Churchill, S. J. Incavo, C. C. Johnson, B. D. Beynnon // *Clin Orthop Relat Res*. – 1998. – № 356. – P. 111-118.
188. Therapeutic Exercise and Conservative Injection Treatment for Early Knee Osteoarthritis in Athletes: A Scoping Review / L. Tognolo, M. C. Maccarone, S. De Trane [et al.] // *Medicina (Kaunas)*. – 2022. – V/ 58, № 1. – Article: 69.
189. Thomas, A. C. Knee Frontal-Plane Biomechanics in Adults With or Without Bone Marrow Edema-Like Lesions After Anterior Cruciate Ligament Injury / A. C. Thomas, R. M. Palmieri-Smith // *Journal of Athletic Training*. – 2017. – V. 52, № 6. – P. 581-586.

190. Tibio-femoral loading during human gait and stair climbing / W. R. Taylor, M. O. Heller, G. Bergmann, G. N. Duda // Journal of Orthopaedic Research. – 2004. – V. 22, № 3. – P. 625-632.
191. Unidirectional variable stiffness hydraulic actuator for load-carrying knee exoskeleton / J. Zhu, Y. Wang, J. Jiang [et al.] // International Journal of Advanced Robotic Systems. – 2017. – V. 14, № 1. – Article: 172988141668695.
192. Valgus bracing in patients with medial compartment osteoarthritis of the knee. A gait analysis study of a new brace / R. D. A. Gaasbeek, B. E. Groen, B. Hampsink [et al.] // Gait Posture. – 2007. – V. 26, № 1. – P. 3-10.
193. Wang, D. A Passive Gait-Based Weight-Support Lower Extremity Exoskeleton With Compliant Joints / D. Wang, K.-M. Lee, J. Ji // IEEE Transactions on Robotics. – 2016. – V. 32, № 4. – P. 933-942.
194. Zheng, C. Study on Low Energy Consumption Driven Joint of Lower Exoskeleton Based on Energy Flow Characteristics of Human Body / C. Zheng. – Harbin: Harbin Institute of Technology, 2016.
195. Zhou, T. Analysis of the biomechanical characteristics of the knee joint with a meniscus injury / T. Zhou // Healthcare Technology Letters. – 2018. – V. 5, № 6. – P. 247-249.

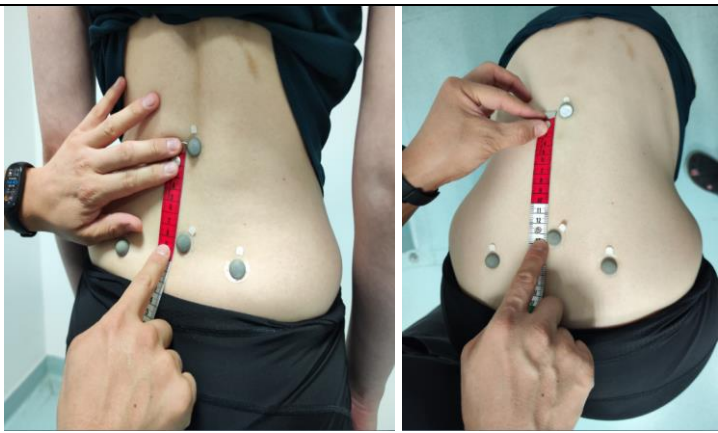
ПРИЛОЖЕНИЕ 1.


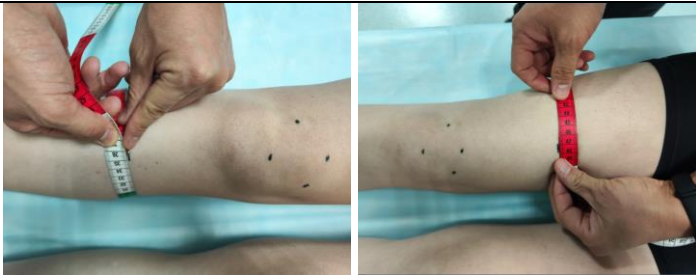


Диагностические тесты, использованные в осмотре спортивного врача

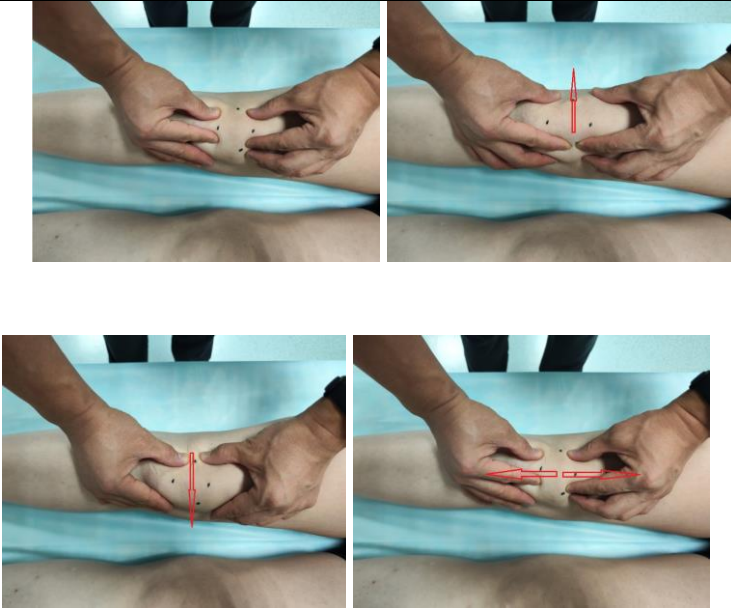
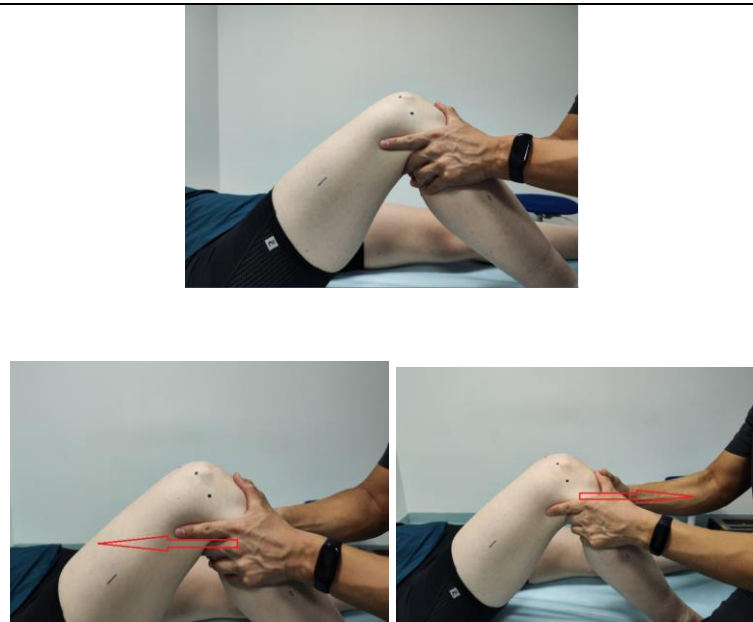
1	<p>Общий осмотр в положении стоя: визуальное изучение постральных линий и плоскостей.</p>	
2	<p>Оценка положения таза: подушечки больших пальцев располагаются под крестцово-подвздошными суставами (КПС) с 2-х сторон. 2,3 пальцы рук располагаются на гребнях подвздошных костей с 2-х сторон. Оценивается уровень и симметрия расположения пальцев.</p>	

		
3	<p>Флексионный тест из положения стоя.</p> <p>И.П. как при оценке положения таза. Пациент совершает наклон вперед, максимально сохраняя прямые нижние конечности. Врач сопровождает наклон пациента вперед, удерживая руки на тазу (большие пальцы под КПС, 2-3 пальцы рук на гребнях подвздошных костей).</p> <p>Оценка результата: смещение одной из рук вверх говорит о наличии функциональной патологии нижней конечности с этой стороны и о восходящем типе дисфункции.</p>	



4	<p>Тест определения подвижности крестцово-подвздошного сочленения (КПС).</p> <p>И.П. стоя, врач располагает большой палец правой руки на остистом отростке позвонка S2, левая рука располагается, как при оценке положения таза (подушечка большого пальца под КПС, 2,3 пальцы располагаются на гребне подвздошной кости).</p> <p>Пациент совершает сгибание левой нижней конечности в коленном и тазобедренном суставах до 90 градусов.</p> <p>Оценка результата: если большой палец левой руки опускается при сгибании и возвращается в исходное положение при разгибании нижней конечности, то КПС слева мобильный, в противном случае заблокирован. Аналогично тестируется правый КПС.</p>	
---	--	--

5	<p>Флексионный тест из положения сидя.</p> <p>И.П. сидя на табурете, ноги разведены шире плеч. Руки врача, как при оценке положения таза.</p> <p>Пациент совершает наклон вперед с руками между ног. Врач сопровождает наклон пациента вперед, удерживая руки на тазу (большие пальцы под КПС, 2-3 пальцы рук на гребнях подвздошных костей).</p> <p>Оценка результата: смещение одной из рук вверх говорит о наличии функциональной патологии со стороны позвоночника и о нисходящем типе дисфункции.</p>	
6	<p>Оценка растяжимости поясничного отдела позвоночника.</p> <p>И.П. стоя, проводится измерение расстояния между остистыми отростками L1-L5, далее пациент наклоняется вперед, проводится повторный замер расстояния между остистыми отростками L1-L5.</p> <p>Оценка результата: при</p>	

	увеличении расстояния на 4 см и более – растяжим, в интервале 2-4 см – плохорастяжим, менее 2 см – нерастяжим.	
7	<p>Тест разновеликости ног:</p> <ul style="list-style-type: none"> • По пяткам • По лодыжкам 	
8	<p>Измерение объемов нижней конечности с 2-х сторон:</p> <ul style="list-style-type: none"> • На уровне в/3 голени • На уровне коленного сустава • На уровне н/3 бедра • На уровне с/3 бедра 	
9	<p>Измерение амплитуды движения в коленном суставе в активном режиме с помощью гониометра:</p> <ul style="list-style-type: none"> • В разгибании • В сгибании 	
10	<p>Измерение амплитуды движения в коленном суставе в сгибании в пассивном режиме:</p> <ul style="list-style-type: none"> • На спине • На животе 	

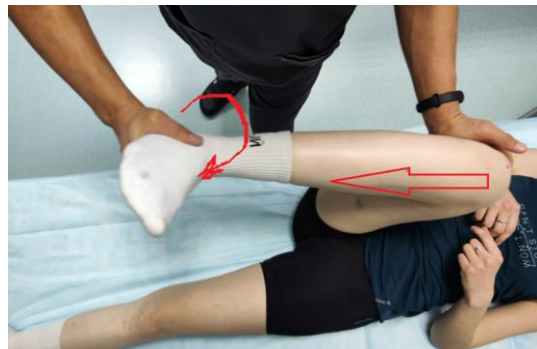
11	<p>Тест подвижности надколенника:</p> <p>И.П. пациент на спине, нижняя конечность в расслабленном состоянии. Врач располагает руки на надколеннике таким образом, что 1 и 2 пальцы одной руки располагаются выше суставной щели, 1, 2 пальцы другой руки ниже.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Медиальная – смещаем внутрь • Латеральная – смещаем кнаружи • Краниальная – смещаем вверх • Каудальная – смещаем вниз 	
12	<p>Тесты определения повреждения крестообразных связок:</p> <p>И.П. пациент лежит на спине, нога согнута под углом 90 градусов в коленном суставе, врач фиксирует стопу на столе, руками обхватывает голень с 2-х сторон максимально близко к коленному суставу.</p> <ul style="list-style-type: none"> • ЗВЯ (задний выдвижной ящик) – смещение голени 	

	<p>внутри относительно бедра</p> <ul style="list-style-type: none"> ПВЯ (передний выдвижной ящик) – смещение голени кнаружи относительно бедра 	
13	<p>Тест повреждения передней крестообразной связки (ПКС) – тест Лахмана.</p> <p>И.П. пациент лежит на спине, нога согнута под углом 20-30 градусов. Врач стоит со стороны тестируемой нижней конечности, одну руку располагает на н/3 бедра, другую на в/3 голени.</p> <ul style="list-style-type: none"> Проведение теста – врач совершает тракцию голени вверх относительно фиксированного бедра 	
14	<p>Тесты определения повреждения коллатеральных связок коленного сустава:</p> <p>И.П. пациент лежит на спине, ноги прямые, врач стоит со стороны тестируемой нижней конечности.</p> <ul style="list-style-type: none"> Вальгусный стресс- 	

	<p>тест на повреждение медиальной коллатеральной связки – одна рука располагается в области внутренней лодыжки, вторая рука с наружной стороны бедра. Врач отводит наружу голень.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Варусный стресс-тест на повреждение латеральной коллатеральной связки – одна рука располагается с области наружной лодыжки, вторая рука с внутренней стороны бедра. Врач приводит голень внутрь. 	
15	<p>Тесты определения повреждения менисков</p> <ul style="list-style-type: none"> • Тест Мак Мюррея (McMurray Test) <p>И.П. пациент лежит на спине, нога согнута под 90 градусов в коленном и тазобедренном суставах. Врач стоит с тестируемой стороны, одной рукой придерживает за стопу, второй пальпирует с</p>	

медиальной или латеральной стороны большеберцово-малоберцового сустава.

- тестирование медиального мениска - врач пальпирует заднемедиальную поверхность колена, одновременно разгибает колено и вращает большеберцовую кость наружу.
- тестирование латерального мениска - врач пальпирует заднелатеральную поверхность сустава, одновременно разгибает колено и вращает большеберцовую кость внутрь.
- Тест Эпли (Apley's Test) – компрессионно-дистракционный тест.
- Компрессионный тест: И.П. пациент лежит на животе, коленный сустав согнут под углом 90 градусов, врач стоит с тестируемой стороны, одна рука фиксирует пятку, другая стопу.
- тестирование медиального



мениска – врач создает давление через пятку, вторая рука совершает наружное вращение голени через стопу.

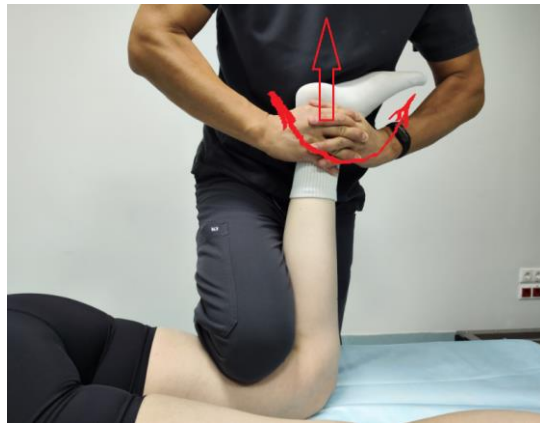
- тестирование

латерального мениска – врач создает давление через пятку, вторая рука совершает внутреннее вращение голени через стопу.

- Дистракционный тест:

И.П. пациент лежит на животе, нога согнута под 90 градусов в коленном суставе. Врач фиксирует бедро пациента, руками обхватывает лодыжки с двух сторон.



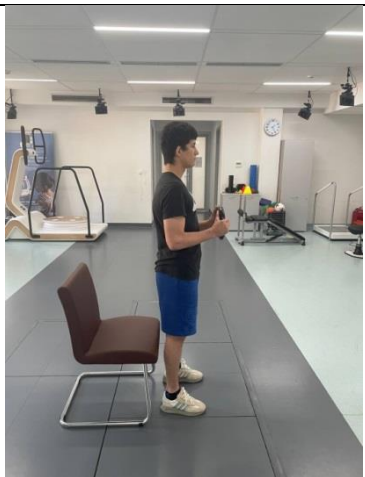



- Тестирование производится путем вытягивания голени вверх с одновременным поворотом ее кнутри и кнаружи. Возникновение болевого синдрома говорит о повреждении связочного аппарата и капсулы



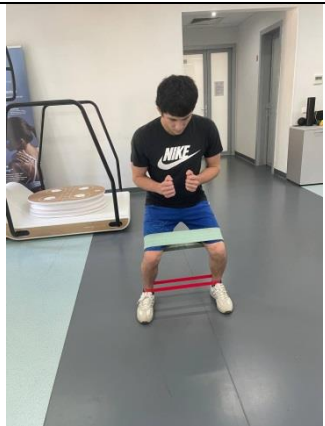



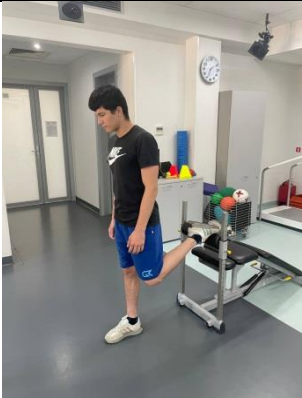





ПРИЛОЖЕНИЕ 2.


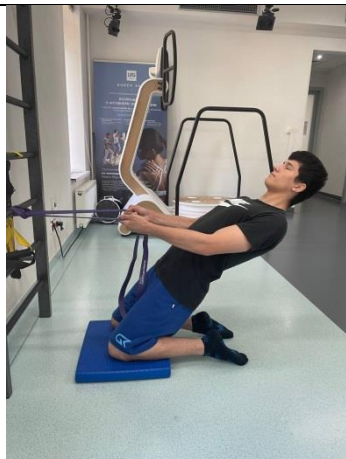


Комплекс упражнений на 3 этапе реабилитации







Ягодичный мост на одной ноге	
Исходное положение – лежа на спине, колено согнуто, опора на стопу; вторая нога прямая, стопа в положении тыльного сгибания.	Выполняется подъем таза вверх на выдохе.
	
Подъем прямой ноги из положения сидя	
Исходное положение-сидя спиной в упоре, ноги выпрямлены.	Выполняется перенос прямой ноги через фишки определенной высоты в медленном и среднем темпе (отягощение через грузики или резиновые петли)
	
Приседы у стены с опорой на мяч	
Исходное положение – стоя у стены, спина в упоре на фитбол, ноги впереди под углом 45-60 градусов от вертикали.	Выполняется присед до 90 градусов с задержкой 5-20 секунд, дополнительное отягощение через резиновые петли.
	
Упражнение «Стульчик»	






<p>Исходное положение – стоя у стены на одной ноге, колено согнуто под углом 90 градусов, спиной в упоре на фитбол.</p>	<p>Выполняется отведение свободной ноги в сторону.</p>
	
<p>Приседы с весом на одной ноге</p>	
<p>Исходное положение – стоя на двух ногах, в руках вес от 5кг.</p>	<p>Выполняется присед в медленном темпе на одной ноге до угла 90 град на стул, после касания стула – подъем в медленном темпе.</p>
	
<p>Приседы со штангой</p>	
<p>Исходное положение – стоя на двух ногах, ноги на ширине плеч, стопы незначительно ротированы кнаружи.</p>	<p>Выполняется присед больше 90 град.</p>
	
<p>Спуск с высокой ступеньки</p>	
<p>Исходное положение – стоя на одной ноге</p>	<p>Выполняется медленный спуск вниз за счет</p>











на степе или высокой планке.	сгибания колена. При касании второй ноги пола – подъем вверх за счет мышц бедра опорной ноги.
	
Упражнение «Крабик»	
Исходное положение – полуприсед, резиновые ленты натянуты в области нижней трети бедер и в области щиколоток, ноги шире плеч, резиновые ленты в постоянном натяжении, коленные суставы разведены в стороны.	Выполняется шаги в сторону с сохранением натяжения резиновых лент.
	



«Болгарские выпады»	
Исходное положение – стоя на одной ноге, вторая нога сзади зафиксирована голеностопом на скамейке.	Выполняется присед на опорной ноге до угла 90 градусов.
	
Динамические выпады	
Исходное положение-стоя.	Выполняется шаг вперед с максимально низким выпадом и продвижением по залу.
	
Прямые нордические наклоны	
Исходное положение – стоя на коленных суставах, стопы зафиксированы на шведской стенке. Для страховки используется резиновая лента.	Выполняется наклон туловища и ног вперед за счет разгибания в коленных суставах, затем обратное движение в исходное положение.
	

Обратные нордические наклоны	
Исходное положение – стоя на коленных суставах, корпус выпрямлен. Для страховки используется резиновая лента.	Выполняется медленное отклонение корпуса назад. После достижения крайней точки амплитуды – медленное возвращение в исходное положение.
	
Передача гимнастического мяча на баланс-подушке	
Исходное положение – стоя на одной ноге на баланс-подушке, вторая нога согнута в коленном и тазобедренном суставах до 90 град; руки в положении над головой, в одной руке гимнастический мяч.	Выполняется круговое движение руками во фронтальной плоскости, передача мяча из одной руки в другую под согнутым коленом и возвращение в исходное положение.
	

Приседы на баланс платформе	
Исходное положение – стоя на двух ногах на баланс платформе/полусфере.	Выполняется медленный присед до 90 градусов, с удержанием равновесия в крайней точке сгибания.
	
Баланс на дорожке со штангой	
Исходное положение-стоя одной ногой на баланс дорожке.	Выполняется отведение свободной ноги в сторону.
	
Упражнение «Часы»	
Исходное положение – стоя на одной ноге на баланс платформе.	Выполняется сгибание опорной ноги и отведение свободной ноги по «циферблату» на каждый «час».
	

Стретчинг	
Исходное положение – лежа на спине, одну ногу поднять вверх.	Выполняется сгибание прямой ноги в максимальную амплитуду движения.
	
Исходное положение – сидя на полу, ноги выпрямить.	Выполняется наклон корпуса к ногам.
	
Исходное положение – сидя на полу, одна нога выпрямлена, колено другой ноги согнуто и отведено наружу.	Выполняется наклон корпуса к прямой ноге.
	
Исходное положение – сидя на полу, одна нога выпрямлена, колено другой ноги согнуто и отведено наружу.	Выполняется наклон корпуса к прямой ноге, противоположной рукой тянуться к наружной стороне стопы, разворачивая корпус.
	

<p>Исходное положение – сидя на полу, одна нога выпрямлена, колено другой ноги согнуто, стопа за спиной.</p>	<p>Выполняется наклон корпуса к прямой ноге с разворотом корпуса.</p>
	
<p>Исходное положение – сидя на полу, ноги разведены в стороны.</p>	<p>Выполняется наклон корпуса к каждой ноге.</p>
	
<p>Исходное положение – сидя на полу, ноги разведены в стороны.</p>	<p>Выполняется наклон корпуса к прямой ноге с разворотом корпуса.</p>
	
<p>Исходное положение – опора на колено и стопу другой ноги.</p>	<p>Выполняется движение таза и бедра вперед и вниз.</p>
	
<p>Исходное положение – опора на колено и пятку другой ноги.</p>	<p>Выполняется сгибание корпуса вперед к бедру прямой ноги.</p>
	
<p>Исходное положение – опора на кисти и</p>	<p>Выполняется разведение коленей в</p>

колени.	стороны.
	

Внедрение результатов диссертационного исследования

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО
о государственной регистрации базы данных
№ 2024624134

**База данных результатов восстановления после травмы
коленного сустава с применением роботизированных
биомеханических комплексов**

Правообладатель: **Хан Алексей Викторович (RU)**

Авторы: **Хан Алексей Викторович (RU), Петров Александр
Александрович (RU), Сапов Денис Александрович (RU),
Петрова Виктория Викторовна (RU), Назарян Светлана
Евгениевна (RU)**

Заявка № **2024623733**
Дата поступления **29 августа 2024 г.**
Дата государственной регистрации
в Реестре баз данных **17 сентября 2024 г.**

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности


Ю. С. Зубов



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации базы данных

№ 2024624011

Протокол восстановления после травмы коленного сустава с применением роботизированных биомеханических комплексовПравообладатель: *Хан Алексей Викторович (RU)*Авторы: *Хан Алексей Викторович (RU), Петрова Виктория Викторовна (RU), Назарян Светлана Евгениевна (RU), Петров Александр Александрович (RU), Самойлов Александр Сергеевич (RU)*

Заявка № 2024623736

Дата поступления 29 августа 2024 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре баз данных 09 сентября 2024 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов

**Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Федеральный научно-клинический центр специализированных видов
медицинской помощи и медицинских технологий
Федерального медико-биологического агентства»
ФГБУ ФНКЦ ФМБА России**

АКТ

**Внедрения в клиническую деятельность Центра реабилитации ФГБУ ФНКЦ
ФМБА России результатов диссертационного исследования Хан Алексея
Викторовича**

Настоящим подтверждается, что результаты диссертационного исследования Хан Алексея Викторовича «Реабилитация спортсменов после травм и операций на коленном суставе с применением роботизированных биомеханических комплексов», представленного на соискание ученой степени кандидата медицинских наук, внедрены в клиническую деятельность Центра реабилитации ФГБУ ФНКЦ ФМБА России.

Разработанный алгоритм работы на роботизированном биомеханическом комплексе при реабилитационно-восстановительном лечении применяется в Центре реабилитации ФГБУ ФНКЦ ФМБА России у спортсменов и людей после оперативного лечения коленного сустава.


Ответственный за внедрение:

Руководитель Центра реабилитации,
Зав. отделением травматологии и ортопедии 2

В.В. Муханов

Генеральный директор
ФГБУ ФНКЦ ФМБА России
Д.м.н., профессор




А.В. Троицкий

18.06.2024



ЦЕНТР СПОРТИВНОЙ МЕДИЦИНЫ ФМБА РОССИИ

ФГБУ «Федеральный научно-клинический центр спортивной медицины и реабилитации Федерального медико-биологического агентства»

АКТ

внедрения результатов диссертационной работы Хан Алексея Викторовича в практическую деятельность ФГБУ ФНКЦСМ ФМБА России

Настоящим актом подтверждается, что результаты диссертационного исследования Хан Алексея Викторовича «Реабилитация спортсменов после травм и операций на коленном суставе с применением роботизированных биомеханических комплексов», представленного на соискание ученой степени кандидата медицинских наук, внедрены в клиническую деятельность Отделения реабилитационно-восстановительного лечения ФГБУ «Федеральный научно-клинический центр спортивной медицины и реабилитации Федерального медико-биологического агентства».

Полученные в ходе исследования Хан А.В. данные, предложенный алгоритм работы на роботизированном биомеханическом комплексе «Кон-Трекс» у спортсменов после травм и операций на коленном суставе, используются с целью повышения эффективности комплексного реабилитационно-восстановительного процесса.

Ответственный за внедрение:
Заведующий отделением
реабилитационно-восстановительного
лечения

М.А. Попогребский

Заместитель директора по
лечебной работе, к.м.н.

Е.Г. Кошевой

14.02.2024



**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ «ФЕДЕРАЛЬНЫЙ СИБИРСКИЙ НАУЧНО-
КЛИНИЧЕСКИЙ ЦЕНТР ФЕДЕРАЛЬНОГО МЕДИКО-
БИОЛОГИЧЕСКОГО АГЕНТСТВА»
ФГБУ ФСНКЦ ФМБА РОССИИ**

АКТ

Внедрения в клиническую деятельность отделения физической реабилитации
ФГБУ ФСНКЦ ФМБА России результатов диссертационного исследования
Хан Алексея Викторовича

Настоящим подтверждается, что результаты диссертационного исследования Хан Алексея Викторовича «Реабилитация спортсменов после травм и операций на коленном суставе с применением роботизированных биомеханических комплексов», представленного на соискание ученой степени кандидата медицинских наук, применяются в практической деятельности отделения физической реабилитации ФГБУ ФСНКЦ ФМБА России при реабилитационно-восстановительном лечении спортсменов профессионалов и любителей.

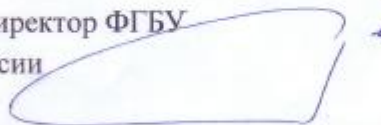
Ответственный за внедрение:
зав. отделением физической
реабилитации, к.м.н


 **Е.В. Портнягин**

И.О. генеральный директор ФГБУ
ФСНКЦ ФМБА России

А.О. Фетисов

02.04.2024



УТВЕРЖДАЮ
 Проректор по учебной
 и учебно-методической работе,
 к.б.н. Зарецкая Т.Н. 
 «7» ноября 2023г.



АКТ

о внедрении результатов диссертации Хан Алексея Викторовича в учебный процесс кафедры Восстановительной медицины, спортивной медицины, курортологии и физиотерапии с курсом сестринского дела Медико-биологического университета инноваций и непрерывного образования ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России

Мы, нижеподписавшиеся, подтверждаем, что основные научные положения, выводы и рекомендации кандидатской диссертации Хан Алексея Викторовича на тему «Реабилитация спортсменов после травм и операций на коленном суставе с применением роботизированных биомеханических комплексов» внедрены в учебный процесс кафедры Восстановительной медицины, спортивной медицины, курортологии и физиотерапии с курсом сестринского дела при изучении дисциплин: современные немедикаментозные диагностические и реабилитационные технологии, физиотерапия, современные диагностические технологии в лечебной физкультуре и спортивной медицине, организация реабилитации больных и инвалидов, читаемых ординаторам и аспирантам по специальностям 3.31.08.50. «Физиотерапия», 31.08.39 «Лечебная физкультура и спортивная медицина», 31.08.78 «Физическая и реабилитационная медицина»; по направлению подготовки 30.06.01 «Фундаментальная медицина»

Заведующий кафедрой
 восстановительной медицины,
 курортологии и физиотерапии,
 сестринского дела с курсом спортивной медицины
 ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России
 к.м.н., доцент



Колбахова С.Н.