На правах рукописи

Колышенков Василий Андреевич

ТЕХНОЛОГИИ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ В РЕАБИЛИТАЦИИ ПАЦИЕНТОВ С ПОВРЕЖДЕНИЯМИ РОТАТОРНОЙ МАНЖЕТЫ ПЛЕЧА

3.1.33 - Восстановительная медицина, спортивная медицина, лечебная физкультура, курортология и физиотерапия

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата медицинских наук

Москва 2022

Работа выполнена в ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологи» Министерства здравоохранения Российской Федерации

Научный руководитель:

Фесюн Анатолий Дмитриевич – доктор медицинских наук, и. о. директора ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологи» Министерства здравоохранения Российской Федерации

Официальные оппоненты:

Рассулова Марина Анатольевна - доктор медицинских наук, профессор, первый заместитель директора ГАУЗ «Московский научно-практический центр медицинской реабилитации, восстановительной и спортивной медицины Департамента здравоохранения города Москвы»

Бердюгин Кирилл Александрович – доктор медицинских наук, профессор РАН, заместитель директора по научной работе ГАУЗ СО «Центр специализированных видов медицинской помощи «Уральский институт травматологии и ортопедии имени В. Д. Чаклина»

Ведущая организация:

ФГБУ «Государственный научный центр Российской Федерации - Федеральный медицинский биофизический центр им. А. И. Бурназяна» ФМБА России

Защита диссертации состоится 24 ноября 2022 года в 11.00 на заседании Диссертационного совета 21.1.037.02 при ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии» Минздрава России по адресу: 121069, г. Москва, Борисоглебский пер., д.9, стр. 1

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке ФГБУ «НМИЦ РК» Минздрава России по адресу: 121069, г. Москва, Борисоглебский пер., д.9 стр.1 и на сайте http://www.nmicrk.ru/nauka/dissertatsionnyy-sovet/

Автореферат разослан «___» _____2022 года

Ученый секретарь диссертационного совета
доктор медицинских наук Марченкова Лариса Александровна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность и степень разработанности темы исследования

В последние десятилетия актуальность проблемы реабилитации пациентов с заболеваниями плечевого сустава значительно возросла. По данным большинства исследователей патология плечевого сустава составляет до 55% от всех заболеваний крупных суставов, (Миронов С.П., Цыкунов М.Б. с соавт., 2006; Широков В.А., 2012). и по своим количественным характеристикам приближается к эпидемии в Швеции, Великобритании, Японии и США (Sumrein B.O. et al., 2018).

Повреждения плечевого сустава, являющегося наиболее сложно организованным суставом опорно-двигательного аппарата, существенно снижают качество жизни пациентов. В связи с чем, восстановление функции плечевого сустава имеет серьезное социальное значение.

В настоящее время повреждения ротаторной манжеты, протекающие с длительным болевым синдромом и нарушением функции, становятся ведущей причиной временной или стойкой утраты трудоспособности пациентов различных возрастных групп (Aitken S.A. et al., 2014).

Традиционные консервативные методы лечения, такие как аппаратная физиотерапия, лечебная физкультура, механотерапия и различные другие реабилитационные мероприятия позволяют существенно снизить степень выраженности болевого синдрома и улучшить функциональное состояние плечевого сустава. Однако комплексы восстановительного лечения, учитывающие биомеханический характер движения, уровень функциональных возможностей и прочие факторы, в том числе и степень нарушения функции плечевого сустава нуждаются в дополнительных исследованиях и модификациях (Littlewood C. et al., 2019).

Несмотря на то, что в последние годы проблемам ранней диагностики и восстановительного лечения патологии плечевого сустава уделяется много внимания, тем не менее, в настоящее время они еще не полностью соответствуют запросам практикующих врачей. (Kailai Zhang B.H., Darren de S.A. et al., 2019).

Доказано, что одним из наиболее эффективных методов лечения при травмах ротаторной манжеты плеча является лечебная физкультура, которая направлена на снижение уровня болевых

ощущений, увеличения объема движений в плечевом суставе и увеличение мышечной силы. (Цыкунов М.Б., 2015).

Сравнительно недавно в практику физической и реабилитационной медицины начали внедряться технологии виртуальной реальности, которые не только позволяют моделировать различные двигательные стереотипы в иммерсивной среде и оценивать характер движения, с последующим программным анализом данных, но и способствуют вовлечению пациента в процесс реабилитации в качестве мотивирующего инструмента (Yoon-Hee Choi, Nam-Jong Paik, 2018).

Применение технологий виртуальной реальности активно исследовалось в рамках нейрореабилитации у пациентов после перенесенного инсульта (Laver K., 2017), при детском церебральном параличе и болезни Паркинсона (Dockx K., 2016; Ravi D.K., 2017;). Однако, несмотря на многообещающие результаты исследований, качество научных данных было недостаточным для внедрения данных методов в рутинную практику.

В ортопедической реабилитации клинические исследования применения виртуальной реальности проводились для пациентов с переломами лодыжек (Kim K.J. et al., 2015), травмами передней крестообразной связки (Gokeler A. et al., 2016), синдромом замороженного плеча (Lee S-H., et al., 2016) и у пациентов с хронической шейной болью и болью внизу спины (Bahat H.S. et al., 2015; Thomas J.S. et al., 2016).

Однако, исследований в области применения технологий виртуальной реальности у пациентов с травмами плечевого сустава, а именно с повреждением ротаторной манжеты плеча проведено недостаточно (Berton A. et al., 2020; Gumaa M. et al., 2019).

В связи с этим разработка новых и совершенствование традиционных программ реабилитации пациентов с повреждениями ротаторной манжеты является весьма актуальной и недостаточно разработанной темой и нуждается в дополнительных исследованиях.

Цель исследования

Разработка и научное обоснование применения технологий виртуальной реальности в комплексной программе медицинской реабилитации пациентов с повреждением ротаторной манжеты плеча.

Задачи исследования

1. Изучить изменения биомеханических характеристик плечевого сустава у пациентов с повреждениями ротаторной манжеты плеча.
2. Разработать и оценить эффективность применения технологии виртуальной реальности в комплексной программе медицинской реабилитации пациентов с повреждением ротаторной манжеты плеча.
3. В сравнительном аспекте оценить эффективность разработанной программы со стандартной методикой медицинской реабилитации пациентов с повреждением ротаторной манжеты плеча.
4. Оценить отдаленные результаты применения разработанной технологии виртуальной реальности в комплексной программе медицинской реабилитации пациентов с повреждением ротаторной манжеты плеча.

Научная новизна

Впервые разработана комплексная программа медицинской реабилитации с использованием технологии виртуальной реальности с биологической обратной связью у пациентов с повреждением ротаторной манжеты плеча.

Впервые разработано оригинальное программное обеспечение аппаратной платформы виртуальной реальности для медицинской реабилитации пациентов после повреждения ротаторной манжеты плеча.

Доказано, что применение разработанной комплексной программы медицинской реабилитации с применением технологий виртуальной реальности позволяет снизить субъективный уровень болевых ощущений, улучшить функциональное состояние плечевого сустава, повысить биомеханические характеристики плечевого сустава (максимальный крутящий момент, средний крутящий момент, средний крутящий момент/кг, средняя мощность и средняя работа), а также улучшить координационную функцию верхней конечности.

Доказано, что применение технологии виртуальной реальности в комплексной программе медицинской реабилитации пациентов с повреждением ротаторной манжеты плеча превосходит эффективность стандартного метода медицинской реабилитации,

как непосредственно после лечения, так и в отдаленном периоде (6 мес.).

Теоретическая и практическая значимость работы

Теоретическая значимость исследования заключается в расширении представлений о возможности применения технологий виртуальной реальности в медицинской реабилитации пациентов с повреждением ротаторной манжеты плеча.

Для практического здравоохранения разработана эффективная комплексная программа реабилитации пациентов с применением технологий виртуальной реальности у пациентов с повреждениями ротаторной манжеты плеча, позволяющая повысить эффективность лечения пациентов, способствующая достоверно значимому снижению уровня болевого синдрома, улучшению функционального состояния и биомеханических характеристик плечевого сустава.

Предложенная методика может быть использована в отделениях медицинской реабилитации, а также в условиях санаторно-курортных организаций с целью повышения эффективности лечения пациентов с повреждениями ротаторной манжеты плеча.

Методология и методы исследования

В исследование было включено 119 пациентов, из них 59 пациентов с повреждением ротаторной манжеты плеча и 60 практически здоровых добровольцев, чьи результаты принимались за возрастную норму. Все пациенты с повреждением ротаторной манжеты плеча были рандомизированы на две группы. Пациенты контрольной группы получали стандартный метод медицинской реабилитации, включавший в себя: лечебную физкультуру; медицинский массаж верхней конечности, магнитную и лазерную терапию на область плечевого сустава. Пациенты основной группы дополнительно получали занятия с применением технологий виртуальной реальности, проводимых с использованием оригинального программного обеспечения (Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2021614784, 30.03.2021) и шлема виртуальной реальности HTC VIVE. В исследовании изучались биомеханические характеристики плечевого сустава, объем движений в плечевом суставе и координационная функция верхней конечности, оценивалась функция верхней конечности по результатам опросника DASH и субъективная оценка болевых

ощущений по ВАШ. Также применяли методы исследования, такие как: изокинетическая динамометрия, магнитно-резонансная томография плечевого сустава. Полученные результаты статистически обработаны с использованием программы StatTech v. 2.8.5 (разработчик - ООО "Статтех", Россия).

Положения, выносимые на защиту

Повреждения вращательной манжеты плеча характеризуются выраженным нарушением функционального состояния плечевого сустава, высоким уровнем болевых ощущений, снижением биомеханических показателей (максимальный крутящий момент, средний крутящий момент, средний крутящий момент/кг, средняя мощность, средняя работа), что приводит к значительному снижению силы и выносливости мышц ротаторной манжеты плеча, а также мышц верхней конечности.

Применение разработанной комплексной программы медицинской реабилитации с использованием технологии виртуальной реальности с биологической обратной связью у пациентов с повреждениями ротаторной манжеты плеча позволяет достоверно значимо снизить уровень болевых ощущений, улучшить функциональное состояние и биомеханические показатели плечевого сустава, а также силовые возможности мышц, окружающих плечевой сустав и статистически достоверно превосходит по эффективности стандартный метод медицинской реабилитации.

В отдаленном периоде (6 мес.) применение комплексной программы медицинской реабилитации пациентов с использованием технологий виртуальной реальности с биологической обратной связью у пациентов с повреждениями ротаторной манжеты плеча позволяет достоверно значимо снизить болевой синдром в плечевом суставе, улучшить функционирование верхней конечности, а также улучшить биомеханические и координационные показатели плечевого сустава по сравнению с исходным уровнем у 82% пациентов.

Внедрение результатов работы

Разработанная методика применения технологий виртуальной реальности у пациентов с повреждениями ротаторной манжеты плечевого сустава внедрена в лечебную практику ФГБУ «НМИЦ РК» Минздрава России, лечебно-реабилитационном клиническом центре «Юдино», в ГБУЗ «КДЦ №2 ДЗМ», а также в

учебном процессе на кафедре восстановительной медицины, физической терапии и медицинской реабилитации ФГБУ «НМИЦ РК» Минздрава России.

Степень достоверности и апробация материалов диссертации

Достоверность результатов диссертационной работы, обоснованность выводов и практических рекомендаций обусловлена достаточным количеством наблюдений и использованием современных методов статистической обработки полученных данных

Проведение диссертационного исследования одобрено локальным этическим комитетом при ФГБУ «НМИЦ РК» Минздрава России протокол № 1 от «16» июня 2020.

Апробация диссертационной работы состоялась 29 июня 2022 г. на заседании научно-методического совета по проблемам медицинской реабилитации, клинической восстановительной медицины, лечебной физкультуры и спортивной медицины, курортологии и физиотерапии ФГБУ «НМИЦ РК» Минздрава России.

Основные положения доложены на конгрессах: III международный конгресс Vita Rehab Week 2019 «Современные технологии и оборудование для медицинской реабилитации, санаторно-курортного лечения и спортивной медицины» (г. Екатеринбург), IV международный конгресс Vita Rehab Week 2020 «Современные технологии и оборудование для медицинской реабилитации, санаторно-курортного лечения и спортивной медицины» (г. Екатеринбург), X Юбилейный Всероссийский конгресс с международным участием «Медицина для Спорта 2021» (г. Москва), Евразийский Ортопедический Форум 2021, V международный конгресс Vita Rehab Week 2021 «Современные технологии и оборудование для медицинской реабилитации, санаторно-курортного лечения и спортивной медицины» (г. Екатеринбург).

Личный вклад автора

Автором самостоятельно обоснованы и сформулированы цель и задачи научного исследования, проводились занятия с использованием технологии виртуальной реальности при повреждении ротаторной манжеты плеча, а также осуществлялась всесторонняя оценка и анализ полученных результатов с применением современных методов статистической обработки.

Личный вклад автора также состоит в подготовке научных публикаций и написании диссертации.

Публикации

Всего по теме диссертационного исследования опубликовано 8 печатных работ, из них 3 - в научных рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 5 - в изданиях, индексируемых базой данных РИНЦ, а также получены «Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ» №2021101008 и патент на изобретение №2751977 «Способ комплексной физической реабилитации пациентов с использованием технологии виртуальной реальности при импиджмент-синдроме плечевого сустава».

Объем и структура диссертации

Диссертационная работа содержит введение, обзор литературы, описание материалов и методов исследования, собственные результаты исследования, заключение, выводы, практические рекомендации и список литературы, который включает 61 отечественный и 175 зарубежных источников. Работа выполнена на 138 страницах машинописного текста, иллюстрирована 32 таблицами и 29 рисунками.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Материал и методы исследования

В рамках исследования было обследовано 119 пациентов, в возрасте от 18 до 66 лет, возраст которых составил 48,00 [35,00;54,00] лет, из них 59 пациентов с диагнозом повреждение вращательной манжеты плеча, импиджмент синдром плечевого сустава не ранее чем через 2 месяца после оперативного вмешательства и 60 практически здоровых добровольцев, не имеющих в анамнезе травм и заболеваний плечевого сустава, значения которых принимались за возрастную норму.

Все пациенты с повреждением ротаторной манжеты плеча, в зависимости от проводимого лечения, методом рандомизации были разделены на две группы, сопоставимые по полу, возрасту и клиническим проявлениям заболевания. В контрольную группу было включено 30 человек, получавших стандартную методику медицинской реабилитации. В основной группе, состоявшей из 29 пациентов, на фоне стандартного комплекса медицинской реабилитации проводили занятия с применением технологий виртуальной реальности.

Все пациенты прошли клиническое обследование, в рамках которого оценивали жалобы и анамнестические данные пациента, общий осмотр и проведение специальных тестов, анкетирование, инструментальное обследование, а также биомеханическое исследование плечевого сустава. Всем пациентам проводилась консультация травматолога, невролога и врача по лечебной физкультуре.

При сборе жалоб существенное внимание уделяли специфическому болевому синдрому в области плечевого сустава. Обследование позволило исключить вертеброгенную патологию и подтвердить наличие неспецифического болевого синдрома в области плечевого сустава.

МРТ плечевого сустава выполнялось на высокопольном томографе закрытого типа TOSHIBA VANTAGE ATLAS (Toshiba Medical Corporation, Япония), мощностью 1,5 Тл, в положении пациента лежа на спине.

Оценка степени выраженности болевого синдрома в плечевом суставе проводилась с использованием визуальной аналоговой шкалы (ВАШ). Оценка функционального состояния верхней конечности проводилась с использованием опросника «Исходов и неспособностей руки и кисти» (DASH).

Регистрация объема движений проходила с использованием медицинского гониометра. Проводились специфические тесты вращательной манжеты плечевого сустава: симптом импиджмента Neer, симптом Hawkins-Kennedy, тест надостной мышцы Jobe, тест подостной мышцы, тест «Hornblower sign», тест отрыва Gerber (“Lift-off”).

Изокинетическое тестирование проводилось с использование универсального динамометра CON-TREX MJ (Physiomed) в соответствии с рекомендациями Швейцарского общества физиотерапии. Для проведения изокинетического тестирования были выбраны следующие тесты: вращение внутрь/наружу, отведение/приведение, сгибание/разгибание.

Все исследования проводились до, после и через 6 месяцев после прохождения курса медицинской реабилитации.

Стандартная методика реабилитации пациентов с повреждением ротаторной манжеты плеча включала в себя проведение комплекса лечебной физкультуры, состоявший из упражнений, направленных на увеличение активного и пассивного

объема движений, снижения уровня боли и минимизации отека, длительностью 30 минут, на курс 10 процедур; медицинский массаж верхней конечности и области плечевого сустава, с акцентом на мышцы ротаторной манжеты плеча, длительностью 20 минут на курс 10 процедур; магнитотерапию на область плечевого сустава на аппарате «MAG-Expert», дозировкой 35-50 млТл, длительностью 15 минут, на курс 10 процедур и лазерную терапию на область плечевого сустава на аппарате «Азор2к», дозировкой 4-6 Вт в импульсе, длительностью 20 минут, курс 10 процедур.

Методика применения технологий виртуальной реальности с биологической обратной связью. Перед началом процедуры пациенту объясняли механику занятий в виртуальной среде, его цели и задачи. На голову пациента надевали шлем виртуальной реальности. После этого происходила настройка шлема под индивидуальные физиологические особенности пациента, фокусное расстояние, межзрачковое расстояние, размер шлема. В руках у пациента находились джойстики для взаимодействия с виртуальной средой. Виртуальная среда представляла из себя нейтральное окружение, в котором пациенту было комфортно находиться. Задачей пациента в виртуальной реальности являлось провести специальное кольцо по трубе (с минимальным количеством ошибок), которая изменяла свою форму в произвольном порядке в зависимости от выбранного уровня сложности, которое полностью повторяло движения джойстика в виртуальной среде. При касании кольца и трубы раздавался сигнал и вибрация на джойстике, что подразумевало под собой ошибку. Время выполнения одной сессии составляло 5 мин., после выполнения задания и перерыва в 1 мин., сессия повторялась. Длительность процедуры составляла 30 минут, на курс 10 процедур.

Статистический анализ проводился с использованием программы StatTech v. 2.8.5. Количественные показатели оценивались на предмет соответствия нормальному распределению с помощью критерия Шапиро-Уилка (при числе исследуемых менее 50) или критерия Колмогорова-Смирнова (при числе исследуемых более 50). В случае отсутствия нормального распределения количественные данные описывались с помощью медианы (Me) и нижнего и верхнего квартилей (Q1 – Q3). Категориальные данные описывались с указанием абсолютных значений и процентных долей. Сравнение двух групп по количественному показателю,

распределение которого отличалось от нормального, выполнялось с помощью U-критерия Манна-Уитни. Сравнение процентных долей при анализе четырехпольных таблиц сопряженности выполнялось с помощью критерия хи-квадрат Пирсона (при значениях ожидаемого явления более 10), точного критерия Фишера (при значениях ожидаемого явления менее 10). При сравнении трех и более зависимых совокупностей, распределение которых отличалось от нормального, использовался непараметрический критерий Фридмана с апостериорными сравнениями с помощью критерия Коновера-Имана с поправкой Холма. Сравнение бинарных показателей, характеризующих более двух связанных совокупностей, выполнялось с помощью Q-критерия Кохрена. Апостериорный анализ проводился с помощью теста МакНемара с поправкой Холма.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исходная характеристика исследуемых групп

Исходно, все пациенты с повреждением ротаторной манжеты плеча предъявляли жалобы на болевой синдром и снижение объема движений в плечевом суставе. Исходные значения субъективной выраженности болевого синдрома в плечевом суставе у пациентов с повреждением ротаторной манжеты плеча составили 6,00 [5,00;7,00] балов по ВАШ, в свою очередь у здоровых добровольцев болевой синдром в плечевом суставе определялся на уровне 0 [0;1,00] баллов ($p<0,001$).

При исходном проведении специфических тестов у пациентов с повреждением ротаторной манжеты плеча «положительные» результаты при проведении тестов «Neer test» и «Hawkins/Kennedy» были получены у 94,9% пациентов, теста «Drop Arm Test» - у 91,5%, теста «Jobe test» - у 84,7%, «Теста подостной мышцы» - у 89,8% и теста «Lift off» - у 81,4% пациентов. При этом, у здоровых добровольцев в 100% случаев отмечали «отрицательный» результат при проведении всех тестов.

Исходный объем движений во внутренней и наружной ротации, а так же в отведении и сгибании у пациентов с повреждением ротаторной манжеты плеча был достоверно значимо ниже, чем у здоровых добровольцев ($p<0,001$) (таблица 1).

Дефицит объема движений во внутренней и наружной ротации у пациентов с повреждением ротаторной манжеты плеча составил 65,38% и 63,63% соответственно. В сгибании объем

движений в плечевом суставе был снижен на 52,27%, а в отведении на 60,00% град.

Таблица 1. Исходный объем движений в плечевом суставе, Me [Q_1;Q_3].

Показатель	Пациенты с повреждением РМПС	Здоровые добровольцы
Внутренняя ротация	27,00 [19,00;33,00]	78,00 [75,75;80,00]*
Наружная ротация	32,00 [20,00;40,50]	88,00 [85,75;90,00]*
Сгибание	84,00 [77,50;99,50]	176,00 [174,00;178,00]*
Отведение	70,00 [61,00;77,00]	175,00 [172,00;177,00]*

Примечание: * - различия показателей статистически значимы ($p<0,001$), используемый метод: U-критерий Манна-Уитни.

Исходно пациенты основной и контрольной групп предъявляли жалобы на снижение уровня функционирования верхней конечности, что проявлялось в невозможности полноценно использовать оперированную конечность при выполнении бытовой активности. Значения уровня функционирования плечевого сустава согласно опроснику DASH у пациентов с повреждением ротаторной манжеты плеча до начала лечения составили 63,33 [55,92;66,67] баллов, что достоверно значимо превышало показатели здоровых добровольцев, у которых данный показатель составил 3,30 [1,45;5,00] баллов ($p<0,001$).

Исходные показатели функции координации верхней конечности у пациентов с повреждением ротаторной манжеты плеча по сравнению со здоровыми добровольцами были снижены на 43,87%, и составили 98 [87;104] и 55 [52;59] баллов соответственно.

Анализ результатов изокинетических тестов «Вращение внутрь/Вращение наружу», «Приведение/Отведение», «Разгибание/Сгибание» у пациентов с повреждением ротаторной манжеты плеча показал статистически значимое снижение силовых характеристик (максимальный и средний крутящие моменты) ($p<0,001$) и показателей выносливости и мышечной работы (средняя мощность и средняя работа) по сравнению со здоровыми добровольцами ($p<0,001$). Отмечено снижение биомеханических показателей мышц (M. supraspinatus, M. infraspinatus, M. teres minor,

M. subscapularis, M. deltoideus, M. teres major, M. pectoralis major, M. latissimus dorsi, M. biceps, M. triceps, M. coracobrachialis) к возрастной норме по показателям динамической силы в 1,54 раза, по показателям мышечной выносливости и работоспособности в 1,84 и 1,98 раза соответственно.

Оценка эффективности разработанной методики применения технологий виртуальной реальности у пациентов с повреждениями ротаторной манжеты плеча

После прохождения лечения уровень болевых ощущений в плечевом суставе достоверно значимо снизился во всех исследуемых группах ($p<0,05$), однако более выраженная степень снижения болевого синдрома была отмечена в основной группе ($p<0,001$). Через 6 месяцев после лечения, при контрольном визите, в основной и контрольной группах ($p<0,05$) сохранялась статистически достоверная положительная динамика в отношении снижения болевого синдрома, в тоже время в основной группе были отмечены более выраженные изменения ($p=0,002$) (таблица 2).

Таблица 2. Динамика показателей болевого синдрома по ВАШ, Me [Q_1;Q_3].

Уровень болевого синдрома		Основная группа	Контрольная группа	p
ВАШ (баллы)	До	6,00 [5,00;7,00]	6,00 [5,00;7,00]	0,576
	После	2,00 [1,00;3,00]Δ	4,00 [2,00;5,00]Δ	<0,001
	Через 6 месяцев	1,00 [0,00;1,00]#	1,00 [1,00;2,00]#	0,002

p – достоверность различий, используемый метод: U–критерий Манна–Уитни; Δ – различия показателей (до и после лечения) статистически значимы ($p<0,001$), используемый метод: критерий Уилкоксона; # – различия показателей (до и через 6 месяцев) статистически значимы ($p<0,001$), используемый метод: критерий Уилкоксона.

Анализ данных результатов ортопедических тестов, показал статистически достоверную динамику снижения «положительных» результатов тестов, как после лечения ($p<0,001$), так и через 6 месяцев, в отдаленном периоде ($p<0,001$) во всех группах по всем тестам. Более выражена положительная динамика после лечения в

основой группе по отношению к контрольной группе была отмечена при проведении тестов «Neer test», «Drop Arm Test», «Hawkins/Kennedy test», «Jobe test», «Тест подостной мышцы», «Lift off test» (p<00,5) и через 6 мес. по– при проведении тестов «Neer test», «Jobe test» (p<0,05).

После прохождения курса лечения уровень функционирования верхней конечности по результатам опросника DASH достоверно значимо улучшился в основной и контрольной группе (p<0,001), однако более выраженные изменения были отмечены в основной группе (p=0,039). Через 6 месяцев, после прохождения курса медицинской реабилитации отмечалось статистически достоверное снижение баллов опросника DASH, как в основной, так и в контрольной группах (p<0,05). Более выраженные изменения были зафиксированы в основной группе (p=0,030) (таблица 3).

Таблица 3. Динамика показателей опросника DASH в исследуемых группах, Me [Q_1;Q_3]

Уровень функционирования верхней конечности		Основная группа	Контрольная группа	p
DASH (баллы)	До	63,33 [56,17;65,83]	64,17 [56,54;67,29]	0,485
	После	39,17 [35,00;40,83]Δ	41,25 [39,17;43,96]Δ	0,039
	Через 6 месяцев	11,66 [9,16;13,30]#	12,65 [11,60;13,95]#	0,030

p – достоверность различий, используемый метод: U–критерий Манна–Уитни; Δ – различия показателей (до и после лечения) статистически значимы (p<0,001), используемый метод: критерий Уилкоксона; # – различия показателей (до и через 6 месяцев) статистически значимы (p<0,001), используемый метод: критерий Уилкоксона

Анализ объема движений во внутренней и наружной ротации, сгибании и разгибании после лечения показал статистически значимое увеличение показателей в основной и контрольной группах (p<0,05), однако степень выраженности изменений была выше в основной группе (p=0,019) (таблица 4).

Таблица 4. Динамика показателей объема движений в плечевом суставе, Me [Q_1;Q_3]

Объем движений		Основная группа	Контрольная группа
Внутренняя ротация (град.)	До	28,00 [24,00;32,00]	25,50 [19,00;34,25]
	После	46,00 [38,00;49,00]Δ	36,00 [29,50;47,50]Δ
	6 мес.	74,00 [71,00;75,00]Δ	71,00 [69,00;74,00]Δ
Наружная ротация (град.)	До	32,00 [20,00;41,00]	31,00 [21,25;40,00]
	После	52,00 [41,00;56,00]Δ	45,50 [35,00;55,00]Δ
	6 мес.	85,00 [81,00;87,00]Δ	80,00 [78,00;81,75]Δ
Отведение (град.)	До	72,00 [61,00;76,00]	69,50 [60,25;77,25]
	После	121,00 [107,00;125,00]Δ	107,00 [94,25;121,50]Δ
	6 мес.	144,00 [128,00;158,00]Δ	127,00 [120,00;135,00]Δ
Сгибание (град.)	До	89,00 [77,00;101,00]	84,00 [79,00;97,00]
	После	127,00 [117,00;142,00]Δ	116,00 [109,50;129,00]Δ
	6 мес.	144,00 [132,00;162,00]Δ	131,00 [123,25;147,00]Δ

Δ – различия показателей (по отношению к исходному уровню) статистически значимы ($p<0,05$), используемый метод: критерий Уилкоксона

Через 6 месяцев, в отдаленном периоде, отмечалась существенная положительная динамика по гониометрическим данным во всех исследуемых движениях, как в основной, так и в контрольной группах ($p<0,05$), в тоже время более выраженная степень изменения показателей регистрировалась в основной группе ($p=0,042$).

После курса медицинской реабилитации значения функции координации верхней конечности достоверно значимо улучшились в основной группе ($p<0,001$) и в контрольной группе ($p<0,001$), в то же время, степень выраженности положительной динамики была выше в основной группе (таблица 5). Через 6 месяцев, после лечения координационные возможности пациентов в группе с применением технологий виртуальной реальности статистически достоверно улучшились до 76 [69;84] баллов ($p<0,001$), в тоже время в группе контроля статистически достоверных результатов выявлено не было по сравнению с результатами после реабилитации.

Таблица 5. Динамика показателей функции координации, Me [Q_1;Q_3].

Показатель		Основная группа	Контрольная группа
Функция координации (баллы)	До	98 [87;101]	100 [93;108]
	После	82 [74;87]Δ	88 [84;93]Δ
	6 мес.	76 [69;84]Δ	86 [81;92]Δ

Δ – различия показателей (по отношению к исходному уровню) статистически значимы (p<0,001), используемый метод: критерий Уилкоксона

Результаты проведения изокинетической динамометрии в различные периоды наблюдения представлены в таблицах 7-9.

Как видно из таблицы 7, значения динамических силовых возможностей и показателей мышечной выносливости и работоспособности в тесте «Вращение внутрь/Вращение наружу» исследуемых мышечных групп статистически значимо возросли в основной (p<0,001) и контрольной группе, как сразу после лечения (p<0,001), так и в отдаленном периоде (p<0,05). Однако, более выраженные изменения были отмечены в основной группе (p<0,05).

В тоже время, в отдаленном периоде, у пациентов основной и контрольной групп отмечается достоверное снижение силовых показателей и значений выносливости по сравнению со значениями после курса лечения (p<0,05). Однако, менее выраженная степень снижения отмечается в основной группе (p<0,05).

Как видно из таблицы 8, после лечения, биомеханические показатели плечевого сустава в тесте «Приведение/Отведение» достоверно значимо улучшились по показателям динамической мышечной силы (максимальный крутящий момент, средний крутящий момент) в обеих группах (p<0,001), а также по показателям мышечной выносливости и работоспособности (средняя мощность и средняя работа) как в основной, так и в контрольной группе (p<0,001). Более выраженное улучшение биомеханических показателей отмечалось в основной группе (p<0,05).

В отдаленном периоде, через 6 месяцев после курса лечения, положительные изменения наблюдались в обеих группах. В частности, было отмечено улучшение показателей динамической силы, мышечной выносливости и производительности по сравнению с исходными значениями (p<0,05).

Таблица 7. Динамика показателей изокинетической динамометрии в тесте «Вращение внутрь/Вращение наружу», Me [Q_1;Q_3].

Показатель		Основная группа	Контрольная группа
Вращение внутрь			
Максимальный крутящий момент (Н*м)	До	11,20 [9,60;17,13]	12,87 [7,26;18,58]
	После	19,93 [15,27;24,67]Δ	14,90[8,41;21,59]Δ
	6 мес.	18,58[13,53;23,12]Δ†	13,09[7,96;19,24]†Δ
Средний крутящий момент (Н*м)	До	11,20 [7,87;16,07]	11,92 [6,83;15,55]
	После	19,13 [14,13;24,07]Δ	13,81 [7,57;17,86]Δ
	6 мес.	16,65[12,31;21,53]Δ†	12,20 [6,83;16,49]Δ†
Средняя мощность (Вт)	До	2,13 [1,20;3,73]	2,30 [1,06;3,14]
	После	4,33 [2,60;4,93]Δ	2,76 [1,23;3,68]Δ
	6 мес.	3,87 [2,30;4,68]Δ†	2,56 [1,11;3,47]Δ†
Средняя работа (Дж)	До	13,93 [5,60;24,40]	11,96 [5,82;25,38]
	После	21,60 [14,20;35,07]Δ	13,28 [6,71;29,90]Δ
	6 мес.	19,92[13,44;32,61]Δ†	11,55 [6,32;26,98]Δ†
Вращение наружу			
Максимальный крутящий момент (Н*м)	До	13,20 [10,00;17,33]	12,30 [8,54;16,75]
	После	20,87 [15,93;27,73]Δ	15,23 [9,93;19,11]Δ
	6 мес.	18,66 [14,74;24,67]Δ†	14,02 [9,46;16,75]Δ†
Средний крутящий момент (Н*м)	До	12,07 [9,27;15,67]	12,16 [8,27;15,29]
	После	19,00 [13,60;24,20]Δ	14,56 [9,54;17,44]Δ
	6 мес.	17,24 [12,21;22,34]Δ†	13,62 [8,77;15,83]†#
Средняя мощность (Вт)	До	2,26 [1,40;3,40]	2,37 [1,27;3,10]
	После	4,33 [2,40;5,40]Δ	2,70 [1,44;3,53]Δ
	6 мес.	3,92 [2,23;5,01]Δ†	2,53 [1,32;3,30]Δ†
Средняя работа (Дж)	До	13,92 [8,27;25,27]	12,15 [6,63;21,04]
	После	25,60 [15,07;32,13]Δ	13,53 [7,54;23,15]Δ
	6 мес.	22,90 [13,44;29,68]Δ†	12,49 [7,29;21,24]Δ†

Δ – различия показателей (по отношению к исходному уровню) статистически значимы ($p<0,05$); † – различия показателей (после и через 6 месяцев) статистически значимы ($p<0,05$), используемый метод: критерий Уилкоксона

Однако, при проведении анализа биомеханических данных после курса лечения и в отдаленном периоде, отмечается статистически достоверное снижение исследуемых показателей, как

в основной, так и в контрольной группе (p<0,05). Степень снижения биомеханических показателей была ниже в основной группе (p<0,05).

Таблица 8. Динамика показателей изокинетической динамометрии в тесте «Приведение/Отведение», Me [Q_1;Q_3]

Показатель		Основная группа	Контрольная группа
Приведение			
Максимальный крутящий момент (Н*м)	До	24,07 [15,67;33,93]	23,34 [17,20;31,24]
	После	40,60 [33,47;52,13]Δ	26,75 [19,27;36,02]Δ
	6 мес.	37,47 [29,60;50,42]Δ†	25,03[18,09;33,35]Δ†
Средний крутящий момент (Н*м)	До	18,13 [13,00;30,47]	17,33 [13,58;28,38]
	После	39,20 [30,07;49,47]Δ	19,94 [15,35;36,65]Δ
	6 мес.	35,16 [26,35;45,04]Δ†	18,79 [14,39;33,24]Δ†
Средняя мощность (Вт)	До	3,13 [1,87;6,87]	2,88 [2,17;6,64]
	После	6,07 [3,40;10,27]Δ	3,18 [2,46;7,61]Δ
	6 мес.	2,94 [2,29;6,78]Δ†	2,94 [2,29;6,78]Δ†
Средняя работа (Дж)	До	14,80 [8,73;35,07]	12,03 [8,88;32,10]
	После	27,67 [15,60;54,53]Δ	14,06 [10,39;37,05]Δ
	6 мес.	25,15 [13,93;49,48]Δ†	13,22 [9,94;32,74]Δ†
Отведение			
Максимальный крутящий момент (Н*м)	До	19,33 [9,40;25,40]	18,27 [10,86;26,86]
	После	31,13 [21,20;36,53]Δ	21,09 [12,54;30,67]Δ
	6 мес.	29,93 [19,65;33,11]Δ†	18,93 [11,28;28,98]Δ†
Средний крутящий момент (Н*м)	До	16,87 [7,80;23,80]	16,07 [8,36;24,47]
	После	28,60 [20,13;32,87]Δ	18,92 [9,49;27,61]Δ
	6 мес.	25,86 [18,88;28,74]Δ†	17,87 [8,59;25,08]Δ†
Средняя мощность (Вт)	До	3,53 [1,13;3,93]	3,26 [1,13;4,02]
	После	5,07 [3,40;5,60]Δ	3,76 [1,28;4,56]Δ
	6 мес.	4,61 [3,29;5,39]Δ†	3,44 [1,14;4,26]Δ†
Средняя работа (Дж)	До	14,53 [5,00;18,60]	13,56 [5,43;17,46]
	После	21,93 [13,27;32,27]Δ	15,48 [6,05;20,19]Δ
	6 мес.	19,46 [12,47;29,76]Δ†	14,55 [5,52;18,40]Δ†

Δ – различия показателей (по отношению к исходному уровню) статистически значимы (p<0,05); † – различия показателей (после и через 6 месяцев) статистически значимы (p<0,05), используемый метод: критерий Уилкоксона

Как видно из таблицы 9, после курса реабилитации, статистически значимое увеличение показателей силы, выносливости и мышечной производительности в тесте «Разгибание/Сгибание», было отмечено во всех исследуемых группах (p<0,05).

Таблица 9. Динамика показателей изокинетической динамометрии в тесте «Разгибание/Сгибание», Me [Q_1;Q_3]

Показатель		Основная группа	Контрольная группа
Разгибание			
Максимальный крутящий момент (Н*м)	До	26,40 [14,40;42,00]	27,75 [14,99;41,82]
	После	43,60 [35,07;54,20]Δ	31,08 [17,29;47,16]Δ
	6 мес.	38,51 [32,97;49,43]Δ†	28,31 [15,68;42,05]Δ†
Средний крутящий момент (Н*м)	До	17,33 [13,53;36,87]	19,27 [13,72;35,58]
	После	35,20 [26,87;50,33]Δ	21,83 [16,32;40,12]Δ
	6 мес.	32,41 [24,25;47,36]Δ†	20,09 [14,72;37,12]Δ†
Средняя мощность (Вт)	До	3,07 [2,13;8,67]	3,12 [2,18;8,52]
	После	8,47 [5,33;12,33]Δ	4,33 [2,80;9,79]Δ
	6 мес.	8,15 [5,04;11,51]Δ†	3,94 [2,70;9,07]Δ†
Средняя работа (Дж)	До	15,20 [10,00;44,13]	15,10 [9,48;40,32]
	После	41,73 [20,80;61,60]Δ	18,82 [12,35;45,87]Δ
	6 мес.	36,83 [18,37;58,33]Δ†	16,95 [11,31;40,88]Δ†
Сгибание			
Максимальный крутящий момент (Н*м)	До	17,53 [12,40;27,53]	16,94 [11,36;26,17]
	После	34,40 [23,07;39,80]Δ	20,93 [12,96;29,94]Δ
	6 мес.	30,62[20,49;35,05]Δ†	19,11 [11,62;28,66]Δ†
Средний крутящий момент (Н*м)	До	13,20 [10,40;21,27]	12,39 [9,69;22,46]
	После	29,87 [15,80;36,13]Δ	14,67 [11,22;25,59]Δ
	6 мес.	26,83 [14,51;31,76]Δ†	13,08 [10,05;23,02]Δ†
Средняя мощность (Вт)	До	2,73 [1,40;4,33]	2,77 [1,44;4,38]
	После	5,27 [2,47;7,93]Δ	3,21 [1,72;5,14]Δ
	6 мес.	4,74 [2,22;7,17]Δ†	3,05 [1,60;4,58]Δ†
Средняя работа (Дж)	До	11,67 [5,80;20,07]	11,83 [6,22;18,25]
	После	24,13 [10,13;40,87]Δ	15,21 [7,21;23,39]Δ
	6 мес.	22,25 [8,91;36,97]Δ†	14,11 [6,56;20,89]Δ†

Δ – различия показателей (по отношению к исходному уровню) статистически значимы (p<0,05); † – различия показателей (после и через 6 месяцев) статистически значимы (p<0,05), используемый метод: критерий Уилкоксона

Через 6 месяцев после лечения, отмечались достоверно значимые улучшения максимального крутящего момента, среднего крутящего момента, средней мощности и средней работы по сравнению с исходными значениями в обеих исследуемых группах, однако степень выраженности изменений была выше в основной группе ($p<0,05$).

Полученные результаты показали, что включение технологий виртуальной реальности в комплексную программу медицинской реабилитации пациентов с повреждением ротаторной манжеты плеча позволяет статистически достоверно улучшить биомеханические показатели мышц ротаторной манжеты плеча (M. supraspinatus, M. infraspinatus, M. teres minor, M. subscapularis). В тоже время отмечается улучшение биомеханических характеристик мышц (M. deltoideus, M. teres major, M. pectoralis major, M. latissimus dorsi, M. biceps, M. triceps, M. coracobrachialis), принимающих участие в предложенных изокинетических тестах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, на основании выполненного исследования разработана и научно обоснована эффективность применения технологий виртуальной реальности у пациентов с повреждением ротаторной манжеты плеча, заключающаяся в преимущественной акцентированной тренировки силовых характеристик и показателей выносливости мышц ротаторной манжеты плеча и улучшению функции координации верхней конечности.

Результаты исследования позволяют констатировать, что, разработанная комплексная программа медицинской реабилитации пациентов с применением технологий виртуальной реальности у пациентов с повреждением ротаторной манжеты плеча достоверно значимо снижает уровень болевых ощущений в плечевом суставе, увеличивают объем движений, улучшают биомеханические показатели плечевого сустава и координационную функцию и улучшают функциональное состояние верхней конечности.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

Полученные данные могут служить основанием для дальнейших исследований, направленных на изучение влияния технологий виртуальной реальности на биомеханические и клинико-функциональные показатели у пациентов с другими заболеваниями плечевого сустава и верхней конечности с целью повышения эффективности медицинской реабилитации.

ВЫВОДЫ

1. Повреждения ротаторной манжеты плеча характеризуются достоверно значимым снижением биомеханических характеристик плечевого сустава по показателям объема движений в плечевом суставе во внутренней и наружной ротации на 65,3% и 63,6%, в сгибании - на 52,2% и в отведении – на 60,0%, а также снижением силовых характеристик в изокинетических тестах «вращение внутрь/наружу», «приведение/отведение» и «сгибание/разгибание» в среднем на 64,5%, 68,3% и 76,2% соответственно, и мышечной выносливости и работы в тесте «вращение внутрь/наружу» на 71,2%, в тесте «приведение/отведение» на 75,4% и в тесте «разгибание/сгибание» на 79,6% по сравнению с возрастной нормой.
2. Применение разработанной комплексной программы медицинской реабилитации с использованием технологии виртуальной реальности с биологической обратной связью у пациентов с повреждением ротаторной манжеты плеча позволяет достоверно значимо снизить уровень болевых ощущений в плечевом суставе на 66,6% по ВАШ, улучшить функциональное состояние плечевого сустава по данным опросника DASH на 41,3%, а так же существенно улучшить силовые показатели и показатели мышечной выносливости и работы в тесте «вращение внутрь/наружу» на 58,2% и 68,5%, в тесте «приведение/отведение» на 67,5% и 82,3%, в тесте «разгибание/сгибание» на 64,5% и 79,8% соответственно, на фоне улучшения функции координации верхней конечности на 16,3%.
3. Разработанная комплексная программа медицинской реабилитации с использованием технологий виртуальной реальности с биологической обратной связью превосходит эффективность стандартного метода медицинской реабилитации по показателем выраженности болевого синдрома в среднем на 33,3%, степени функционирования плечевого сустава на 5,4%, по показателям объема движений в плечевом суставе на 56,6%, силовым показателям и значениям мышечной выносливости на 32,8% и 44,6%, функции координации верхней конечности на 7,4%.
4. В отдаленном периоде при применении технологий виртуальной реальности в комплексной программе реабилитации у пациентов с повреждением ротаторной манжеты плеча по сравнению с исходными результатами отмечено объективное

снижение болевого синдрома по шкале ВАШ на 83,3%, улучшение функционирования верхней конечности по результатам опросника DASH на 81,5%, увеличение объема движений в плечевом суставе во «вращении внутрь» и «вращении наружу» на 164,2% и 165,6%, в сгибании и отведении – на 100,0% и 61,7% соответственно, увеличение силовых показателей и показателей мышечной работы и выносливости составило 58,2% и 64,3%, биомеханических показателей плечевого сустава по результатам изокинетических тестов - 58,2% и 64,3%, на фоне улучшения координационной функции верхней конечности на 22,4%.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

Для оценки изменения силовых и кондиционных способностей мышечных групп плечевого сустава у пациентов с повреждением ротаторной манжеты плеча целесообразно использовать изокинетическое тестирование.

Комплексная программа реабилитации с использованием технологий виртуальной реальности рекомендована для применения у пациентов с повреждением ротаторной манжеты плеча с целью снижения болевого синдрома, увеличения объема движений, улучшения силовых и показателей выносливости мышц, окружающих плечевой сустав, а так же улучшению уровня функционирования верхней конечности. Занятия в виртуальной реальности необходимо проводить с использованием оригинального программного обеспечения (Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2021614784, 30.03.2021) и аппаратного комплекса HTC VIVE. Занятия рекомендуется проводить 1 раз в день, в течении 30 минут. В одну сессию входит 5 занятий по 5 минут, с перерывами между занятиями в виртуальной среде равными 1 минуте, курс 10 процедур. Кроме того, необходимо применять методики лечебной физкультуры, длительностью 30 минут, массаж области плечевого сустава и области надплечья в седативных и тонизирующих методиках, магнитную терапию на область плечевого сустава, дозировкой 35-50 млТл, длительностью 15 минут, на аппарате «MAG-Expert» (PHYSIOMED, Германия), курсом 10 процедур, ежедневно и лазерную терапию на область плечевого сустава, дозировкой 4-6 Вт в импульсе, длительностью 20 минут, на аппарате «Азор2к» (МТЦ ООО «АЗОР», Россия), курс 10 процедур, ежедневно.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Колышенков В.А., Фесюн А.Д., Яковлев М.Ю. Оценка функциональных и биомеханических нарушений в плечевом суставе: проспективное когортное исследование 119 пациентов с повреждением ротаторной манжеты плеча // Вестник восстановительной медицины. – 2022. – 21(4). – С. 152-162.
2. Колышенков В.А., Просвирин А.Н. Оценка эффективности применения комплексной программы реабилитации с использованием технологий виртуальной реальности: проспективное когортное исследование 59 пациентов с повреждением ротаторной манжеты плеча // Вестник восстановительной медицины. – 2022. – 21(4). – С. 163-176.
3. Колышенков В.А., Ответчикова Д.И., Фесюн А.Д. Анализ биомеханических нарушений у пациентов с повреждением вращательной манжеты плечевого сустава // Russian Journal of Rehabilitation Medicine. - 2021. - № 2. - С. 4-8.
4. Колышенков В.А., Ответчикова Д.И., Фесюн А.Д. Возможности применения аппаратно-программного комплекса виртуальной реальности у пациентов с повреждением вращательной манжеты плеча // Russian Journal of Rehabilitation Medicine. - 2021. - № 4. - С. 30-35.
5. Калинский Е.Б., Черняев А.В., Слиняков Л.Ю., Богатов В.Б., Гончарук Ю.Р., Чеканов А.С., Колышенков В.А., Еремушкин М.А. Оценка биомеханических нарушений плечевого сустава у пациентов с шейно-плечевым синдромом после травм надплечья // Российский журнал биомеханики. - 2020. - Т. 24. - № 2. - С. 196-202.
6. Колышенков В.А., Еремушкин М.А. Возможности применения технологии Kinect® с использованием геймифицированных процедур в реабилитации пациентов с повреждениями ротаторной манжеты // В книге: VITA REHAB WEEK 19 "Современные технологии и оборудование для медицинской реабилитации, санаторно-курортного лечения и спортивной медицины" III Международный научно-практический конгресс. - 2019. - С. 77-78.
7. Колышенков В.А., Еремушкин М.А. Использование технологии Kinect® в реабилитационной практике // В сборнике: Медицина: практика и наука. Сборник научных трудов. - Москва, 2019. - С. 84-87.
8. Колышенков В.А., Еремушкин М.А., Стяжкина Е.М. Перспективы развития систем виртуальной реальности в программах нейрореабилитации // Вестник восстановительной медицины. - 2019. - № 1. - (89). - С. 52-56.