

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Объект авторского права
УДК 616.831-005.4:616.009.11]-71-78

ЛУКАШЕВИЧ
Владислав Анатольевич

**АДАПТИВНАЯ КИНЕЗИТЕРАПИЯ
В МЕДИЦИНСКОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ ПАЦИЕНТОВ
С ИНФАРКТОМ МОЗГА**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора медицинских наук

по специальности 14.03.11 – восстановительная медицина,
лечебная физкультура и спортивная медицина,
курортология и физиотерапия

Минск 2024

Научная работа выполнена в государственном учреждении образования «Белорусская медицинская академия последипломного образования» Министерства здравоохранения Республики Беларусь.

Научный консультант: **Пономарев Владимир Владимирович**, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой неврологии и нейрохирургии института повышения квалификации и переподготовки кадров здравоохранения учреждения образования «Белорусский государственный медицинский университет»

Официальные оппоненты: **Ковальчук Виталий Владимирович**, доктор медицинских наук, профессор, заслуженный врач Российской Федерации, председатель Общества врачей реабилитационной медицины Санкт-Петербурга, руководитель Центра медицинской реабилитации, заведующий отделением реабилитации пациентов с нарушением функций ЦНС Санкт-Петербургского государственного бюджетного учреждения здравоохранения «Городская больница № 38 им. Н.А. Семашко»

Кручинский Николай Генрихович, доктор медицинских наук, доцент, заведующий кафедрой физической реабилитации и спортивной медицины учреждения образования «Полесский государственный университет»

Галиновская Наталья Викторовна, доктор медицинских наук, профессор, профессор кафедры неврологии и нейрохирургии с курсами медицинской реабилитации, психиатрии, факультета повышения квалификации и переподготовки учреждения образования «Гомельский государственный медицинский университет»

Оппонирующая организация: учреждение образования «Гродненский государственный медицинский университет»

Защита состоится 17 декабря 2024 года в 14.00 на заседании совета по защите диссертаций Д 03.18.11 при учреждении образования «Белорусский государственный медицинский университет» по адресу: 220083, г. Минск, пр-т Дзержинского, 83, e-mail: uchsovet@bsmu.by, тел.: +375 (17) 302 16 21.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Белорусский государственный медицинский университет».

Автореферат разослан 13 ноября 2024 года.

И.о. ученого секретаря совета
по защите диссертаций Д 03.18.11,
д.м.н., профессор



О.А. Пересада

ВВЕДЕНИЕ

Медицинская реабилитация (МР) пациентов, перенесших инфаркт головного мозга (ИГМ), является актуальной социальной проблемой [Ковальчук В.В. и соавт., 2018]. Ежегодно от ИГМ погибают более 5,5 миллионов человек (30%), при этом 50 % выживших имеют тяжелые нарушения нейромышечных скелетных и связанных с движением функций (НСДФ) [Koton S. и соавт., 2022]. Более 30 % пациентов остаются стойкими инвалидами [Смычек В.Б. и соавт., 2003; Кулеш С.Д. и соавт., 2012] с многокомпонентной дезадаптацией [Wright A. и соавт., 2018].

Гетерогенность ИГМ сопряжена с многообразием его клинических подтипов [Amarenco P. и соавт., 2013; Сидорович Э.К. и соавт., 2016]. Вместе с этим, диагностика заболевания по патобиомеханическим фенотипам (ПБФ), основанная на оценке нарушений НСДФ, в частности адаптивной кинематики (АДК), до настоящего времени не имеет прикладного применения [Stucki G. и соавт., 2018; Bruni M.F. и соавт., 2018].

Более 80 % МР пациентов с ИГМ отводится физическим методам [Tijssen L.M. и соавт., 2019], в том числе роботизированной кинезитерапии с применением реабилитационных аппаратно-программных комплексов (РАПК) [Valero-Cuevas F.J. и соавт., 2016]. Несмотря на существенные недостатки РАПК, связанные с ограниченными возможностями в отношении коррекции двигательных адаптаций, низкой пропускной способностью, громоздкостью, высокой стоимостью и отсутствием стандартизированных условий проведения МР, роботизированная реабилитация выделена в самостоятельное направление [Bruni M.F. и соавт., 2018; Tedlaa J.S. и соавт., 2019].

Сложившаяся комплексная проблема МР пациентов с ИГМ носит глобальный характер. Трансформация дотаций государства в разработку доступных методик персонифицированной МР, актуальных в условиях высокой коморбидности ИГМ и социальной изоляции (пандемия COVID-19), рассматривается как выход из сложившейся ситуации [Wyblow W.D. и соавт., 2015; Moncion K. и соавт., 2022].

Таким образом, исходя из вышесказанного, перспектива развития персонифицированной МР пациентов с различными ПБФ ИГМ состоит в создании стандартизированных условий применения доступных РАПК.

Актуальность вопросов повышения эффективности МР пациентов с ИГМ послужила основанием для проведения настоящего исследования.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с научными программами (проектами), темами

Диссертационная работа выполнена в соответствии с научными планами организаций-исполнителей государственных программ Министерства здравоохранения и Министерства образования Республики Беларусь по следующим темам: «Разработать и внедрить метод реабилитации пациентов с заболеваниями суставов конечностей и позвоночника с использованием сочетанных физиотерапевтических воздействий», по заданию 01.03 отраслевой научно-технической программы «Реабилитация, экспертиза, предупреждение инвалидности» на 2016–2020 гг. (№ гос. регистрации 20162250, срок выполнения 2016–2018 гг.) – государственное учреждение образования «Белорусская медицинская академия последиplomного образования»; «Исследование биомеханики тазового региона в инвариантных условиях двигательного поля виртуальной реальности», по заданию 2.26 подпрограммы «Диагностика и терапия заболеваний» Государственной программы научных исследований «Фундаментальные и прикладные науки – медицине» на 2016–2020 гг. (№ гос. регистрации 20162998, срок выполнения 2016–2018 гг.) – республиканское инновационное унитарное предприятие «Научно-технологический парк БНТУ “Политехник”»; «Разработка и внедрение в практическое здравоохранение нового метода реабилитации пациентов неврологического профиля с координаторно-двигательными нарушениями, основанного на использовании кинезитренажера» в рамках гранта Президента Республики Беларусь в области здравоохранения (Приложение к распоряжению Президента Республики Беларусь от 24 января 2017 г. № 12рп).

Тема диссертационной работы соответствует приоритетным направлениям научной, научно-технической и инновационной деятельности на 2021–2025 гг. в сфере биологических, медицинских, фармацевтических и химических технологий, в частности персонифицированной медицины, МР пациентов, медицинского оборудования, согласно Указу Президента Республики Беларусь от 7 мая 2020 г. № 156 и основным задачам подпрограммы № 6 «Обеспечение функционирования системы здравоохранения Республики Беларусь» Государственной программы «Здоровье народа и демографическая безопасность Республики Беларусь» на 2021–2025 гг., утвержденной Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 19 января 2021 г. № 28.

Цель исследования – повышение эффективности МР пациентов с инфарктом головного мозга путем разработки метода адаптивной кинезитерапии (АК) и его внедрения в практическое здравоохранение.

Задачи исследования:

- 1) разработка биомеханических показателей сложных движений человека, полученных в стандартизированных условиях средового окружения при выполнении разноплановых двигательных тестов;
- 2) установление биомеханических показателей, перспективных для диагностики нарушений адаптивной кинематики;
- 3) разработка стандартизированных условий проведения адаптивной кинезитерапии;
- 4) установление объективных маркеров патобиомеханических фенотипов ИГМ по показателям адаптивной кинематики и результатам клинического тестирования (данным клинических шкал);
- 5) разработка адаптивной кинезитерапии, основанной на комбинации мануальных кинезитерапевтических техник, методиках функциональной реципрокной нейромышечной электростимуляции, адаптивной механотерапии и тренировки динамической координации;
- 6) оценка влияния МР пациентов с различными патобиомеханическими фенотипами ИГМ на динамику восстановления адаптивной кинематики, двигательных функций нижних конечностей, функции ходьбы, а также уровня мобильности и повседневной активности;
- 7) разработка алгоритма назначения адаптивной кинезитерапии пациентам с различными патобиомеханическими фенотипами ИГМ средней степени тяжести и оценка ее клинической эффективности.

Объектом исследования были 92 здоровых добровольца и 107 пациентов, перенесших ИГМ, которым проводилась МР, дополненная у 57 пациентов АК.

Предметом исследования являлись: 1) результаты клинических шкал, полученные у пациентов с ИГМ, 2) пространственно-временные параметры адаптивной кинематики, рассчитанные при проведении биомеханического анализа разноплановых двигательных тестов.

Научная новизна

1. Разработан новый метод АК, направленный на улучшение качества АДК (монография ISBN 978-985-581-434-5), состоящий из методик функциональной реципрокной нейромышечной электростимуляции (патент № 2017095254, РСТ), адаптивной механотерапии (патент № 030027, Евразийское патентное ведомство) и тренировки динамической координации (патент № 037467, Евразийское патентное ведомство), повышает эффективность МР пациентов с ИГМ в 4 раза.

2. Впервые сформулирован алгоритм назначения блоков АК1 АК2 и АК3 в зависимости от ПФФ ИГМ, основанный на оценке уровня повседневной активности и анализе АДК по результатам ТФС, согласно

которому блок АК1 назначается при значении индекса Бартел менее 31 балла, назначение блока АК2 производится при значении параметра СПОН(ТФС) $1 \geq 64,01$ %, а блока АК3 – при его меньших значениях.

3. Разработан новый способ регистрации биомеханических данных (patent № US9,360,932) с последующей реконструкцией скелетной модели тела человека и расчётом параметров времени активной фазы, СУД и ИК, которые после сравнения с результатами «нормы» позволяют проводить оценку нарушений АДК (патент № 17492 Республики Беларусь) с точностью предсказаний 73 %.

4. Впервые разработан метод распознавания двигательного паттерна в реальном времени (патент № 2017095254, РСТ) по биомеханическим параметрам с последующей передачей эффекторного электрического сигнала в виде последовательных коротких импульсов длительностью 0,1 с поочередно на мышцы-антагонисты бедер и туловища, для тактильного взаимодействия с пользователем.

5. Разработан новый способ восстановления двигательной активности человека (patent № EP 3415123), основанный на применении РАПК2 (патент № 030027, Евразийское патентное ведомство), состоящего из модуля антигравитационной поддержки тела и модуля привода конечностей.

6. Впервые предложено использование нового устройства РАПК3 (патент № 037467, Евразийское патентное ведомство), представленного в виде передвижной антигравитационной рамы поддержки шаговой локомоции с подвесной системой и роботизированным приводом нижних конечностей.

7. Впервые изучено и установлено положительное влияния АК на эффективность МР (монография ISBN 978-985-581-434-5) пациентов с различными ПБФ ИГМ, с отношениями шансов 5,1 (95 % ДИ 1,17–22,51) – для пациентов с ПБФ1, 8,1 (95 % ДИ 1,15–55,61) – для пациентов с ПБФ2 и 7,71 (95 % ДИ 1,76–33,72) – для пациентов с ПБФ3.

Положения, выносимые на защиту

1. Разработанные новые биомеханические показатели, полученные в ходе выполнения двигательных тестов, связанных с разноплановыми перемещениями тела в стандартизированных условиях средового окружения, характеризуют адаптивную кинематику здоровых лиц по колебаниям значений медиан: времени активной фазы при выполнении теста «фронтальная стабильность» – от 4,4 до 13,5 с; средней угловой девиации при выполнении теста «сагиттальная стабильность» – от 10,8 до 37,4°; средней угловой девиации при выполнении теста «идентификация стимула» – от 8,9 до 28,1°; и инерциальной кинематики при выполнении теста «пространственная ориентация» – от 1 до 18,7 рад/с².

2. Биомеханический анализ показателей адаптивной кинематики, после их обработки и последующего сравнения с аналогичными результатами группы здоровых лиц, позволяет рассчитывать для каждого двигательного теста средний процент отклонения от нормы и ряд интегральных производных нарушения двигательных синкинезий, обусловленных функциями головного мозга, и нарушения двигательных синкинезий нижних конечностей, на основании которых выполняется оценка нарушений адаптивной кинематики с точностью предсказаний 73 %.

3. Применение трех новых реабилитационных аппаратно-программных комплексов – комплекса нейромышечной активации и оценки кинематики, роботизированного комплекса стационарной кинезитерапии и передвижной антигравитационной рамы поддержки шаговой локомоции – создают стандартизированные условия проведения МР пациентов с ИГМ вне зависимости ($p > 0,5$) от выраженности нарушений нейромышечных скелетных и связанных с движением функций.

4. Установленные в ходе биомеханического анализа клинически однородной группы пациентов с ИГМ значения параметров адаптивной кинематики в виде нарушения двигательных синкинезий, обусловленных функциями головного мозга, и нарушения двигательных синкинезий нижних конечностей в трех диапазонах – более 75 %, от 60 до 75 % и менее 60 % – позволяют дифференцировать клинически однородную группу пациентов с ИГМ на три соответствующие подгруппы: ПБФ1, ПБФ2 и ПБФ3. Установленные данные клинических шкал в однородной группе пациентов с ИГМ позволяют проводить диагностику заболевания по патобиомеханическим фенотипам. При этом патобиомеханический фенотип 1 устанавливается при значении индекса Бартел менее 31 балла или результатам менее 48 баллов по шкале Фугл–Мейера; патобиомеханический фенотип 2 определяется в случае значения модифицированного индекса мобильности Ривермид менее 14 баллов, а патобиомеханический фенотип 3 – при регистрации значений 10-метрового теста ходьбы, превышающих 2 балла.

5. Применение мануальных кинезитерапевтических техник, методик функциональной реципрокной нейромышечной электростимуляции, адаптивной механотерапии и тренировки динамической координации повышают эффективность МР пациентов с ИГМ ($p < 0,003$) в 4 раза (отношение шансов 4,03 (95 % ДИ 1,44–11,24)). При этом выбор блока адаптивной кинезитерапии 1 (УТСБ, УДРБ, УДМГС, УШЛ, УСКТС, УДПТ и УПЗБ) выполняется для пациентов с патобиомеханическим фенотипом 1, блока упражнений адаптивной кинезитерапии 2 (УТСБ, УДРБ, УПЗБ, УФБ, УАП1, УАП2, УШЛ и УДВ) – для пациентов с патобиомеханическим

фенотипом 2, а адаптивной кинезитерапии 3 (УФБ, УАП1, УАП2, УШЛ, УБШ, УШО, УПО и УИС) – для пациентов с патобиомеханическим фенотипом 3.

6. Разработанные показатели адаптивной кинематики в виде процента восстановления двигательных синкинезий, обусловленных функциями головного мозга и процента восстановления двигательных синкинезий нижних конечностей в совокупности с клиническими данными, отражающими состояние функции стереотипа походки, уровень повседневной активности и мобильности, позволяют объективно оценивать динамику проведения МР у пациентов с различными патобиомеханическими фенотипами ИГМ. Значения медианы процента восстановления двигательных синкинезий, обусловленных функциями головного мозга, равные 0,38 %, а также прирост медиан индекса Бартел с 20 до 35 и значений по шкале Фугл–Мейера с 48 до 57 баллов указывают на положительную клиническую динамику у пациентов с патобиомеханическим фенотипом 1. Значения медиан процента восстановления двигательных синкинезий, обусловленных функциями головного мозга, и процента восстановления двигательных синкинезий нижних конечностей 1,08 и 0,72 % соответственно, а также прирост медианы модифицированного индекса мобильности Ривермид с 12 до 17,5 баллов свидетельствует о положительной динамике в подгруппе с патобиомеханическим фенотипом 2. Значения медиан процента восстановления двигательных синкинезий, обусловленных функциями головного мозга, и процента восстановления двигательных синкинезий нижних конечностей, равные 3,1 и 1,08 % соответственно, а также прирост медианы результатов 10-метрового теста ходьбы с 1 до 3 баллов указывают на положительную клиническую динамику у пациентов с патобиомеханическим фенотипом 3.

7. Разработанный новый алгоритм назначения адаптивной кинезитерапии, основанный на последовательном анализе индекса Бартел и показателя среднего процента отклонения от нормы при выполнении теста «фронтальная стабильность», согласно которому блок адаптивной кинезитерапии 1 назначается при регистрации индекса Бартел менее 31 балла, блок адаптивной кинезитерапии 2 – при значении среднего процента отклонения от нормы в ходе выполнения теста «фронтальная стабильность» более 64,01 %, а блок адаптивной кинезитерапии 3 – при значении среднего процента отклонения от нормы в ходе выполнения теста «фронтальная стабильность» менее 64,01 %, позволяет повышать эффективность МР пациентов с ИГМ, имеющих патобиомеханический фенотип 1, в 5 раз, и в 8 раз – при патобиомеханическом фенотипе 2 и 3.

Личный вклад соискателя ученой степени в результаты диссертации

Автором лично проведены патентный поиск, анализ технической документации, аналитический обзор информации по теме диссертации, обоснованы ее актуальность, научная новизна, практическая значимость, сформулированы цели и задачи, разработан дизайн, а также определены этапы проведения исследования. Совместно с сотрудниками БелМАПО профессорами В.В. Пономаревым и А.П. Сиваковым, доцентами С.М. Манкевич и А.В. Волотовской, а также сотрудниками неврологического отделения 2-й ГКБ г. Минска М.И. Тарасевичем, М.Ю. Забаронок и Н.В. Хомич сформулированы базовые принципы нового направления МР пациентов с ИГМ [2–А; 3–А; 6–А; 9–А; 23–А; 30–А; 31–А; 53–А; 54–А] (личный вклад – 90 %). Совместно с профессором А.П. Сиваковым, сотрудниками кафедры спортивной инженерии БНТУ В.Е. Васюком, Д.А. Лукашевичем и Н.А. Парамоновой, сотрудниками БГУИР М.В. Давыдовым, В.А. Михнюком, А.В. Луньком и В.С. Шекуновым, а также инженерами компании «Intellect Motion» (Сингапур) Д.А. Давыдовым и А.В. Хроменковым разработаны РАПК, положенные в основу стандартизации условий проведения МР [4–А; 21–А; 24–А; 29–А; 32–А; 38–А; 39–А] (личный вклад – 90 %). При участии инженера компании «ВРТЭК» (Беларусь) Е.А. Журко и сотрудников БГУФК Т.А. Морозевич-Шилюк и Г.Г. Лесива автор разработал и апробировал мобильное приложение для оценки состояния опорно-двигательного аппарата при обследовании 92 здоровых добровольцев [41–А] (личный вклад – 90 %). Соискатель, совместно с консультантом и профессором А.П. Сиваковым, доцентом С.М. Манкевич и сотрудниками неврологического отделения 2-й ГКБ г. Минска М.И. Тарасевичем, М.Ю. Забаронок и Н.В. Хомич, при участии инженеров компании «ВРТЭК» (Беларусь) В.Е. Мицкевича, Ю.А. Гавриловича, Е.А. Журко и А.Н. Кипеля, при консультативной поддержке первого проректора БГУИР А.Н. Осипова и директора института физиологии С.В. Губкина, разработал принципы оценки АДК [5–А; 11–А; 14–А; 17–А; 22–А; 28–А; 40–А] (личный вклад – 70 %). Совместно с научным консультантом была разработана классификация моторных нарушений после ИГМ по признаку особенностей АДК [12–А] (личный вклад – 50 %). Соискатель, совместно с сотрудниками неврологического отделения 2-й ГКБ г. Минска М.И. Тарасевичем, Е.О. Пономарёвой, В.В. Ковалевой, Д.А. Королевич, Н.П. Дражиной и С.А. Алешкевич, при консультативной поддержке профессора В.В. Пономарева, обследовал 155 пациентов, выполнив оценку неврологических и функциональных нарушений по клиническим шкалам [20–А; 36–А; 37–А] (личный вклад – 70 %). Автором, совместно с научным консультантом и профессором Санкт-Петербургской военно-

медицинской академии С.А. Живолуповым, разработаны принципы проведения функциональной реципрокной нейромышечной электростимуляции [13–А; 44–А] (личный вклад – 90 %). Совместно с сотрудниками неврологического отделения 2-й ГКБ г. Минска М.И. Тарасевичем, Е.О. Пономарёвой, В.В. Ковалевой, Д.А. Королевич, Н.П. Дражиной, С.А. Алешкевич и М.Ю. Забаронок, а также доцентом С.М. Манкевич и директором института физиологии С.В. Губкиным, при участии профессора Санкт-Петербургской военно-медицинской академии С.А. Живолупова была проведена оценка эффективности разработанного метода АК [6–А; 9–А; 10–А; 13–А; 15–А; 20–А; 34–А; 35–А] (личный вклад – 70 %). Обсуждение, оценка, анализ и интерпретация результатов исследования проводилось совместно с научным консультантом. Соискателем лично заполнена электронная база и осуществлена статистическая обработка полученных результатов. Соискатель принимал участие в оформлении заявок на изобретения, актов внедрения, а также в подготовке инструкций по применению новых методов диагностики и лечению пациентов с ИГМ для их утверждения Министерством здравоохранения Республики Беларусь (личный вклад – 80 %). Вклад соавторов совместных публикаций, патентов и инструкций определялся их пропорциональным участием в выполнении исследований.

Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов

Результаты исследований, включенные в диссертацию, были доложены и обсуждены на 22 научных съездах, конференциях, симпозиумах и семинарах (11 – в Республике Беларусь, 4 – в Российской Федерации, 1 – в Республике Украина, 6 – в дальнем зарубежье), а также продемонстрированы на 6 выставках и конкурсах (3 – в Республике Беларусь, 1 – в Российской Федерации, 2 – в Республике Украина).

Комплексная оценка диссертационного исследования проводилась комиссией Российско-Белорусского фонда венчурных инвестиций. По результатам экспертизы (14 октября 2017 года) исследование (первый белорусский проект, получивший одобрение) было признано перспективным для интеграции в социально-экономическую сферу союзного государства (<https://www.youtube.com/watch?v=ZFdzXetyWo>).

Степень практического внедрения подтверждается 2 инструкциями по применению, 8 актами о внедрении в практическую деятельность учреждений здравоохранения и образования Республики Беларусь и Российской Федерации.

Опубликованность результатов диссертации

По теме диссертации опубликованы 44 печатные работы (общим объемом 29,8 а. л.), из них: 1 монография (объемом 14,9 а. л.); 19 статей

(общим объемом 9,6 а. л.), из них 4 – в единоличном авторстве, соответствующих п. 19 Положения о присуждении ученых степеней и присвоения ученых званий (16 статей в журналах Республики Беларусь, 2 статьи в журнале Республики Казахстан и 1 статья в журнале Республики Украина); 24 статьи (общим объемом 5,3 а. л.) в сборниках научных трудов, материалов конференций, съездов, конгрессов, тезисов докладов (16 статей в изданиях Республики Беларусь, 4 статьи в изданиях государств СНГ, 4 статьи в изданиях стран дальнего зарубежья). Министерством здравоохранения Республики Беларусь утверждены 2 инструкции по применению. Получено 6 патентов на изобретения.

Структура и объем диссертации

Диссертация изложена на 262 страницах машинописного текста. Содержит 16 таблиц (9 страниц), 58 рисунков (18 страниц). Состоит из введения, общей характеристики работы, аналитического обзора литературы, 1 главы с описанием материалов и методов исследования, 4 глав с изложением результатов собственных исследований, заключения, списка использованных источников, 11 приложений (71 страница). Список использованных источников включает библиографический список (353 литературных источника: 42 источника на русском языке, 311 источников на иностранных языках); список публикаций соискателя ученой степени (54 публикации).

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Материалы и методы исследования

Исследование проводилось в неврологическом отделении (ранняя реабилитация пациентов с инсультом) учреждения здравоохранения «2-я городская клиническая больница» г. Минска и было одобрено этическими комитетами: 1) государственного учреждения образования «Белорусская медицинская академия последипломного образования», 2) учреждения здравоохранения «2-я городская клиническая больница» г. Минска. Дизайн научной работы – клиническое открытое контролируемое проспективное исследование с распределением в связанные пары. Все участники исследования подписывали информированное согласие (уведомление) и составили три исследовательские группы: 1) в группу Н вошли здоровые добровольцы в количестве 92 человека; 2) группу Р составили 50 пациентов с ИГМ; 3) группу О – 57 пациентов. Когорта пациентов получала МР согласно протокола ранней медицинской реабилитации больных, перенесших инсульт, ее порядок и организация регламентировались Приказом Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 1 сентября 2022 г. № 1141 «О порядке организации и проведения медицинской реабилитации,

медицинской реабилитации». Также все пациенты получали лечение согласно стандартам клинического протокола «Диагностика и лечение пациентов с заболеваниями нервной системы (взрослое население)», утвержденного постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 18 января 2018 г. № 8. МР в группе О была дополнена АК.

Критериями включения в исследование для пациентов являлись: клинически установленный диагноз «инфаркт головного мозга» с гемипарезом в качестве ведущего клинического симптома; возраст старше 40 лет; средняя степень тяжести заболевания, соответствующая 7–15 баллам по ШТИ; период времени более 3 недель, но не более 6 месяцев с момента мозговой катастрофы; желание пациента. К критериям исключения из исследования относили: клинически установленные и нейровизуализационно подтвержденные диагнозы «внутричерепное кровоизлияние» и «криптогенный инфаркт головного мозга»; клинически установленный в срок до 10 дней с момента госпитализации и подтвержденный данными ПЦР-теста (SARS-CoV-2) диагноз «новая коронавирусная инфекция»; когнитивные нарушения, затрудняющие коммуникацию; срок госпитализации менее 5 дней; наличие выраженного либо умеренно выраженного болевого синдрома; количество сеансов АК менее 5; количество сеансов АК менее 8 при сроке госпитализации от 10 до 16 дней; любые субъективные жалобы негативного характера и отказ от участия в исследовании.

Исследование проводили в три этапа. На первом этапе с применением критериев включения и исключения формировали группу Н. Критерии включения: возраст старше 15 лет; отсутствие в течение последних 3 лет эпизодов потери сознания, судорожного синдрома, симптомов дрожания, переломов и повреждений сухожильно-мышечного аппарата; отсутствие субъективных жалоб на боли, мышечную слабость, головокружение и шаткость походки. В качестве критерия исключения принимали значение коэффициента двигательной асимметрии либо одного из показателей нарушения НСДФ, и сенсорных функций более 8 %. Расчет показателей производили на разработанном мобильном приложении (ссылка для бесплатного скачивания: <https://getwoex.wixsite.com/checkin>). Программа диагностики включает последовательное выполнение 23 тестовых заданий. Все тестовые задания представлены в виде картинок. Исследователь, выполняя мануальное тестирование, производит выбор релевантной картинки. После окончания тестирования программа автоматически выполняет расчет искомых показателей. При оценке полученных результатов установлено, что применение данного метода, в сравнении с другими критериями включения, оказывает существенное влияние на структуру группы ($Chi^2 = 20,06; p < 0,0001$).

В ходе выполнения 1 этапа проводилась разработка биомеханических показателей АДК при выполнении разноплановых двигательных тестов (тест «фронтальная стабильность» (ТФС); тест «сагиттальная стабильность» (ТСС); тест «пространственная ориентация» (ТПО); тест «идентификация стимула» (ТИС); тест «шаговая локомоция» (ТШЛ)) с применением технологии дистанционного захвата движений и расчетом времени активной фазы (ВАФ), средней угловой девиации (СУД) основных кинематических элементов локомоторной системы, а также параметров инерциальной кинематики (ИК). При оценке АДК в качестве основных кинематических элементов принимались: тазобедренные (ТБС), коленные (КС) и голеностопные (ГС) суставы, а также бедра (Б), голени (Г) и стопы (С). ВАФ ТБС, КС и ГС регистрировали в виде показателей: ВАФТБС, ВАФКС, ВАФГС, ВАФТС, ВАФТС. Аналогичным образом представлены показатели СУД и ИК в различных спектральных полосах (обозначены диапазоном в 1–5, 6–10 и 1–15 Гц). Качественная оценка нарушений АДК основывалась на вычислении процента отклонения от нормы (ПОН) для каждого параметра. Для каждого двигательного теста рассчитывали средний процент отклонения от нормы (СПОН). Интегрально рассчитывали маркеры АДК: нарушение двигательных синкинезий, обусловленных функциями головного мозга (НСГМ), и нарушение двигательных синкинезий нижних конечностей (НСНК). НСГМ вычисляется как арифметическая средняя величина СПОН, полученная при выполнении ТИС и ТПО, а НСНК – аналогично при выполнении ТФС и ТСС. Разработанная математическая модель включает последовательное выполнение следующих аналитических этапов: 1) расчет координат частей тела; 2) расчет параметров АДК в виде ВАФ, СУД и ИК; 3) обработки параметров АДК с вычислением СПОН; 4) расчет маркеров АДК в виде НСГМ, НСНК, процента восстановления двигательных синкинезий, обусловленных функциями головного мозга (ПВСГМ) – как разности НСГМ до и после МР, и процента восстановления двигательных синкинезий нижних конечностей (ПВСНК) – как разности НСНК до и после МР; 5) расчет маркера эффективности МР Δ СПОН. В рамках этапа для АК проводили разработку упражнений и методологии их применения для пациентов с ИГМ, которые разделяли на три блока: АК1, АК2 и АК3.

Метод АК базировали на комбинации мануальных кинезитерапевтических техник, методиках функциональной реципрокной нейромышечной электростимуляции, адаптивной механотерапии и тренировки динамической координации. Вместе с этим выполняли разработку стандартизированных условий проведения АК, основанных на применении аппаратно-программного комплекса нейромышечной активации и оценки кинематики (РАПК1), роботизированного комплекса стационарной

кинезитерапии (РАПК2) и передвижной антигравитационной рамы поддержки шаговой локомоции (РАПК3) (<https://youtu.be/AW88SwWDWCE>).

РАПК1 (рисунок 1) разработан для анализа биомеханики и функциональной реципрокной нейромышечной электростимуляции, состоит из модуля нейромышечной электростимуляции и модуля анализа движений.



Рисунок 1 – Роботизированный аппаратно-программный комплекс нейромышечной активации и оценки кинематики (РАПК1)

РАПК2 (рисунок 2) включает модуль антигравитационной поддержки и модуль привода конечностей, позволяющих реализовывать методику адаптивной механотерапии в пассивном и активно-пассивном режимах.

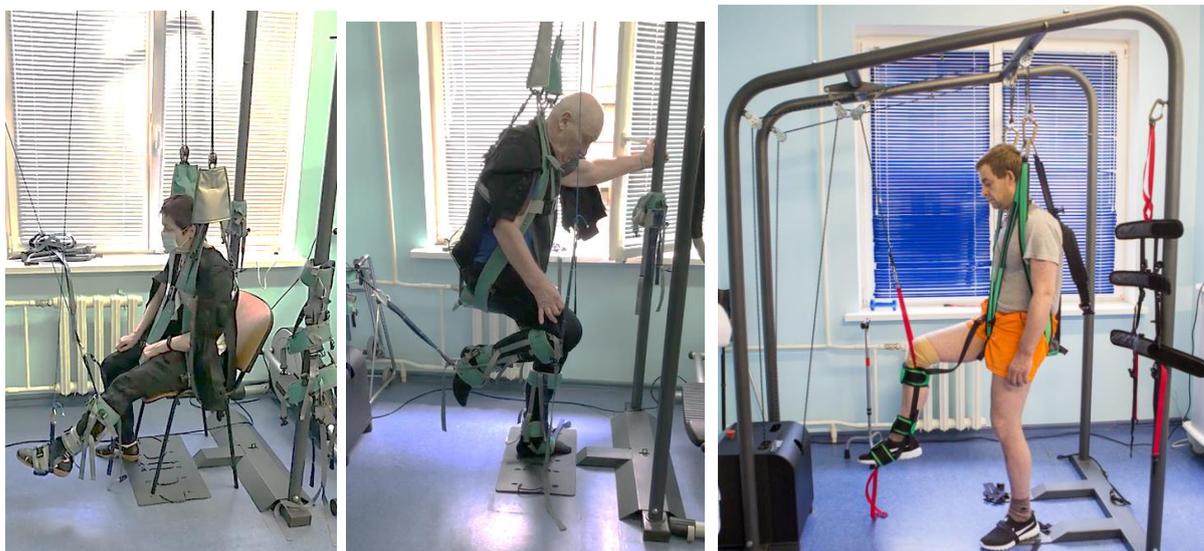


Рисунок 2 – Роботизированный комплекс стационарной кинезитерапии (РАПК2)

РАПК3 (рисунок 3) включает модуль антигравитационной поддержки и модуль привода ног, позволяющих выполнять методику тренировки динамических координаций.



Рисунок 3 – Передвижная (роботизированная) антигравитационная рама поддержки шаговой локомоции (РАПКЗ)

Методология АК предусматривает выполнение 15 упражнений (таблица 1) в различных вариациях и режимах с применением и без РАПК.

Таблица 1 – Базовые характеристики упражнений АК

Упражнения адаптивной кинезитерапии	УТСБ	УДРБ	УДМГС	УСКГС	УДПТ	УПЗБ	УДВ	УФБ	УАП1	УАП2	УБШ	УШО	УШЛ	УПО	УИС
Режимы выполнения упражнений															
Пассивный	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Активно-пассивный	-	-	-	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+	-	-
Активный	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	-	+	+
Без использования РАПК	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	-	+	+
Используемые методики, (техники)															
Мануальные кинезитерапевтические техники	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Методика адаптивной механотерапии	+	+	+	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
Реципрокная нейромышечная электростимуляция	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Тренировка динамической координации	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+
Направленность упражнений на развитие функции															
Внимания	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	-	+	+
Волевые и побудительные	-	-	-	-	+	-	-	+	-	+	-	-	+	+	+
Произвольных движений	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	-
Непроизвольной реакции	+	+	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
Стереотипа походки	-	-	-	+	-	-	+	-	+	-	-	+	+	-	-
Ориентированности	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	+	-
Подвижность тазобедренных суставов	+	+	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Подвижность коленных суставов	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Подвижность голеностопных суставов	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Баланс тела	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-	+	+	+
Проприоцептивная стимуляция	+	+	+	+	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-

Окончание таблицы 1

Цели упражнений															
Функции мышечной силы	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-
Мышечная выносливость	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Навык опоры	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-
Навык шагового движения	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
Когнитивные возможности	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+
Время выполнения упражнений															
более 5 мин	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
до 5 мин	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+
Суммарное время электростимуляции															
более 40с	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
до 40 с	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Упражнения АК: 1) упражнения «трехэтапное сгибание бедра» (УТСБ); 2) упражнения «двухэтапное разгибание бедра» (УДРБ); 3) упражнения «двухэтапная мобилизация голеностопного сустава» (УДМГС); 4) упражнения «сгибание коленного и тазобедренного суставов» (УСКТС); 5) упражнения «динамический подъем таза» (УДПТ); 6) упражнения «переворот на здоровый бок» (УПЗБ); 7) упражнения «динамическая вертикализация» (УДВ); 8) упражнения «фронтальный баланс» (УФБ); 9) упражнения «аксиальное перемещение 1» (УАП1); 10) упражнения «аксиальное перемещение 2» (УАП2); 11) упражнения «боковой шаг» (УБШ); 12) упражнения «шаг вокруг оси» (УШО); 13) упражнения «шаговая локомоция» (УШЛ); 14) упражнения «пространственная ориентация» (УПО); 15) упражнения «идентификация стимула» (УИС). При этом УТСБ, УДРБ, УДМГС и УДВ выполняются в пассивном режиме. УБШ, УШО, УСКТС, УДПТ, УПЗБ и УШЛ выполняются в активно-пассивном режиме. Выполнение УФБ, УАП1, УАП2, УБШ, УШО, УШЛ, УПО и УИО предусматривает активное участие пациента. УФБ, УБШ, УШО, УШЛ, УПО и УИС выполняются с использованием РАПКЗ. Методика реципрокной нейромышечной электростимуляции дополняет УТСБ, УДРБ, УДМГС, УСКТС, УДПТ и УПЗБ. Методика адаптивной механотерапии на РАПК2 используется для выполнения УДВ и может выполняться для УТСБ, УДМГС, УСКТС. Методика тренировки динамических координаций предусматривает выполнение УФБ, УАП1, УАП2, УБШ, УШО, УШЛ, УПО, УИС. Мануальная кинезитерапевтическая техника применяется при выполнении УТСБ, УДРБ, УДМГС, УДМН и УСКТС. При этом большая часть упражнений применима с использованием двух и более методик. Монометодичность предусмотрена для УДПТ, УПЗБ, УФБ, УАП1, УАП2, УДВ, УПО и УИС. Две методики применимы для УДМН, УБШ, УШО и УШЛ. Для ряда упражнений, таких как УТСБ, УДРБ, УДМГС, УСКТ, предусмотрено использование трех методик.

Вместе с тем, для тренировки функции внимания используются УФБ, УАП1, УАП2, УПО и УИС. Тренировка волевых и побудительных функций достигается применением УСКТС, УДПТ, УБШ, УШО, УШЛ, УПО и УИС. Тренировка функции ориентированности выполняется посредством УФБ, УАП2, УШЛ, УДВ и УПО. В целях проприоцептивной стимуляции применяются УТСБ, УДРБ, УДМГС, УДМН, УСКТС, УДПТ и УДВ. Большая часть упражнений (УСКТС, УДПТ, УПЗБ, УФБ, УАП1, УАП2, УБШ, УШО, УШЛ и УПО) направлена на тренировку контроля произвольных двигательных функций. УТСБ, УСКТС, УФБ, УАП1, УБШ, УШО и УШЛ ориентированы на изменение функции стереотипа походки. Функция произвольной двигательной реакции косвенно трансформируется посредством использования всех упражнений. Для коррекции НСНК применимы УТСБ, УДРБ, УДМГС, УСКТС, УФБ, УАП1, УАП2, УБШ, УШО, УШЛ, УПО и УИС, а для коррекции НСГМ – УФБ УАП1 УАП2 УБШ УШО УШЛ УПО и УИС.

Все упражнения АК принципиально разделяются на три блока: АК1, АК2 и АК3. Блок АК1 состоит из: УТСБ, УДРБ, УДМГС, УСКТС, УДПТ, УПЗБ, и УШЛ. Блок АК2 включает: УТСБ, УДРБ, УДВ, УФБ, УАП1, УАП2, и УШЛ. Блок АК3 состоит из: УФБ, УАП1, УАП2, УБШ, УШО, УШЛ, УПО, и УИС. Каждый блок упражнений имеет свою специфическую направленность: так АК1 оказывает влияние на суставную кинематику, АК2 – на баланс тела, АК3 – на динамические координации. Упражнения каждого блока сгруппированы по пяти тренировочным дням, которые повторяются циклически. Блок АК1 представлен следующей последовательностью упражнений: 1 день: УТСБ, УДРБ, УДМГС, УШЛ; 2 день: УСКТС, УДПТ, УПЗБ, УШЛ; 3 день: УТСБ, УДРБ, УДПТ, УПЗБ; 4 день: УТСБ, УДМГС, УДПТ, УШЛ; 5 день: УДРБ, УСКТС, УПЗБ, УШЛ. Упражнения блока АК2 представлены следующей последовательностью: 1 день: УТСБ, УДРБ УПЗБ УФБ; 2 день: УФБ, УАП1, УАП2, УШЛ; 3 день: УТСБ, УДВ, УФБ, УШЛ; 4 день: УДРБ, УФБ, УАП2, УШЛ; 5 день: УТСБ, УДВ, УАП1, УШЛ. Цикл программы АК3: 1 день: УФБ, УАП1, УАП2, УБШ, УШЛ; 2 день: УФБ, УБШ, УШО, УШЛ; 3 день: УАП1, УШО, УПО, УИС; 4 день: УФБ, УАП2, УБШ, УШЛ, УПО; 5 день: УАП1, УШО, УШЛ, УПО, УИС. АК проводится дважды в сутки. После трех циклов блок АК может повышаться.

На втором этапе исследования с применением критериев включения и исключения формировали группу Р. Общее количество участников группы составило 50 пациентов с гендерным соотношением мужчин и женщин 8,25 : 4,25 в возрасте от 40 до 76 (63[67/58]) лет. При статистическом анализе установлено, что выборки мужчин и женщин не отличаются между собой по возрасту ($p = 0,147765$). Длительность госпитализации в группе варьировала от 9 до 26 (19[21/16]) дней и не отличалась для мужчин и женщин ($p = 0,0529595$).

Согласно критериям TOAST (Trial of ORG 10172 in Acute Stroke Treatment), в клинической группе Р были диагностированы три этиопатогенетические подтипа ИГМ: 12 (24 %) пациентов с кардиоэмболическим подтипом ИГМ (возраст 66 [68,5/61] лет, длительность госпитализации 20 [21/17] дней); 36 (72 %) пациентов с атеротромботическим подтипом ИГМ (возраст 63 [65/56] года, длительность госпитализации 19 [21/16,5] дней); 2 (4 %) пациента с лакунарным подтипом ИГМ. При проведении статистического анализа установлено отсутствие различий переменных «длительность» проводимой МР и «возраст» в зависимости от подтипа ИГМ. У всех участников группы до начала и после окончания МР проводили оценку АДК. Оценку клинической картины ИГМ выполняли в динамике по индексу Бартел (ИБ), модифицированному индексу мобильности Ривермид (МИМР), ШТИ, скандинавской шкале инсульта (СШИ), 10-метровому тесту ходьбы (10МТХ), шкале Фугл–Мейера (ШФМ) и шкале тяжести усталости (ШТУ), объективно отражающих состояние повседневной активности, уровень мобильности, тяжесть ИГМ, динамику МР, функцию стереотипа походки, нарушения двигательных функций нижних конечностей и выраженность усталости пациентов соответственно. Динамика изменения показателей каждой шкалы при проведении МР оценивалась нормализованным отношением (НО). Общая динамика клинической картины ИГМ оценивалась интегрально средним нормализованным отношением всех шкал (СНОШ). Полученные результаты являлись основанием для установления объективных маркеров ПБФ ИГМ по показателям АДК и результатам клинического тестирования (данным клинических шкал) с соответствующим распределением пациентов по подгруппам: Р1 ($n = 19$), Р2 ($n = 12$) и Р3 ($n = 19$). В ходе этапа выполняли оценку влияния МР пациентов с различными ПБФ ИГМ на динамику восстановления АДК, двигательных функций нижних конечностей, функции ходьбы, а также уровня мобильности и повседневной активности, при этом полученные результаты имели постфикс 1 – до МР и 2 – после проведения МР.

На третьем этапе исследования с применением критериев включения и исключения формировали группу О. Общее количество участников группы составило 57 человек, из которых 39 человек (68 %) – мужчины, 18 человек (32 %) – женщины, при гендерном соотношении 9,75 : 4,50. Возраст пациентов, принимавших участие в исследовании, равнялся 68 [72/62] годам, минимальный возраст участника составил 41 год, а максимальный – 89 лет. Срок госпитализации пациентов равнялся 17 [20/15] дням. При этом минимальный срок госпитализации составил 10 дней, а максимальный – 25 дней. Согласно критериям TOAST, в клинической группе О были диагностированы три подтипа ИГМ: 22 (39 %) пациента с кардиоэмболическим подтипом; 34 (60 %) пациента с атеротромботическим подтипом; 1 (2 %) пациент с лакунарным

подтипом. При статистическом анализе установлена однородность выборок исследовательских групп, а также тенденции, аналогичные указанным для группы Р. У всех участников группы до начала и после окончания МР проводили оценку АДК и клиническое тестирование с применением следующих стандартизированных шкал: ИБ, МИМР, ШТИ, СШИ, 10МТХ, ШФМ и ШТУ. Эффективность АК оценивали на пациентах группы О и ее подгрупп, выделенных по признаку ПБФ: О1 ($n = 17$), О2 ($n = 18$) и О3 ($n = 22$). Выполнение этапа завершали сравнением эффективности МР и МР дополненной АК в связанных парах: Р1 и О1; Р2 и О2; Р3 и О3. Базовые характеристики исследовательских групп приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Базовые характеристики исследовательских групп и их подгрупп

Группы				Подгруппы		
Обозначение	Описание	n	%	Обозначение	n	%
«Н»	Группа здоровых добровольцев	92	–	–	–	–
«Р»	Группа пациентов, получавших МР	50	46,7	Р1	19	38
				Р2	12	24
				Р3	19	38
«О»	Группа пациентов, получавших МР и АК	57	53,3	О1	17	29,8
				О2	18	31,6
				О3	22	38,6

Сформированную базу данных пациентов включили в Государственный регистр информационного ресурса (регистрационное свидетельство № 1761816810 от 31 октября 2018 г).

Анализ и статистическую обработку полученных данных проводили в программном пакете STATISTICA 8.0.360 (StatSoft Inc., США) с серийным номером программы STA862D175437Q. Применяемые в исследовании методы статистического анализа включают базовую описательную статистику, классический анализ качественных и количественных данных, корреляционный анализ, кластерный и канонический анализ, анализ сравнения двух и более независимых и зависимых выборок, а также методы анализа данных линейных моделей при дисперсионном анализе, линейных регрессионных моделей зависимости между количественными переменными, нелинейных регрессий и модели факторного и дискриминантного анализа многомерных данных. Вместе с тем в исследовании применяли метод обучения нейронных сетей.

Результаты исследования и их обсуждение

Характеристика АДК в группе Н. В ходе выполнения статистического анализа первичных данных, отражающих состояние АДК группы Н, установлены несвязанные с антропометрическими и возрастными неопределенностями параметры: 1) ВАФ ТБС ($p > 0,1$) и КС ($p > 0,2$),

рассчитанные при выполнении ТФС; 2) СУД ТБС ($p > 0,01$), КС ($p > 0,08$) и ГС ($p > 0,08$) в сагиттальной плоскости, полученные при выполнении ТСС; 3) СУД ТБС ($p > 0,3$) во фронтальной плоскости, КС ($p > 0,2$) и ГС ($p > 0,2$), вычисленные при выполнении ТИС, а также 4) параметры ИК бедер (Б) ($p > 0,06$), ИК голеней (Г) ($p > 0,06$) и ИК стоп (С) ($p > 0,08$) в спектральных полосах 1–5, 6–10 и 11–15 Гц, зарегистрированные при выполнении ТПО. Далее параметры подвергались дисперсионному анализу, в результате чего были определены специфические маркеры АДК для каждого теста (таблица 3).

Таблица 3 – Результаты статистического анализа параметров, рассчитанных при выполнении кинематических тестов

Тесты/ Параметры	ТФС	ТСС	ТПО	ТИС	ТШЛ
ВАФКС ВАФТБС	$Chi^2 = 105$ $p < 0,001$	данные не релевантные			
СУДТБС СУДКС СУДГС	$Chi^2 = 1348$ $p < 0,001$	$Chi^2 = 1031$ $p < 0,001$	$Chi^2 = 1005$ $p < 0,001$	$Chi^2 = 1135$ $p < 0,001$	$Chi^2 = 1289$ $p < 0,001$
	$Chi^2 = 4981, p < 0,001$		данные не релевантные		
	$Chi^2 = 5346, p < 0,001$				данные не релевантные
	$Chi^2 = 9697, p < 0,001$				
ИКБ ИКГ ИКС	$Chi^2 = 4217$ $p < 0,001$	данные не релевантные	$Chi^2 = 8082$ $p < 0,001$	$Chi^2 = 6806,$ $p < 0,001$	$Chi^2 = 4969$ $p < 0,001$
	$Chi^2 = 15411, p < 0,001$			данные не релевантные	
	$Chi^2 = 22205, p < 0,001$				данные не релевантные
	$Chi^2 = 26722, p < 0,001$				

Исходя из статистически значимых результатов определено, что АДК во фронтальной плоскости при выполнении ТФС формирует паттерн боковых перемещений с маркерами ВАФ. АДК тела в сагиттальной плоскости при выполнении ТСС формирует паттерн дорзо-вентральных перемещений с маркерами СУД. АДК тела в условиях пространственной неопределенности при выполнении ТПО формирует паттерн согласованных пространственных перемещений с маркерами ИК. Полученные результаты имеют важное значение в формировании представлений об использовании средств и методов клинической биомеханики для оценки нарушений АДК. Также установлено, что маркерами АДК тела в условиях идентификации визуального стимула при выполнении ТИС являются СУД. Модель диагностики АДК человека, основанная на выполнении кинематических тестов ТФС, ТСС, ТПО и ТИС, обладает отличным качеством ($AUC > 0,94$, $p < 0,0001$) с точностью предсказания 73 % ($p < 0,0001$). Установлено, что для оценки результатов ТФС целесообразным биомеханическим маркером является ВАФ, для оценки результатов ТСС и ТИС – СУД ($p < 0,001$), а для оценки результатов ТПО – ИК ($p < 0,001$).

Особенности АДК в группе Р. Посредством применения разработанной математической модели анализа данных АДК рассчитали значения ключевых интегральных показателей (таблица 4).

Таблица 4 – Результаты параметров АДК в подгруппах Р1, Р2 и Р3 с уровнем статистически значимых различий

Параметр АДК	Подгруппа Р1		Подгруппа Р2		Подгруппа Р3	
НСГМ1	87,88 [89,37/83,69] %	$p < 0,01$	74,03 [78,31/71,59] %	$p < 0,01$	58,90 [63,56/ 51,16] %	$p < 0,01$
НСГМ2	87,63 [89,05/83,36] %		73,09 [76,44/69,77] %		55,73 [60,85/47,53] %	
ПВСГМ	0,38 [0,47/0,25] %		1,08 [1,33/0,81] %		3,1 [3,58/2,74] %	
	$p < 0,001$					
НСНК1	89,07 [89,75/86,98] %	$p < 0,01$	73,11 [76,83/66,18] %	$p < 0,01$	58,37 [59,02/49,47] %	$p < 0,01$
НСНК2	88,77 [89,49/87,20] %		72,39 [76,23/65,31] %		57,55 [58,21/48,19] %	
ПВСНК	0,31 [0,51/0,46] %		0,72 [0,87/0,59] %		1,08 [1,28/1,06] %	
	$p < 0,001$					

Специфические тенденции распределения интегральных показателей НСГМ1 ($p < 0,002$) и НСНК1 ($p < 0,004$) позволили выделить три ПФ ИГМ: 1) ПФ1 (НСГМ (87,88 [89,37/83,69] %), НСНК (89,07 [89,75/86,98] %)); 2) ПФ2 (НСГМ (74,03 [78,31/71,59] %), НСНК (73,11 [76,83/66,18] %)); 3) ПФ3 (НСГМ (58,90 [63,56/51,16] %), НСНК (58,37 [59,02/49,47] %)). При выделении ПФ ИГМ выделены пограничные значения ключевых интегральных показателей НСГМ1 и НСНК1. ПФ2 определяется при значении одного из показателей в пределах 75–60 % (НСГМ1 (74,03 [78,31/71,59] %), НСНК1 (73,11 [76,83/66,18] %)), ПФ1 – при значении, превышающем 75 % (НСГМ1 (87,88 [89,37/83,69] %), НСНК1 (89,07 [89,75/86,98] %)), а ПФ3 – при значении менее 60 % (НСГМ1 (58,90 [63,56/51,16] %), НСНК1 (58,37 [59,02/49,47] %)). Полученные данные характеризуют особенности АДК пациентов, перенесших ИГМ, и демонстрируют при этом клинические возможности биомеханического анализа, связанные с диагностикой трех ПФ заболевания по критериям НСГМ и НСНК. При этом специфическим паттерном АДК для ПФ1 является отсутствие статистически значимых отличий между показателями НСГМ1 и НСНК1 ($p > 0,08$), в то время как для ПФ2 ($p < 0,005$) и ПФ3 ($p = 0,01$) значения НСГМ1 достоверно превышают значения НСНК1. Для диагностики ПФ также могут применяться данные клинических шкал (таблица 5).

Согласно представленным данным ПФ1 устанавливается при значениях ИБ1 менее 33 ($p = 0,012$) и ШФМ1 менее 48 ($p < 0,001$), ПФ2 – при значении МИМР менее 14 ($p = 0,003$), а ПФ3 – при значении 10МТХ1 более 2 ($p < 0,001$).

Таблица 5 – Результаты анализа данных клинических шкал в подгруппах P1, P2 и P3 до и после проведения МР с уровнем статистически значимых различий

Клиническая шкала	Значения клинических шкал в баллах				
	Подгруппа P1	Подгруппа P2	Подгруппа P3	Подгруппы P1 и P2	Подгруппы P2 и P3
ИБ1	20 [25/15]	30 [37/20]	45 [60/30]	$p < 0,01$	$p > 0,05$
	$p < 0,001$				
ИБ2	35 [40/35]	45 [50/40]	55 [75/45]	$p > 0,05$	
	$p < 0,001; R = 0,672$				
МИМР1	12 [15/7]	12 [15/8]	17 [20/14]	$p > 0,05$	$p < 0,004$
	$p < 0,001$				
МИМР2	17 [18/15]	17 [19/16]	22 [24/19]	$p > 0,05$	
	$p < 0,002; R = 0,842$				
СШИ1	27 [31/25]	31 [35/27]	36 [40/34]	$p > 0,05$	
	$p < 0,001$				
СШИ2	34 [36/30]	35 [39/33]	42 [45/37]	$p > 0,05$	
	$p > 0,05$				
10МТХ1	0 [0/0]	0 [0/0]	1 [2/1]	$p > 0,05$	$p < 0,001$
	$p < 0,001$				
10МТХ2	1 [1/0]	1 [1/0]	3 [4/2]	$p > 0,05$	
	$p < 0,001; R = 0,776$				
ШФМ1	48 [53/46]	57 [60/56]	56 [60/51]	$p < 0,001$	$p > 0,05$
	$p < 0,001$				
ШФМ2	57 [59/55]	66 [67/61]	62 [66/60]	$p > 0,05$	
	$p < 0,001; R = 0,648$				
СНОШ	9,76 [11,55/7,49]	10,28 [13,14/8,65]	11,05 [12,74/8,14]	$p < 0,001$	$p < 0,001$
	$p < 0,001$				

Анализ влияния МР на динамику ИГМ. Полученные данные АДК для каждой подгруппы пациентов с ПБФ1, ПБФ2 и ПБФ3 демонстрируют статистически значимые различия (таблица 4). У пациентов подгруппы P1 после проведения МР определили значения интегральных показателей НСГМ2 (87,63 [89,05/83,36] %) и НСНК2 (88,77 [89,49/87,20] %) ($p < 0,001$). При их сравнении с аналогичными показателями, рассчитанными до проведения МР, установили значения интегральных параметров ПВСГМ (0,38 [0,47/0,25] %) и ПВСНК (0,31 [0,51/0,46] %) ($p < 0,001$). У пациентов подгруппы P2 после проведения МР определили значения интегральных показателей НСГМ2 (73,09 [76,44/69,77] %), НСНК2 (72,39 [76,23/65,31] %), а также релевантной ПБФ2 клинической шкалы МИМР2 (17,50 [19,00/16,50]). При сравнении показателей АДК до начала МР и после ее завершения в исследуемой подгруппе установили значения ключевых интегральных показателей АДК: ПВСГМ (1,08 [1,33/0,81] %), ПВСНК (0,72 [0,87/0,59] %), СПОН(ТСС)1 (75,15 [78,24/68,39] %), СПОН(ТФС)1 (69,94 [75,92/64,07] %), релевантной клинической шкалы МИМР(НО) (18,75 [21,25/10,00] %), а также

интегрального показателя клинического тестирования СНОШ (10,28 [13,14/8,65] %). При проведении статистического анализа выявили, что для прогнозирования эффективности МР целесообразно ($p < 0,05$) использование показателей СПОН(ТСС)1 и СПОН(ТФС)1, более высокие значения которых (более 64 %) определяют худшие результаты МР в виде низкого ПВСНК. Вместе с тем для оценки эффективности МР статистически значимым ($p < 0,001$) является использование параметра НСНК2, меньшие значения которого определяют лучшие результаты ПВСНК. У пациентов подгруппы Р3 после проведения МР определили значения интегральных показателей НСГМ2 (55,73 [60,85/47,53] %), НСНК2 (57,55 [58,21/48,19] %), а также релевантной ПФФ3 клинической шкалы 10МТХ2 (3 [4/2]). При сравнении показателей АДК до начала МР и после ее завершения установлены значения ключевых интегральных показателей АДК ПВСГМ (3,1 [3,58/2,74] %), ПВСНК (1,08 [1,28/1,06] %), СПОН(ТИС)1 (55,39 [61,34/48,92] %), СПОН(ТПО)1 (61,7 [66,25/54,84] %), релевантной клинической шкалы 10МТХ(НО) (14,29 [28,57/14,29] %), а также интегрального показателя клинического тестирования СНОШ (11,05 [12,74/8,14] %). Установлено, что для прогнозирования эффективности МР статистически целесообразно ($p < 0,001$) использование показателей СПОН(ТИС)1 и СПОН(ТПО)1, более высокие значения которых определяют низкие значения ПВСГМ. Вместе с тем для оценки эффективности МР статистически целесообразно ($p < 0,001$) использование параметров 10МТХ(НО), НСНК2 и НСГМ2, меньшие значения которых определяют более высокие результаты СНОШ, ПВСНК и ПВСГМ соответственно.

Исходя из представленных данных, в ходе проведения МР усматриваются следующие закономерности динамики АДК. Так, для прогнозирования эффективности МР статистически целесообразно ($p < 0,001$) использование показателя СПОН(ТИС)1, более высокие значения которого определяют более низкий результат МР в виде ПВСГМ. Вместе с тем для оценки эффективности МР статистически целесообразно ($p = 0,03$) использование параметра ИБ(НО), более высокие значения которого определяют лучшие результаты СНОШ. В то же время при анализе переменной «длительность госпитализации» установили особенность влияния МР пациентов с ИГМ на динамику восстановления нарушений двигательных функций. Согласно полученным результатам длительность госпитализации не зависит ($p < 0,7$) от установленного ПФФ, что указывает на отсутствие специфических подходов МР ИГМ в зависимости от нарушений АДК.

Исследование влияния разработанного метода АК на динамику восстановления двигательных нарушений. В ходе проведения исследования установили, что для оценки эффективности МР обоснованным является применение статистически значимого ($p < 0,003$) и независимого от

результатов клинического тестирования ($p < 0,9$) критерия Δ СПОН. Значение Δ СПОН в подгруппе О1 составило 0,40 [0,40/0,30] %, в подгруппе О2 – 0,80 [1,10/0,70] %, а в подгруппе О3 – 1,20 [1,30/1,10] % (таблица 6).

Таблица 6 – Результаты анализа интегральных показателей СПОН (ТФС) и Δ СПОН в подгруппах Р1, Р2, Р3, О1, О2 и О3 с уровнем статистически значимых различий

Подгруппы	СПОН (ТФС)1	СПОН(ТФС)2	Δ СПОН	
Подгруппа Р1	89,49 [91,04/87,20] %	89,25 [90,83/86,90] %	0,24 [0,3/0,2] %	$p = 0,021$;
Подгруппа О1	89,90 [91,20/86,10] %	89,60 [90,90/85,80] %	0,40 [0,40/0,30] %	$R > 0,6$
Подгруппа Р2	69,94 [75,92/64,07] %	69,27 [75,40 63,26] %	0,68 [0,81/0,54] %	$p = 0,022$;
Подгруппа О2	68,30 [77,50/66,20] %	67,50 [76,80/65,50] %	0,80 [1,10/0,70] %	$R > 0,6$
Подгруппа Р3	58,90 [59,81/45,24] %	58,13 [60,59/44,06] %	0,9 [1,2/0,86] %	$p = 0,02$;
Подгруппа О3	58,75 [61,30/55,20] %	57,75 [60,00/54,00] %	1,20 [1,30/1,10] %	$R > 0,6$
Подгруппы Р1, Р2, Р3	$N = 32,17544$; $p < 0,001$	$N = 55,22131$; $p > 0,05$	$N = 75,74$; $p < 0,001$	

Значения Δ СПОН статистически различимы в связанных подгруппах. При этом математическая модель оценки эффективности проводимой МР ИГМ, основанная на использовании показателя Δ СПОН, обладает высоким качеством ($AUC = 0,92$). Статистическая значимость параметра СПОН (ТФС) в формировании показателя Δ СПОН продемонстрирована в результате проведения кластерного анализа переменных, вычисляемых при оценке АДК, где усматриваются два кластера с показателем СПОН (ТФС), оказывающим наибольшее влияние на формирование 15 древовидных связей.

Для персонифицированного выбора программы АК выполнили спецификацию алгоритма: блок АК1 назначается при условии регистрации значения ИБ1 менее 31 балла, блок АК2 – при условии регистрации значения интегрального параметра СПОН (ТФС)1 более 64,01 %, а блок АК3 – при условии регистрации значения СПОН (ТФС)1 64 % и менее.

В целях оценки качества эффективности МР в группе Р, основанной на использовании показателя Δ СПОН, применили программу автоматического обучения нейронных сетей в режиме классификации. В результате установили площадь под кривой (AUC), равную 0,93, с порогом отсечения 0,6. Полученные в ходе ROC-анализа данные указывают на отличное качество анализируемой модели. При этом интегральный показатель Δ СПОН обладает высокой чувствительностью и может быть использован в качестве критерия оценки эффективности МР. Динамика распределения показателя демонстрирует статистические различия в связанных парах (рисунок 4).

При проведении парных сравнений установили статистическую несостоятельность сформулированных нулевых гипотез в отношении параметра Δ СПОН в следующих связанных парах: 1) паре подгрупп О1 и Р1 ($p = 0,021313$); 2) паре подгрупп О2 и Р2 ($p = 0,021740$); 3) паре подгрупп О3

и P3 ($p = 0,020432$). При этом достоверно более высокие значения показателя ΔСПОН зафиксированы в подгруппах O1, O2 и O3 ($R > 0,6$) ($p < 0,001$).

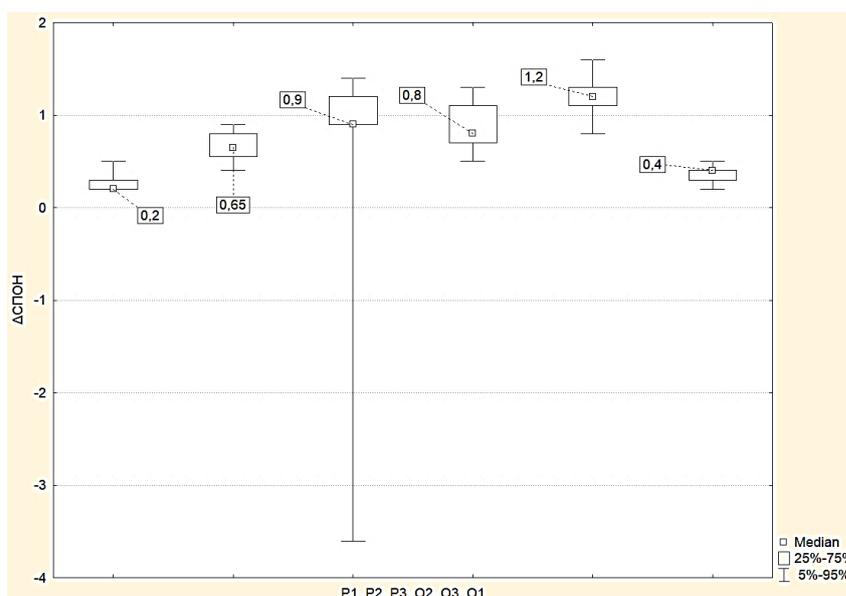


Рисунок 4 – Диаграмма распределения значений (шкала ординат) показателя ΔСПОН (шкала абсцисс) в зависимости от подгруппы: P1, P2, P3, O2, O3, O1 (слева направо) (95 %, UQ, Me, LQ, 5 %)

Полученные данные указывают на лучшую динамику восстановления нарушений АДК при условии дополнения МР методом АК, что статистически подтверждается более высокими значениями показателя ΔСПОН ($p < 0,03$) в подгруппах O1, O2 и O3.

При статистическом анализе результатов клинических шкал методом парных сравнений (рисунок 5) установлены особенности распределения нормализованных отношений.

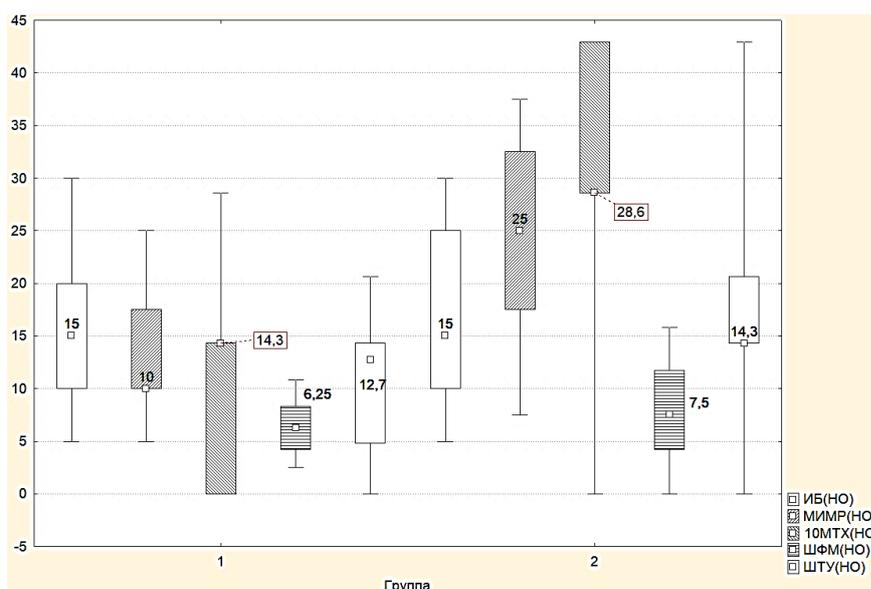


Рисунок 5 – Диаграмма распределения нормализованных отношений (шкала ординат) клинических шкал в зависимости от группы: 1 – группа P; 2 – группа O (шкала абсцисс) (95 %, UQ, Me, LQ, 5 %)

Полученные данные указывают на лучшую динамику восстановления уровня повседневной активности ($p < 0,006$), мобильности ($p < 0,001$), функции стереотипа походки ($p < 0,001$), а также уровня усталости ($p < 0,001$) при условии дополнения МР методом АК, что статистически подтверждается большими значениями соответствующих показателей ИБ(НО), МИМР(НО), 10МТХ(НО) и ШТУ(НО) в группе О.

При составлении модели логистической регрессии зависимости переменной ΔСПОН от варианта МР установлена статистически значимая закономерность ($Chi^2 = 9,3082$, $p < 0,003$), согласно которой в группе О вероятность достижения лучших результатов восстановления НСДФ в 4 раза больше по сравнению с группой Р при отношении шансов, равном 4,03 (95 % ДИ 1,44–11,24). Согласно модели логистической регрессии установлены следующие вероятности достижения статистически лучших результатов в восстановлении НСДФ при больших значениях показателя ΔСПОН в связанных парах подгрупп Р1 и О1, Р2 и О2, а также Р3 и О3, при дихотомическом ранжировании полученного результата (положительный результат принимался во внимание при значении ΔСПОН более 0,3 для подгрупп Р1 и О1, более 0,6 для подгрупп Р2 и О2 и более 0,9 для подгрупп Р3 и О3): 1) в подгруппе О1 ($Chi^2 = 5,4861$, $p < 0,02$) в 5 раз выше по сравнению с подгруппой Р1 при отношении шансов, равном 5,1 (95 % ДИ 1,17–22,51); 2) в подгруппе О2 ($Chi^2 = 5,6014$, $p < 0,02$) в 8 раз выше по сравнению с подгруппой Р2 при отношении шансов, равном 8,1 (95 % ДИ 1,15–55,61); 3) в подгруппе О3 ($Chi^2 = 8,9760$, $p < 0,003$) в 8 раз выше по сравнению с подгруппой Р3 при отношении шансов, равном 7,71 (95 % ДИ 1,76–33,72). Полученные данные демонстрируют статистически значимое ($p < 0,003$) положительное влияние АК на динамику восстановления НСДФ у пациентов с различными ПБФ ИГМ. При этом АК повышает эффективность МР ИГМ у пациентов с ПБФ1 ($p < 0,02$) в 5 раз, а у пациентов с ПБФ2 ($p < 0,02$) и ПБФ3 ($p < 0,003$) – в 8 раз, на что указывают значения интегрального показателя оценки клинической эффективности МР ΔСПОН.

При построении регрессионной модели влияния возраста пациента на параметр ΔСПОН в группе О и ее анализе установили коэффициент детерминации R^2 , равный 0,6161557 ($F = 3,6114$, $p < 0,0623$), что определило принятие во внимание нулевой гипотезы об отсутствии взаимосвязей между изучаемыми признаками. Также нулевая гипотеза принималась при составлении регрессионной модели влияния срока госпитализации пациента на параметр ΔСПОН в группе О, где наблюдается неравномерная дисперсия, при коэффициенте детерминации R^2 , равном 0,03074542 ($F = 1,7446$, $p < 0,19202$). Отсутствие прогностической связи между возрастом пациента и сроком госпитализации установили на основании регрессионной модели при коэффициенте детерминации $R^2 = 0,00100334$ ($F = 0,05524$, $p < 0,81506$).

В целях оценки качества модели объективной оценки эффективности АК в группе О, основанной на использовании показателя ΔСПОН, применили программу автоматического обучения нейронных сетей. В результате установили площадь под кривой (AUC), равную 0,92, с порогом отсечения 0,6. Полученные в ходе ROC-анализа данные для пациентов группы О указывают на соответствие анализируемой модели отличному качеству и являются сопоставимыми с аналогичными данными для группы Р.

Таким образом, АК является эффективным методом восстановления нарушений двигательных функций на всем протяжении госпитализации. Оценка клинической эффективности МР пациентов с ИГМ, основанная на применении критерия ΔСПОН, демонстрирует отличное качество разработанной прогностической модели. Сформулировали определение нового направления МР, согласно которому АК является методом персонализированной МР пациентов с нарушениями НСДФ, направленным на формирование эффективных двигательных приспособительных реакций в условиях специфической средовой аугментации. Персонализация АК достигается за счет подбора индивидуальной реабилитационной программы по установленному ПБФ. Средовая аугментация заключается в создании искусственных (облегчающих либо отягощающих) динамически меняющихся условий внешней среды, способных оказывать влияние на перцепцию собственной двигательной активности при выполнении отдельных и многоплановых задач.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Объективная оценка адаптивной кинематики здоровых лиц основывается на анализе биомеханических данных, полученных в ходе последовательного выполнения четырех двигательных тестов, связанных с разноплановыми перемещениями тела: тест «фронтальная стабильность» ($p < 0,001$), тест «сагиттальная стабильность» ($p < 0,001$), тест «пространственная ориентация» ($p < 0,001$) и тест «идентификация стимула» ($p < 0,001$). Полученные в ходе анализа биомеханические показатели адаптивной кинематики не зависят ($p < 0,001$) от колебаний возраста и антропометрических переменных и представлены соответственно для левой и правой сторон: 1) временем активной фазы тазобедренного (4,4 [8,2/3,5] с, 13,5 [14,8/11,6] с) и коленного суставов (8,1 [9,5/4,8] с, 3,6 [4,0/3,1] с) – для теста «фронтальная стабильность» ($p < 0,001$); 2) средней угловой девиацией тазобедренных (37,4 [41,7/35,8]°, 32,2 [35,1/29,5]°), коленных (22,8 [24,8/20,8]°, 27,6 [30,2/25,2]°) и голеностопных суставов (10,8 [11,7/9,8]°, 14,0 [15,2/12,7]°) –

для теста «сагиттальная стабильность» ($p < 0,001$), а также тазобедренных ($28,1 [31,7/26,8]^\circ$, $23,2 [25,3/21,2]^\circ$), коленных ($18,5 [20,2/16,8]^\circ$, $22,6 [24,6/20,5]^\circ$) и голеностопных суставов ($8,9 [9,7/8,1]^\circ$, $11,4 [12,4/10,4]^\circ$) – для теста «идентификация стимула» ($p < 0,001$); 3) инерциальной кинематикой (для спектральных полос: 1–5, 6–10 и 11–15 Гц, соответственно левой и правой сторон) бедер ($3,5 [4,0/3,2]$, $14,3 [15,9/13]$, $18,5 [20,1/16,9]$, $3,6 [3,8/3,3]$, $14,2 [15,6/13]$, $18,7 [20,9/17]$ рад/с²), голени ($0,7 [0,8/0,7]$, $2,2 [2,4/2]$, $3,5 [4,0/3,2]$, $1,4 [1,6/1,3]$, $3,8 [4,1/3,4]$, $6,2 [6,9/5,6]$ рад/с²) и стоп ($1 [1/0,9]$, $3,4 [3,8/3,1]$, $4,7 [5,1/4,3]$, $1,1 [1,2/1]$, $3,3 [3,7/3]$, $5,5 [6/5]$ рад/с²) – для теста «пространственная ориентация» ($p < 0,001$). Разработанная диагностическая модель при выявлении нарушений адаптивной кинематики демонстрирует отличное качество (AUC = 0,94) ($p < 0,001$) [1–А, 4–А, 5–А, 7–А, 11–А, 13–А, 15–А, 17–А, 18–А, 20–А – 26–А, 28–А, 31–А, 44–А, 45–А].

2. Объективная диагностика нарушений адаптивной кинематики у пациентов с ИГМ основывается на вычислении показателей времени активной фазы при выполнении теста «фронтальная стабильность» ($p < 0,001$), средней угловой девиации – при выполнении теста «сагиттальная стабильность» ($p < 0,001$) и теста «идентификация стимула» ($p < 0,001$), а также показателей инерциальной кинематики, рассчитанных при выполнении теста «пространственная ориентация». На основании полученных данных, после их сравнения с редуцированными на 25 % значениями медиан аналогичных переменных группы здоровых лиц, для каждого теста рассчитывается процент отклонения от нормы, который, после умножения на коэффициент участия облегчающих факторов, определяет средний процент отклонения от нормы [1–А, 3–А – 5–А, 7–А, 13–А, 15–А, 19–А, 20–А – 23–А, 27–А, 40–А, 44–А, 45–А].

В группе пациентов с ИГМ, в сравнении с группой здоровых лиц, при выполнении двигательных тестов установлены меньшие по значению ($p < 0,001$) показатели адаптивной кинематики. Также установлены значения среднего процента отклонения от нормы при выполнении теста «фронтальная стабильность» ($p < 0,001$), теста «сагиттальная стабильность» ($p < 0,001$), теста «идентификация стимула» ($p < 0,001$) и теста «пространственная ориентация» ($p < 0,001$), равные соответственно: $69,94 [88,72/59,01] \%$, $75,15 [87,64/58,31] \%$, $75,02 [85,64/56,60] \%$ и $73,45 [84,47/64,63] \%$. Значения показателей среднего процента отклонения от нормы формируют два интегральных параметра адаптивной кинематики: 1) нарушение двигательных синкинезий, обусловленных функциями головного мозга ($74,03 [85,47/60,19] \%$), рассчитанного как средняя арифметическая величина между средним процентом отклонения от нормы для теста «пространственная ориентация» и теста «идентификация стимула»,

2) нарушение двигательных синкинезий нижних конечностей (73,11 [88,24/58,86] %), рассчитанного аналогичным образом для теста «фронтальная стабильность» и теста «сагиттальная стабильность». Разработанная модель демонстрирует отличное качество для выполнения задач по диагностике нарушений адаптивной кинематики с точностью предсказания 73 % ($p < 0,0001$) 1,73 (95 % ДИ 1,28–2,73): тест «фронтальная стабильность» (AUC = 0,99), тест «сагиттальная стабильность» (AUC = 0,94), тест «пространственная ориентация» (AUC = 0,99) и тест «идентификация стимула» (AUC = 0,98) [13–А, 15–А, 19–А, 26–А].

3. Стандартизированные условия проведения МР пациентов с ИГМ достигаются посредством равноценного применения в различных блоках упражнений адаптивной кинезитерапии, дистанционно управляемых реабилитационных комплексов: 1) аппаратно-программного комплекса нейромышечной активации и оценки кинематики ($p > 0,7$), 2) роботизированного комплекса стационарной кинезитерапии ($p > 0,5$), 3) передвижной антигравитационной рамы поддержки шаговой локомоции ($p > 0,7$). Аппаратно-программный комплекс нейромышечной активации и оценки кинематики состоит из модуля нейромышечной электростимуляции и модуля анализа движений, позволяющих реализовывать методику функциональной реципрокной нейромышечной электростимуляции. Нейромышечная активация достигается за счет поочередной подачи на мышечные группы антагонистов туловища и нижних конечностей дискретных электрических импульсов. Сочетанное применение нейромышечной активации и анализа движений позволяет выбирать момент запуска электростимуляции в зависимости от положения нижней конечности в пространстве. Роботизированный комплекс стационарной кинезитерапии выполнен в виде роботизированного комплекса стационарной кинезитерапии, состоящего из модуля антигравитационной поддержки и модуля привода конечностей, позволяющих реализовывать методику адаптивной механотерапии в пассивном и активно-пассивном режимах. Передвижная антигравитационная рама поддержки шаговой локомоции состоит из модуля антигравитационной поддержки и модуля привода ног, позволяющих выполнять методику тренировки динамических координаций, а также обеспечивать стандартизацию проведения адаптивной кинезитерапии пациентов с патологической походкой за счет антигравитационной поддержки тела, управляемого (роботизированного) подъема и ограничителей нижних конечностей [1–А – 4–А, 6–А – 10–А, 13–А, 18–А – 20–А, 25–А, 34–А – 39–А, 43–А, 46–А – 49–А].

4. Нарушения адаптивной кинематики в клинически однородной группе пациентов с ИГМ имеют статистически значимые различия ($p < 0,001$), что позволяет диагностировать три патобиомеханические

фенотипа заболевания по двум интегральным маркерам адаптивной кинематики: нарушению двигательных синкинезий, обусловленных функциями головного мозга ($p < 0,002$) и нарушению двигательных синкинезий нижних конечностей ($p < 0,004$). Установлено, что патобиомеханический фенотип 1 характеризуется неразличимыми ($p > 0,07$) значениями показателей нарушения двигательных синкинезий, обусловленных функциями головного мозга (87,88 [89,37/83,69] %) и нарушения двигательных синкинезий нижних конечностей (89,07 [89,75/86,98] %). В то время как специфическая картина адаптивной кинематики пациентов, имеющих патобиомеханический фенотип 2 и патобиомеханический фенотип 3, определяется соответственно большими результатами показателя нарушения двигательных синкинезий, обусловленных функциями головного мозга (74,03 [78,31/71,59] % ($p < 0,005$), 73,11 [76,83/66,18] % ($p < 0,01$)) в сравнении с показателем нарушения двигательных синкинезий нижних конечностей (58,90 [63,56/51,16] %, 58,37 [59,02/49,47] %) [13–А, 14–А, 19–А, 26–А, 29–А].

Установлено, что анализ показателей нарушения двигательных синкинезий, обусловленных функциями головного мозга, и нарушения двигательных синкинезий нижних конечностей совместно с результатами клинического тестирования позволяет выполнять диагностику нарушений адаптивной кинематики по патобиомеханическим фенотипам. Согласно разработанным критериям принадлежность пациента к патобиомеханическому фенотипу 1 определяется при значениях одного из маркеров адаптивной кинематики более 75 % ($p < 0,005$), значении индекса Бартел менее 31 балла ($p < 0,02$) и (или) результатов тестирования по шкале Фугл–Мейера менее 48 баллов ($p < 0,001$). В случае распределения маркеров в диапазоне от 60 до 75 % и (или) значении модифицированного индекса мобильности Ривермид менее 14 баллов ($p < 0,004$) устанавливается патобиомеханический фенотип 2. При регистрации значений показателей нарушения двигательных синкинезий, обусловленных функциями головного мозга и (или) нарушения двигательных синкинезий нижних конечностей менее 60 % ($p < 0,01$), и (или) результатов выполнения 10-метрового теста ходьбы, превышающих 2 балла ($p < 0,001$), диагностируется патобиомеханический фенотип 3 [13–А, 14–А, 19–А, 26–А].

5. Адаптивная кинезитерапия состоит из циклически повторяющихся и равномерно встречающихся упражнений, сгруппированных по трем блокам, основанным на использовании методик мануальной кинезитерапии ($p > 0,3$), функциональной реципрокной нейромышечной электростимуляции ($p > 0,8$), методики адаптивной механотерапии ($p > 0,5$) и тренировки динамической координации ($p > 0,8$). Выбор блока адаптивной кинезитерапии осуществляется в зависимости от патобиомеханического

фенотипа ИГМ. Упражнения адаптивной кинезитерапии, выполняемые в стандартизированных условиях, при взаимодействии с реальными объектами и ориентированностью на достижение реальных результатов, повышают эффективность МР пациентов с ИГМ ($p < 0,003$) в 4 раза (отношение шансов 4,03 (95 % ДИ 1,44–11,24)) [1–А, 2–А, 6–А, 8–А, 10–А – 12–А, 14–А, 16–А, 24–А, 26–А, 40–А, 42–А, 50–А, 51–А].

Первый блок адаптивной кинезитерапии включает: УТСБ ($p > 0,8$), УДРБ ($p > 0,8$), УДМГС ($p > 0,5$), УШЛ ($p > 0,7$), УСКТС ($p > 0,5$), УДПТ ($p > 0,3$) и УПЗБ ($p > 0,5$). Уникальными упражнениями данного блока являются УДМГС, УСКТС и УДПТ. Второй блок адаптивной кинезитерапии включает: УТСБ ($p > 0,8$), УДРБ ($p > 0,8$), УПЗБ ($p > 0,5$), УФБ ($p > 0,8$), УАП1 ($p > 0,6$), УАП2 ($p > 0,5$), УШЛ ($p > 0,7$) и УДВ ($p > 0,5$). УДВ является уникальным упражнением блока. Третий блок адаптивной кинезитерапии состоит из: УФБ ($p > 0,8$), УАП1 ($p > 0,6$), УАП2 ($p > 0,5$), УШЛ ($p > 0,7$) и уникальных для данного блока УБШ ($p > 0,4$), УШО ($p > 0,4$), УПО ($p > 0,5$) и УИС ($p > 0,4$). Каждый блок упражнений имеет свою специфическую направленность: первый блок упражнений оказывает влияние на суставную кинематику, второй – на баланс тела, а третий – на динамическую координацию. Упражнения каждого блока сгруппированы по пяти тренировочным дням, которые повторяются циклически. Блок адаптивной кинезитерапии 1 представлен следующей последовательностью упражнений: 1 день – УТСБ, УДРБ, УДМГС, УШЛ; 2 день – УСКТС, УДПТ, УПЗБ, УШЛ; 3 день – УТСБ, УДРБ, УДПТ, УПЗБ; 4 день – УТСБ, УДМГС, УДПТ, УШЛ; 5 день – УДРБ, УСКТС, УПЗБ, УШЛ. Упражнения блока адаптивной кинезитерапии 2 представлены следующей последовательностью: 1 день – УТСБ, УДРБ УПЗБ УФБ; 2 день – УФБ, УАП1, УАП2, УШЛ; 3 день – УТСБ, УДВ, УФБ, УШЛ; 4 день – УДРБ, УФБ, УАП2, УШЛ; 5 день – УТСБ, УДВ, УАП1, УШЛ. Цикл программы третьего блока: 1 день – УФБ, УАП1, УАП2, УБШ, УШЛ; 2 день – УФБ, УБШ, УШО, УШЛ; 3 день – УАП1, УШО, УПО, УИС; 4 день – УФБ, УАП2, УБШ, УШЛ, УПО; 5 день – УАП1, УШО, УШЛ, УПО, УИС [1–А, 2–А, 6–А, 8–А, 10–А – 12–А, 16–А, 26–А, 40–А].

6. МР пациентов с патобиомеханическим фенотипом 1 ИГМ способствует улучшению адаптивной кинематики за счет снижения ($p < 0,001$) значений интегрального маркера нарушения двигательных синкинезий, обусловленных функциями головного мозга с 87,88 [89,37/83,69] до 87,63 [89,05/83,36] % при результирующем значении процента восстановления двигательных синкинезий, обусловленных функциями головного мозга, равном 0,38 [0,47/0,25] %. Установлено, что в ходе проведения МР у пациентов с патобиомеханическим фенотипом 1 отмечается положительная клиническая динамика, обусловлена повышением уровня повседневной активности ($p < 0,0002$) при росте индекса

Бартел с 20 [25/15] до 35 [40/35] баллов, и улучшением двигательных функций нижних конечностей ($p < 0,0001$) при росте баллов по шкале Фугл–Мейера с 48 [53/46] до 57 [59/55]. У пациентов с патобиомеханическим фенотипом 2 МР улучшает ($p < 0,002$) адаптивную кинематику за счет снижения значений показателей нарушения двигательных синкинезий, обусловленных функциями головного мозга с 74,03 [78,31/71,59] до 73 [76,44/69,77] % и нарушения двигательных синкинезий нижних конечностей ($p < 0,002$) с 73,11 [76,83/66,18] до 72,39 [76,23/65,31] %, при значении процента восстановления двигательных синкинезий, обусловленных функциями головного мозга и процента восстановления двигательных синкинезий нижних конечностей, равных 1,08 [1,33/0,81] и 0,72 [0,87/0,59] % соответственно. Вместе с тем установлено, что МР оказывает положительное влияние на уровень мобильности ($p < 0,001$) при росте значений модифицированного индекса мобильности Ривермид с 12 [15/8] до 17,5 [19,0/16,5] баллов. В ходе МР пациенты с патобиомеханическим фенотипом 3 демонстрируют улучшение адаптивной кинематики за счет снижения значений показателей нарушения двигательных синкинезий, обусловленных функциями головного мозга ($p < 0,0001$) с 58,9 [63,56/51,16] до 55,73 [60,85/47,53] % и нарушения двигательных синкинезий нижних конечностей ($p < 0,0008$) с 58,37 [59,02/49,47] до 57,55 [58,21/48,19] %, при результирующих значениях показателей процента восстановления двигательных синкинезий, обусловленных функциями головного мозга и процента восстановления двигательных синкинезий нижних конечностей, равных 3,1 [3,58/2,74] и 1,08 [1,28/1,06] % соответственно. По результатам 10-метрового теста ходьбы установлено, что МР способствует восстановлению функции ходьбы ($p < 0,001$) с 1 [2/1] до 3 [4/2] баллов. Вне зависимости от длительности госпитализации ($p > 0,7$), лучшие результаты МР прогностически ($p < 0,001$) связаны с меньшими значениями показателей среднего процента отклонения от нормы [1–А, 8–А, 9–А, 11–А, 12–А, 19–А, 22–А, 26–А, 40–А].

7. Алгоритм назначения адаптивной кинезитерапии основан на последовательном анализе индекса Бартел ($p < 0,001$) и показателя среднего процента отклонения от нормы в ходе выполнении теста «фронтальная стабильность» ($p < 0,001$). Так, при регистрации индекса Бартел менее 31 балла пациенту подбирается блок адаптивной кинезитерапии 1, при значении индекса Бартел, равного 31 баллу и более, анализируется средний процент отклонения от нормы при выполнении теста «фронтальная стабильность». Значение последнего параметра более 64,01 % регламентирует назначение блока адаптивной кинезитерапии 2. При значении среднего процента отклонения от нормы менее 64,01 % ($p < 0,001$) назначается блок адаптивной кинезитерапии 3 [6–А, 10–А – 12–А, 26–А, 27–А, 41–А, 50–А – 53–А].

Применение адаптивной кинезитерапии статистически значимо повышает эффективность МР пациентов с ИГМ ($p < 0,003$) с отношением шансов 4,03 (95 % ДИ 1,44–11,24), при положительной динамике маркера эффективности ΔСПОН: с 0,24 [0,3/0,2] до 0,4 [0,4/0,3] % ($p < 0,022$) – у пациентов с патобиомеханическим фенотипом 1, с 0,68 [0,81/0,54] до 0,8 [1,1/0,7] % ($p < 0,022$) – у пациентов с патобиомеханическим фенотипом 2, и с 0,9 [1,2/0,86] до 1,2 [1,3/1,1] % ($p < 0,021$) – у пациентов с патобиомеханическим фенотипом 3. Аналогичным образом адаптивная кинезитерапия оказывает положительное влияние на уровень повседневной активности ($p < 0,006$), мобильность ($p < 0,001$), функцию стереотипа походки ($p < 0,001$), а также уровень усталости ($p < 0,001$) [6–А, 8–А – 12–А, 16–А, 26–А, 40–А, 41–А].

Адаптивная кинезитерапия, вне зависимости от возраста ($p > 0,05$) и длительности госпитализации ($p > 0,1$), способствует повышению эффективности МР: 1) пациентов с патобиомеханическим фенотипом 1 ($p < 0,02$) при отношении шансов 5,1 (95 % ДИ 1,17–22,51), 2) пациентов с патобиомеханическим фенотипом 2 ($p < 0,02$) при отношении шансов 8,1 (95 % ДИ 1,15–55,61), 3) пациентов с патобиомеханическим фенотипом 3 ($p < 0,003$) при отношении шансов 7,71 (95 % ДИ 1,76–33,72). Разработанная диагностическая модель демонстрирует отличное качество при проведении оценки эффективности адаптивной кинезитерапии (AUC = 0,92) [1–А, 8–А – 12–А, 14–А, 26–А, 29–А, 30–А, 32–А, 33–А, 40–А, 41–А].

Таким образом, адаптивная кинезитерапия является методом персонафицированной медицинской реабилитации пациентов с инфарктом головного мозга, направленным на формирование эффективной адаптивной кинематики в стандартизированных условиях средовой аугментации [1–А, 2–А, 12–А, 26–А, 40–А, 41–А].

Рекомендации по практическому использованию результатов

1. Для врачей-реабилитологов, с целью прогнозирования эффективности восстановления нарушений адаптивной кинематики, рекомендуется проведение биомеханического анализа времени активной фазы тазобедренных и коленных суставов при выполнении теста «фронтальная стабильность» с последующим расчетом показателя среднего процента отклонения от нормы. Значения показателя менее 70 % предопределяет положительный результат проводимой МР [7–А, 11–А, 12–А, 14–А, 15–А, 17–А, 20–А].

2. Для врачей-неврологов, с целью расширения клинической семиотики ИГМ, а также для врачей-реабилитологов, с целью проведения персонафицированного подбора МР, рекомендуется использовать

диагностику заболевания по признаку нарушения адаптивной кинематики с выделением патобиомеханических фенотипов. Фенотипирование ИГМ возможно по результатам клинических шкал: патобиомеханический фенотип 1 соответствует значениям индекса Бартел менее 31 балла и (или) результатам тестирования по шкале Фугл–Мейера менее 48 баллов, патобиомеханический фенотип 2 соответствует значениям модифицированного индекса мобильности Ривермид менее 14 баллов, а патобиомеханический фенотип 3 – результатам 10-метрового теста ходьбы менее 2 баллов. При этом для пациентов с установленным патобиомеханическим фенотипом 1 могут быть рекомендованы упражнения адаптивной кинезитерапии без использования реабилитационных аппаратно-программных комплексов стационарной кинезитерапии и передвижной антигравитационной рамы поддержки шаговой локомоции. Для пациентов с патобиомеханическим фенотипом 2 могут быть рекомендованы упражнения адаптивной кинезитерапии, направленные на этапное сгибание и разгибание бедра, а также упражнения с перемещением тела во фронтальных и горизонтальных плоскостях. Для пациентов с патобиомеханическим фенотипом 3 рекомендуются упражнения адаптивной кинезитерапии с биологической обратной связью. Вместе с этим каждый блок упражнений может быть дополнен упражнениями с применением передвижной антигравитационной рамы поддержки шаговой локомоции [1–А, 2–А, 6–А – 12–А, 14–А, 15–А, 18–А – 20–А, 26–А, 27–А, 30–А, 31–А, 33–А, 40–А, 43–А, 45– А, 51–А – 54–А].

3. Упражнения адаптивной кинезитерапии рекомендуются к применению на различных этапах МР. На лечебно-реабилитационном этапе могут применяться упражнения блока АК1 (УТСБ, УДРБ, УДМГС, УСКТС, УДПТ, и УПЗБ). На этапе ранней стационарной МР рекомендовано назначение упражнений блоков АК1, АК2 и АК3 в зависимости от установленного патобиомеханического фенотипа ИГМ. На амбулаторном этапе могут быть рекомендованы упражнения блоков АК2 (УТСБ, УДРБ, УФБ, УАП1 и УАП2) и АК3 (УФБ, УАП1, УАП2, УБШ, УШО, УПО и УИС). На 4-м этапе рекомендуются упражнения АК, выполняемые в положении лежа, а также в вертикальном положении с внешней поддержкой – упражнения с осевыми и фронтальными перемещениями. На этапе поздней МР для пациентов с патобиомеханическим фенотипом 2 и патобиомеханическим фенотипом 3 могут выполняться упражнения соответствующих блоков АК2 и АК3 [6–А, 8–А – 10–А, 18–А – 20–А, 27–А, 30–А, 31–А, 33–А, 34–А, 43–А, 44–А, 51–А – 54–А].

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ

Монография

1–А. Лукашевич, В.А. Адаптивная кинезитерапия: теория и практика / В.А. Лукашевич. – Минск : Четыре четверти, 2021. – 236 с. ISBN 978-985-581-434-5.

Статьи в научных журналах

2–А. Лукашевич, В.А. Адаптивная кинезитерапия: инновационное направление восстановительной терапии двигательных нарушений, основанное на оптимизации управления системой пространственного ориентирования сложных локомоций человека / В.А. Лукашевич, А.П. Сиваков // Инновационные технологии в медицине. – 2015. – Т. 4, № 1. – С. 79-90.

3–А. Лукашевич, В.А. Сравнительная оценка степени трансформации двигательного стереотипа в условиях использования технологии «двухслойного экзоскелета» и среды виртуальной реальности / В.А. Лукашевич, А.П. Сиваков // Инновационные технологии в медицине. – 2015. – Т. 5-6, № 2-3. – С. 80-88.

4–А. Диагностические методы адаптивной кинезитерапии: видеоанализ девиаций тазового региона как метод объективизации специфических механизмов поддержания статической позы / В.А. Лукашевич, В.Е. Васюк, С.М. Манкевич, Д.А. Лукашевич // Инновационные технологии в медицине. – 2015. – Т. 4, № 4. – С. 10-21.

5–А. Метод оценки качественной структуры циклических локомоций в диагностике двигательных нарушений / В.А. Лукашевич, А.П. Сиваков, С.М. Манкевич, М.И. Тарасевич, М.Ю. Забаронок, Н.В. Хомич // Инновационные технологии в медицине. – 2016. Т. 4, № 3-4. – С. 5-12.

6–А. Лукашевич, В.А. Адаптивная кинезитерапия в ранней реабилитации пациентов с тяжелыми координаторно-двигательными дефектами / В.А. Лукашевич, С.М. Манкевич // Здоровоохранение. – 2017. – № 3. – С. 56-60.

7–А. Лукашевич, В.А. Оценка эффективности ранней реабилитации пациентов с тяжелыми координаторно-двигательными дефектами / В.А. Лукашевич // Здоровоохранение. – 2017. – № 4. – С. 66-70.

8–А. Лукашевич, В.А. Адаптивная кинезитерапия в реабилитации постинсультных пациентов с координаторными нарушениями / В.А. Лукашевич // Инновационные технологии в медицине. – 2017. – Т. 5, № 1-2. – С. 63-74.

9–А. Адаптивная кинезитерапия в комплексной реабилитации постинсультных пациентов / В.А. Лукашевич, В.В. Пономарев,

С.М. Манкевич, М.И. Тарасевич // Инновационные технологии в медицине. – 2018. – Т. 6, № 4. – С. 295-305.

10–А. Лукашевич, В.А. Адаптивная кинезитерапия в коррекции дефектов пространственного ориентирования у постинсультных пациентов / В.А. Лукашевич, В.В. Пономарев, М.И. Тарасевич // Наука и здравоохранение. – 2019. – Т. 21, № 3. – С. 108-115.

11–А. Метод оценки адаптивной кинематики в эксперименте постурального тестирования / В.А. Лукашевич, В.В. Пономарев, С.В. Губкин, В.Е. Мицкевич // Новости медико-биологических наук. – 2020. – Т. 20, № 2. – С. 6-15

12–А. Лукашевич, В.А. Классификация моторных нарушений после инфаркта мозга по признаку особенностей адаптивной кинематики / В.А. Лукашевич, В.В. Пономарев // Международный неврологический журнал. – 2020. – Т. 16, № 5. – С. 40-47.

13–А. Функциональная реципрокная нейромышечная электростимуляция в адаптивной кинезитерапии постинсультных пациентов / В.А. Лукашевич, В.В. Пономарев, М.И. Тарасевич, С.А. Живолупов // Наука и здравоохранение. – 2020. – Т. 22, № 3. – С. 80-88.

14–А. Новые возможности количественной оценки качественной структуры адаптивной кинематики / В.А. Лукашевич, В.В. Пономарев, С.В. Губкин, В.Е. Мицкевич, Н.А. Осипов // Медицинский журнал. – 2020. – № 4. – С. 69-77.

15–А. Оценка эффективности терапии пациентов с инфарктом головного мозга по данным адаптивной кинематики / В.А. Лукашевич, В.В. Пономарев, С.В. Губкин, М.И. Тарасевич // Новости медико-биологических наук. – 2022. – Т. 22, № 3. – С. 175-181.

16–А. Специфические паттерны адаптивной кинематики / В.А. Лукашевич, В.В. Пономарев, С.В. Губкин, М.И. Тарасевич, С.М. Манкевич // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. мед. навук. – 2023. – Т. 20, № 1. – С. 82-88.

17–А. Оценка двигательной адаптации здоровых лиц по данным пространственно-временной кинематики / В.А. Лукашевич, В.В. Пономарев, С.В. Губкин, М.И. Тарасевич, С.М. Манкевич // Докл. Нац. акад. наук Беларусі. – 2023. – Т. 67, № 1. – С. 51–58.

18–А. Лукашевич, В.А. Адаптивная кинезитерапия пациентов с инфарктом головного мозга / В.А. Лукашевич // Медицинские новости. – 2023. – № 3. – С. 61-66.

19–А. Лукашевич, В.А. Упражнения адаптивной кинезитерапии / В.А. Лукашевич // Здравоохранение. – 2023. – № 3. – С. 65-72.

20–А. Особенности течения инфаркта головного мозга под влиянием адаптивной кинезитерапии / В.А. Лукашевич, В.В. Пономарев, С.В. Губкин, М.И. Тарасевич, С.М. Манкевич, Е.О. Пономарёва, В.В. Ковалева, Д.А. Королевич, Н.П. Дражина, С.А. Алешкевич // Медицинский журнал. – 2023. – № 2. – С. 67-72.

Статьи в научных сборниках, материалы съездов, конференций, симпозиумов, конгрессов

21–А. Базовые аспекты формирования аугментации в современных тренирующих медицинских симуляторах / В.А. Лукашевич, А.П. Сиваков, Д.А. Давыдов, А.В. Хроменков, Н.М. Тарасевич // Медэлектроника-2014. Средства медицинской электроники и новые медицинские технологии : сб. науч. ст. VIII междунар. науч.-тех. конф., Минск, 10-11 декабря 2014 г. / БГУИР. – Минск, 2014. – С. 404-406.

22–А. Лукашевич, В.А. Патологические концепции формирования двигательных нарушений при некоторых неврологических заболеваниях / В.А. Лукашевич, С.М. Манкевич // Актуальные вопросы ведомственной медицины : материалы Республиканской науч.-практ. конф. с междунар. участием, Гродно, 12-14 ноября 2014 г. / ГрГМУ ; под ред. Л.А. Пироговой. – Гродно, 2014. – С. 167-175.

23–А. Лукашевич, В.А. Научные основы адаптивной кинезитерапии / В.А. Лукашевич, А.П. Сиваков, С.М. Манкевич // Организация работы многопрофильной клинической больницы на современном этапе : материалы науч.-практ. конф., посвященной 30-летию УЗ «10-я многопрофильная клиническая больница», Минск, 28 мая 2015 г. / УЗ «10-я многопрофильная клиническая больница» ; под ред. В.П. Исачкина. – Минск, 2015. – С. 316-321.

24–А. Перспективность изучения пространственных девиаций тазового региона в оценке статической устойчивости вертикальной позы / В.А. Лукашевич, В.Е. Васюк, С.М. Манкевич, Д.А. Лукашевич // Медэлектроника-2015. Средства медицинской электроники и новые медицинские технологии: сб. науч. ст. IX междунар. науч.-тех. конф., Минск, 4-5 декабря 2015 г. / БГУИР. – Минск, 2015. – С. 118-119.

25–А. Лукашевич, В.А. Адаптивная кинезитерапия: технические инновации / В.А. Лукашевич // Доклады БГУИР. – 2016. – № 7. – С. 9-15.

26–А. Лукашевич, В.А. Концептуальный подход в оценке эффективности пространственной ориентации / В.А. Лукашевич // Доклады БГУИР. – 2016. – № 7. – С. 16-20.

27–А. Лукашевич, В.А. Методические аспекты адаптивной кинезитерапии / В.А. Лукашевич // Современные аспекты прикладной кинезиологии в спортивной медицине: сб. науч. ст. междунар. науч.-практ.

конф., Пинск, 15-16 апреля 2016 г. / Полесский государственный университет. – Пинск, 2016. – С. 33-36.

28–А. Лукашевич, В.А. Выделение целенаправленных и нецеленаправленных движений в структуре циклических локомоций / В.А. Лукашевич, М.И. Тарасевич // Современные аспекты прикладной кинезиологии в спортивной медицине: сб. науч. ст. междунар. науч.-практ. конф., Пинск, 15-16 апреля 2016 г. / Полесский государственный университет. – Пинск, 2016. – С. 36-39.

29–А. Лукашевич, В.А. Некоторые специфические механизмы поддержания статической позы / В.А. Лукашевич, В.Е. Васюк, С.М. Манкевич // Современные аспекты прикладной кинезиологии в спортивной медицине: сб. науч. ст. междунар. науч.-практ. конф., Пинск, 15-16 апреля 2016 г. / Полесский государственный университет. – Пинск, 2016. – С. 39-42.

30–А. Манкевич, С.М. Метод адаптивной кинезитерапии пациентов с легкими и умеренными координаторно-двигательными дефектами при остром нарушении мозгового кровообращения в раннем восстановительном периоде / С.М. Манкевич, В.А. Лукашевич // Медэлектроника-2016. Средства медицинской электроники и новые медицинские технологии: сб. науч. ст. X междунар. науч.-тех. конф., Минск, 8-9 декабря 2016 г. / БГУИР. – Минск, 2016. – С. 16-22.

31–А. Лукашевич, В.А. Метод адаптивной кинезитерапии пациентов с тяжелыми координаторно-двигательными дефектами при остром нарушении мозгового кровообращения в раннем восстановительном периоде / В.А. Лукашевич, С.М. Манкевич // Медэлектроника-2016. Средства медицинской электроники и новые медицинские технологии: сб. науч. ст. X междунар. науч.-тех. конф., Минск, 8-9 декабря 2016 г. / БГУИР. – Минск, 2016. – С. 11-12.

32–А. Internal scheme of the body assessment in an experiment with environmental uncertainty / U.A Lukashevich, V.E. Vasuk, M.I. Tarasevich, S.M. Mankevich, N.A. Paramonova // International Academy Journal Web of Scholar. – 2017. – № 8(17). – P. 97-101.

33–А. Lukashevich, U. Adaptive kinezitherapy in early rehabilitation of patients with mild coordination defects / U.A. Lukashevich // World Science. - 2017. – Vol. 6. - № 4(20). – P. 4–7.

34–А. Лукашевич, В.А. Ранняя реабилитация постинсультных пациентов с координаторными нарушениями с применением адаптивной кинезитерапии / В.А. Лукашевич, С.М. Манкевич // Современные аспекты физиотерапии и курортологии: материалы науч.-практ. конф. / БелМАПО,

федерация профсоюзов Беларуси ; под науч. ред. А.В. Волотовой. – Минск, 2017. – С. 66-69.

35–А. Опыт применения технологии «TRiNiTi» в нейрореабилитации / В.А. Лукашевич, С.М. Манкевич, М.И. Тарасевич, М.Ю. Забаронек // Медицинская реабилитация и санаторно-курортное лечение: материалы науч.-практ. конф. с междунар. участием, Гродно, 20 октября 2017 г. / ГрГМУ ; под ред. Л.А. Пироговой. – Гродно, 2017. – С. 135-139.

36–А. Лукашевич, В.А. Оценка качества восприятия окружающего пространства у лиц в раннем восстановительном периоде после мозгового инсульта / В.А. Лукашевич, В.В. Пономарев // Современная нейропсихиатрия: Первая учредительная конференция международной нейропсихиатрической ассоциации : сб. науч. ст., Москва, 17–20 апреля. 2019 г. / Международная нейропсихиатрическая ассоциация. – Москва, 2019. – С. 104–105.

37–А. Лукашевич, В.А. Опыт применения теста оценки качества восприятия пространства в адаптивной кинезитерапии у постинсультных пациентов / В.А. Лукашевич, В.В. Пономарев // Современная нейропсихиатрия: Первая учредительная конференция международной нейропсихиатрической ассоциации : сб. науч. ст., Москва, 17–20 апреля. 2019 г. / Международная нейропсихиатрическая ассоциация. – Москва, 2019. – С. 105–110.

38–А. Структурная схема мобильной робоплатформы для тренировки лиц с ограниченными возможностями / В.А. Михнюк, А.В. Лунек, В.А. Лукашевич, М.В. Давыдов / Проблемы и перспективы разработки инновационных технологий: сб. ст. по итогам междунар. науч.-практ. конф., Саратов, 10 декабря 2019 г. / под ред. А.А. Сукиасяна. – Стерлитамак, 2019. – С. 37-38.

39–А. Алгоритм работы мобильной робоплатформы для тренировки лиц с ограниченными возможностями / В.А. Михнюк, В.С. Шекунов, В.А. Лукашевич, М.В. Давыдов / Проблемы и перспективы разработки инновационных технологий: сб. ст. по итогам междунар. науч.-практ. конф., Саратов, 10 декабря 2019 г. / под ред. А.А. Сукиасяна. – Стерлитамак, 2019. – С. 35-37.

40–А. Феноменология инерциальной кинематики в структуре формирования двигательных адаптаций / В.А. Лукашевич, В.В. Пономарев, В.Е. Мицкевич, С.В. Губкин, Ю.А. Гаврилович, Е.А. Журко, А.Н. Кипель // Доклады БГУИР. – 2020. – № 5. – С. 62-70.

41–А. Лукашевич, В.А. Опыт применения мобильного приложения для оценки состояния опорно-двигательного аппарата / В.А. Лукашевич, Т.А. Морозевич-Шилюк, Г.Г. Лесив // Мир спорта. – 2021. – № 2(83). – С. 122-128.

Тезисы докладов

42–А. Лукашевич, В.А. Тренирующий симулятор сложных движений человека (роботизированный кинезитренажер) / Инновационные технологии в медицине: каталог ярмарки инновационных разработок (Минск, 11 декабря 2014 года). – Минск: Государственный комитет по науке и технологиям Республики Беларусь, 2014. – С. 48-53.

43–А. Lukashevich, U. Methodological aspects of adaptive kinesitherapy / U. Lukashevich, U. Ponomarev // Abstracts of the Journal of the Neurological Sciences. – 2019. – Vol. 405(90). – P. 90.

44–А. Ponomarev, U. Functional reciprocal electromyostimulation in adaptive kinesitherapy of post-stroke patients. / U. Ponomarev, U. Lukashevich // European Journal of Neurology. Abstracts of the 6-th Congress of the European Academy of Neurology. – 2020. – Vol. 27(1). – P. 1206-1207.

Патенты

45–А. Способ диагностики нарушения локомоторной функции человека : пат. 17492 Респ. Беларусь, МПК А 61В 5/11, / С.А. Лихачев, В.А. Лукашевич, Н.М. Тарасевич, А.В. Хроменков ; заявитель государственное учреждение «Республиканский научно-практический центр неврологии и нейрохирургии» Министерства здравоохранения Республики Беларусь – № а 20101051; заявл. 09.07.2010; опубл. 30.08.2013 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2013. – № 4. – С. 66-67.

46–А. Systems and methods for virtually displaying real movements of objects in a 3d-space by means of 2d-video capture. : patent No.: US9,360,932 B1, G06F 3/03, G06F 3/91, A63B 24/00, A6 HB 5/II / Uladzislau Anatolievich Lukashevich ; Assignee: Intellect Motion LLC. – Appl. No.: 13/900,551 ; Filed: May 23, 2013; Date of Patent: Jun. 7, 2016 // United States Patent. – 17 p.

47–А. A system and a method of human's movement disorders rehabilitation : patent No.: EP 3415123 European patent, A61F 4/00 (2006.01), A61H 1/00 (2006.01), A63B 23/00 (2006.01), A63B 24/00 (2006.01) / Lukashevich Uladzislau Anatolievich, Tsarou Ivan Mikhailavich ; Assignee: Limited Liability Company Kinideks – Appl. No.: 16877032.9; Filed: 20.06.2016; Date of Patent: 19.12.2018 // Register of European Patents <https://register.epo.org/application?number=EP16877032&tab=main>

48–А. Система и способ восстановления двигательной активности человека : пат. 030027 Евразийское патентное ведомство, МПК А 61Н 1/00, А 63В 26/00 / В.А. Лукашевич, И.М. Царев ; заявитель В.А. Лукашевич, № 201600137/26; заявл. 23.12.2015 г.; опубл. 29.06.2018 // Бюллетень Евразийского патентного ведомства. – 2018. – № 6. – С. 224-226.

49–А. Носимое устройство тактильного восприятия и система его реализующая : пат. 2017095254 PCT. МПК А61 5/11, А61 В5/103 /

В.А. Лукашевич ; заявитель ООО «Интеллект Моушн» – № РСТ/RU2015/000842; заявл. 01.12.2015; опубл. 08.06.2016 // Всемирная организация интеллектуальной собственности электронный ресурс <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2017095254>.

50–А. Устройство для развития и восстановления двигательной активности человека : пат. 037467 Евразийское патентное ведомство, МПК А61Н 3/00 (2006.01), А61Н 3/04 (2006.01) / В.А. Лукашевич ; заявитель В.А. Лукашевич, № 201900166 заявл. 23.01.2019 г; опубл. 31.07.2020 // Бюллетень Евразийского патентного ведомства электронный ресурс: <https://www.eapo.org/ru/publications/publicat/viewbull.php?bull=2020-07&id=201900166&kind=A1&ipc=A61H003/00>.

Инструкции по применению

51–А. Метод адаптивной кинезитерапии пациентов с легкими и умеренными координаторно-двигательными дефектами при остром нарушении мозгового кровообращения в раннем восстановительном периоде : инструкция № 081-1116 : утв. 25.11.2016 / государственное учреждение образования «Белорусская медицинская академия последипломного образования»; учреждение здравоохранения «2-я городская клиническая больница»; сост. В.А. Лукашевич, А.П. Сиваков, С.М Манкевич, М.И. Тарасевич. – Минск, 2016. – 7 с.

52–А. Метод адаптивной кинезитерапии пациентов с тяжелыми координаторно-двигательными дефектами при остром нарушении мозгового кровообращения в раннем восстановительном периоде : инструкция № 080-1116 : утв. 25.11.2016 / государственное учреждение образования «Белорусская медицинская академия последипломного образования»; учреждение здравоохранения «2-я городская клиническая больница»; сост. В.А. Лукашевич, А.П. Сиваков, С.М Манкевич, М.И. Тарасевич. – Минск, 2016. – 6 с.

Методические материалы

53–А. Адаптивная кинезитерапия: аспекты практического применения: учеб.-метод. пособие / В.А. Лукашевич, С.М. Манкевич, А.П. Сиваков, А.В. Вологовская. – Минск: БелМАПО, 2017. – 32 с.

54–А. Адаптивная кинезитерапия: комплекс базовых упражнений : учеб.-метод. пособие / В.А. Лукашевич, С.М. Манкевич, А.П. Сиваков, А.В. Вологовская, М.И. Тарасевич, М.Ю. Забаронок, Н.В. Хомич. – Минск: БелМАПО, 2017. – 33 с.

РЭЗІЮМЭ

Лукашэвіч Уладзіслаў Анатольевіч Адаптыўная кінезітэрапія ў медыцынскай рэабілітацыі пацыентаў з інфарктам мозга

Ключавыя словы: інфаркт галаўнога мозга, медыцынская рэабілітацыя, адаптыўная кінезітэрапія

Мэта даследавання: павышэнне эфектыўнасці медыцынскай рэабілітацыі пацыентаў з інфарктам галаўнога мозга шляхам распрацоўкі метаду адаптыўнай кінезітэрапіі і яго ўкаранення ў практычную ахову здароўя.

Аб'ект даследавання: 92 здаровых добраахвотніка і 107 пацыентаў, якія перанеслі інфаркт галаўнога мозга (у 57 праграма медыцынскай рэабілітацыі дапаўнялася метадам адаптыўнай кінезітэрапіі).

Метады даследавання: біямеханічны аналіз, клінічнае тэсціраванне, матэматычнае мадэляванне, навучанне нейронавых сетак, статыстычная апрацоўка.

Атрыманья вынікі і іх навуковая навізна. Метад адаптыўнай кінезітэрапіі, які складаецца з метадык функцыянальнай рэцыпрокнай нейрамышачнай электрастымуляцыі, адаптыўнай механатэрапіі і трэніроўкі дынамічнай каардынацыі, павышае эфектыўнасць медыцынскай рэабілітацыі пацыентаў з інфарктам галаўнога мозга ў 4 разы. Блок адаптыўнай кінезітэрапіі 1 прызначаецца пры значэнні індэкса Бартэл < 31 бала, блок адаптыўнай кінезітэрапіі 2 – пры значэнні сярэдняга працэнта адхілення ад нормы $\geq 64,01\%$, а блок 3 – пры яго меншых значэннях. У выніку даследавання быў устаноўлены станоўчы ўплыў адаптыўнай кінезітэрапіі на эфектыўнасць медыцынскай рэабілітацыі з адносінамі шанцаў: 5,1 (95% ДІ 1,17–22,51) – для пацыентаў з патабіямеханічным фенатыпам 1 інфаркту галаўнога мозга; 8,1 (95% ДІ 1,15–55,61) – для пацыентаў з патабіямеханічным фенатыпам 2; 7,71 (95% ДІ 1,76–33,72) – для пацыентаў з патабіямеханічным фенатыпам 3.

Рэкамендацыі па выкарыстанні: атрыманья вынікі могуць быць скарыстаны ў медыцынскай рэабілітацыі пацыентаў з інфарктам галаўнога мозга, у неўралагічных аддзяленнях і аддзяленнях медыцынскай рэабілітацыі.

Галіна прымянення: медыцынская рэабілітацыя, ЛФК, неўралогія.

РЕЗЮМЕ

Лукашевич Владислав Анатольевич

Адаптивная кинезитерапия в медицинской реабилитации пациентов с инфарктом мозга

Ключевые слова: инфаркт головного мозга, медицинская реабилитация, адаптивная кинезитерапия

Цель исследования: повышение эффективности медицинской реабилитации пациентов с инфарктом головного мозга путем разработки метода адаптивной кинезитерапии и его внедрения в практическое здравоохранение.

Объект исследования: 92 здоровых добровольца и 107 пациентов, перенесших инфаркт головного мозга (у 57 программа медицинской реабилитации дополнялась методом адаптивной кинезитерапии).

Методы исследования: биомеханический анализ, клиническое тестирование, математическое моделирование, обучение нейронных сетей, статистическая обработка.

Полученные результаты и их научная новизна. Метод адаптивной кинезитерапии, состоящий из методик функциональной реципрокной нейромышечной электростимуляции, адаптивной механотерапии и тренировки динамической координации, повышает эффективность медицинской реабилитации пациентов с инфарктом головного мозга в 4 раза. Блок адаптивной кинезитерапии 1 назначается при значении индекса Бартел < 31 балла, блок адаптивной кинезитерапии 2 – при значении среднего процента отклонения от нормы $\geq 64,01\%$, а блок 3 – при его меньших значениях. В результате исследования установлено положительное влияние адаптивной кинезитерапии на эффективность медицинской реабилитации с отношениями шансов: 5,1 (95 % ДИ 1,17–22,51) – для пациентов с патобиомеханическим фенотипом 1 инфаркта головного мозга; 8,1 (95 % ДИ 1,15–55,61) – для пациентов с патобиомеханическим фенотипом 2; 7,71 (95 % ДИ 1,76–33,72) – для пациентов с патобиомеханическим фенотипом 3.

Рекомендации по использованию: полученные результаты могут быть использованы в медицинской реабилитации пациентов с инфарктом головного мозга, в неврологических отделениях и отделениях медицинской реабилитации.

Область применения: медицинская реабилитация, ЛФК, неврология.

SUMMARY

Lukashevich Uladzislau Anatolyevich **Adaptive kinesitherapy in medical rehabilitation patients** **with cerebral infarction**

Key words: cerebral infarction, medical rehabilitation, adaptive kinesitherapy

Purpose: to increase the effectiveness of medical rehabilitation of patients with cerebral infarction by developing a method of adaptive kinesitherapy and its implementation in practical healthcare.

Subject: 92 healthy volunteers and 107 patients who had suffered with cerebral infarction; in 57, treatment according to the medical rehabilitation program was supplemented by a method of adaptive kinesitherapy.

Research methods: biomechanical analysis, clinical testing, mathematical modelling, neural network training, statistical processing.

Results and their novelty. Adaptive kinesitherapy, consists of methods of functional reciprocal neuromuscular electrical stimulation, adaptive mechanotherapy and dynamic coordination training, increases the effectiveness of medical rehabilitation of patients with cerebral infarction by 4 times. Adaptive kinesitherapy block 1 is prescribed when the Barthel index value is less than 31 points; Adaptive kinesitherapy block 2 is prescribed when the average percentage deviation from the norm is $> 64.01\%$, and block 3 is prescribed when its values are lower. The study established a positive effect of adaptive kinesitherapy on the effectiveness of medical rehabilitation with odds ratios of 5.1 (95 % CI 1.17–22.51) – for patients with a pathobiomechanical phenotype 1 of cerebral infarction; 8.1 (95 % CI 1.15–55.61) – for patients with pathobiomechanical phenotype 2; and 7.71 (95 % CI 1.76–33.72) – for patients with pathobiomechanical phenotype 3.

Recommendations for use: the results obtained can be used in medical rehabilitation of patients with cerebral infarction, in neurological departments and medical rehabilitation departments.

Area of application: medical rehabilitation, exercise therapy, neurology.

Подписано в печать 05.11.24. Формат 60×84/16. Бумага писчая «Хегох Марафон Бизнес».
Ризография. Гарнитура «Times».
Усл. печ. л. 2,56. Уч.-изд. л. 2,58. Тираж 60 экз. Заказ 621.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования
«Белорусский государственный медицинский университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/187 от 24.11.2023.
Ул. Ленинградская, 6, 220006, Минск.