На правах рукописи

ХИЖНИКОВА АНАСТАСИЯ ЕВГЕНЬЕВНА

КОРРЕКЦИЯ ПАТОЛОГИЧЕСКИХ СИНЕРГИЙ ПАРЕТИЧНОЙ РУКИ У ПОСТИНСУЛЬТНЫХ ПАЦИЕНТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕХАНОТЕРАПИИ

14.01.11 – Нервные болезни

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата медицинских наук

Москва – 2018

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Научный центр неврологии».

Научный руководитель:

кандидат медицинских наук **Клочков Антон Сергеевич**

Официальные оппоненты:

Даминов Вадим Дамирович, доктор медицинских наук, заведующий кафедрой медицинской реабилитации и восстановительного лечения, заведующий отделением медицинской реабилитации пациентов с нарушением функции периферической нервной системы и опорно-двигательного аппарата Федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медико-хирургический Центр им. Н.И. Пирогова» Министерства здравоохранения Российской Федерации;

Пряников Игорь Валентинович, доктор медицинских наук, профессор, первый заместитель директора Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научно-клинический центр реаниматологии и реабилитологии».

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Красноярский государственный медицинский университет имени профессора В.Ф. Войно-Ясенецкого» Министерства здравоохранения Российской Федерации.

Защита состоится: «__» _____2018 года в _: _ часов на заседании диссертационного совета Д 001.006.01 при ФГБНУ НЦН по адресу: 125367, город Москва, Волоколамское шоссе, дом 80.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБНУ НЦН по адресу: 125367, город Москва, Волоколамское шоссе, дом 80 и на сайте www.neurology.ru

Автореферат разослан «__» _____ 2018 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 001.006.01,
кандидат медицинских наук **Лысогорская Елена Владимировна**

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность и степень разработанности темы исследования

Среди всех неврологических заболеваний, инсульт занимает ведущее место по инвалидизации взрослого населения во всем мире. Последствия перенесенных нарушений мозгового кровообращения серьезно снижают качество жизни пациентов и их близких, участвующих в опеке. Согласно прогностическим данным ВОЗ, количество инсультов в Европе увеличится с 1100000 в год (2000г.) до более чем 1500000 в год к 2025 г. При этом до 30% больных, перенесших инсульт, нуждаются в постоянном постороннем уходе.

Успешное восстановление моторной функции руки происходит лишь в 20% случаев. У пациентов с постинсультными двигательными нарушениями в первую очередь нарушаются базовые моторные функции руки, такие как: способность достигать удаленный объект, захватывать его и манипулировать им, а также координировать движения двух рук. К основным причинам подобных нарушений можно отнести мышечную слабость, повышение мышечного тонуса, и как следствие - изменения межсуставной координации движений, а также последовательности активации различных групп мышц.

Одним из основных механизмов, препятствующих восстановлению движения в руке, является формирование патологических синергий. В процессе восстановления на фоне двигательных тренировок, как правило, происходит перестройка патологической синергии за счет увеличения объема «выгодных» компонентов движения Dipietro и соавт. (2007г.). Согласно Carr и Shepard (1982), предложивших теорию «целенаправленного подхода» или «целенаправленного двигательного переобучения» (task oriented approach) основной задачей реабилитации больного является восстановление его двигательных функций, максимально приближенных к тем, которые он имел до момента возникновения у него неврологических нарушений.

Однако, согласно Taub и соавт. (2013г.) больные, перенесшие инсульт, предпочитают использовать здоровую руку даже при наличии легкого пареза. В то же время пациенты с грубым и выраженным парезом зачастую сильно ограничены в активных двигательных тренировках из-за того что не могут преодолеть вес паретичной руки. Как известно, для успешного восстановления движений необходимо проведение тренировок в среде, максимально приближенной к реальной, активное участие пациента,

а также наличие интерактивной обратной связи, позволяющей пациенту контролировать правильность выполнения двигательной задачи и корректировать собственные усилия.

Проблема тренировки пациентов с грубыми парезами и необходимость в устройстве, обеспечивающем разгрузку веса для полноценной тренировки активных движений, послужила толчком к развитию механотерапевтических и роботизированных устройств с функцией разгрузки веса паретичной руки. Широкое распространение получили такие виды реабилитационных направлений как робото-, механотерапия и виртуальная реальность (ВР). Как показали исследования, механотерапия позволяет обеспечить большее количество повторений и воспроизводимость выполняемой задачи. В свою очередь технология виртуальной реальности используется для достижения большей интенсивности тренировок на фоне усиления обратной сенсорной связи и создания индивидуального виртуального пространства для каждого больного, в соответствии с его двигательными возможностями. По данным мета-анализа 2015 г., ВР, являясь, прежде всего мощной обратной сенсорной связью, представляет собой эффективный инструмент для повышения мотивации больного как в качестве самостоятельной методики, так и дополнительного метода для повышения интенсивности реабилитационного процесса.

Одним из наиболее распространенных и успешно применяемых механотерапевтических тренажеров, оснащенных системой разгрузки веса руки и виртуальной реальности, является Armeo Spring (Hocoma). Тренажер представляет собой экзоскелет, с пятью степенями свободы (все степени кроме классического отведения), пружинной системой разгрузки веса руки и виртуальной обратной связью, представленной мини-играми, имитирующими основные бытовые функции, не оснащенный роботизированными приводами.

Однако, несмотря на большое количество исследований посвященных комбинированной терапии на механотерапевтическом устройстве с разгрузкой веса руки и виртуальной реальностью, остается неизученным вопрос о возможности применения данного комплекса для коррекции патологической сгибательной синергии в руке у постинсультных пациентов. Также несомненно важным является отсутствие в современной литературе данных о клинических маркерах и количественной оценке выраженности патологических двигательных синергий. Определение маркеров и оценка данного параметра может стать универсальным инструментом в руках невролога для

определения тактики ведения пациента и его двигательного потенциала на разных сроках восстановления после инсульта.

Цель исследования

Изучение клинико-биомеханического паттерна патологических двигательных синергий в паретичной руке у пациентов, перенесших инсульт полушарной локализации, и влияние на него тренировок с использованием механотерапевтического комплекса с разгрузкой веса руки и виртуальной реальностью.

Задачи исследования:

1. Определить зависимость выраженности паттерна патологической сгибательной синергии в паретичной руке от клинических характеристик двигательных нарушений у больных, перенесших инсульт.
2. Изучить кинематический портрет теста «достижение удаленно расположенного объекта» в норме и у пациентов с разной степенью постинсультного пареза в руке.
3. Оценить влияние тренировок с использованием механотерапевтического тренажера с разгрузкой веса руки и виртуальной реальностью на клинико-биомеханические параметры патологических синергий в паретичной руке у больных с разной степенью пареза.
4. Оценить эффективность механотерапевтического тренажера с разгрузкой веса руки и виртуальной реальностью в комплексном лечении больных с постинсультными двигательными нарушениями.
5. Разработать алгоритм реабилитации пациентов с постинсультным парезом в руке на основании клинической оценки степени выраженности двигательного дефицита и патологической сгибательной синергии в руке (по шкалам Фугл-Мейера и Эшворта).

Научная новизна

Впервые на основании клинико-биомеханического анализа было изучено влияние механотерапевтического тренажера с разгрузкой веса руки и виртуальной реальностью на выраженность двигательного дефицита в руке и степень патологической сгибательной синергии.

Определено, что у пациентов с грубым/выраженным парезом в руке при тренировке проксимальных отделов отмечается уменьшение двигательного дефицита не только в проксимальных, но и в дистальных отделах.

Выделен клинический показатель, отражающий выраженность основного компонента сгибательной синергии (сгибание в локтевом суставе) в руке по шкале Фугл-Мейера и определена его роль в процессе двигательного переобучения.

Изучено межсуставное взаимодействие при помощи системы видеоанализа движений «Биософт 3D» и показано различие в кинематических портретах между больными с разной степенью пареза.

Показано, что ведущую роль в формировании патологического стереотипа у пациентов с легким/умеренным парезом играет уменьшение разгибания локтевом суставе. В группе с грубым/выраженным парезом наибольшее значение имеют нарушения отведения в плечевом суставе и разгибания в локтевом, при этом у данных пациентов значительно выражены компенсаторные механизмы в виде смещения корпуса вперед.

Отмечено, что у пациентов с разной степенью пареза в руке восстановление происходит по двум принципиально разным механизмам. У пациентов с легким/умеренным парезом происходит по пути нормализации паттерна движения и улучшения двигательных функций руки, то есть увеличения функциональных навыков в паретичной руке (по данным клинических шкал) и нормализации кинематических параметров (по данным видеоанализа движений). У больных с грубым/выраженным парезом происходит компенсаторное восстановление, то есть повышение функциональности паретичной руки (по данным клинических шкал) наблюдается на фоне уже сформировавшегося патологического стереотипа без изменения кинематического портрета (по данным видеоанализа движений).

Теоретическая и практическая значимость

На основании определения основных клинико-биомеханических маркеров патологических синергий в руке, был разработан практический алгоритм для применения в клинической практике врача-невролога. Данный алгоритм включает в себя оценку пациента до начала курса реабилитации по клиническим шкалам Фугл-Мейера и Эшворта, включающий анализ показателей общего двигательного дефицита в паретичной руке, подраздела синергии и оценку спастичности в сгибателях пальцев кисти, локтевого и лучезапястных суставов. Применение этого алгоритма позволит выбрать направление восстановления двигательной функции до начала реабилитации и

определить приоритеты двигательных тренировок (поощрение или подавление процессов компенсации).

Методология и методы исследования

Объектом данного исследования являются пациенты с нарушением мозгового кровообращения полушарной локализации, постинсультным парезом в руке и давностью заболевания от 3-х месяцев до 2-х лет. Для решения поставленных задач были использованы методы реабилитации (механотерапия с разгрузкой веса руки и виртуальной реальностью Armeo Spring, лечебная физкультура, физиотерапия, массаж), а также методы клинической (шкалы Фугл-Мейера, Эшворта, ARAT, тест Френчай) и инструментальной оценки (система видеоанализа движений «Биософт 3D») с последующим статистическим анализом.

Положения, выносимые на защиту

1. Включение системы с разгрузкой веса руки и виртуальной реальностью в комплекс нейрореабилитационных мероприятий приводит к значимому улучшению двигательной функции руки у пациентов с разной степенью пареза.
2. Определение степени выраженности патологической синергии в руке является важным предиктором прогноза восстановительного лечения.
3. Нормализация кинематического портрета движений после реабилитации не является обязательным фактором благоприятного функционального исхода у больных с постинсультным гемипарезом.
4. Компенсаторные механизмы у пациентов с грубым/выраженным парезом благоприятно влияют на функциональные возможности в паретичной руке.
5. Разработан алгоритм ведения больных с разной степенью пареза на основе клинического осмотра по шкалам Фугл-Мейера и Эшворта.

Личный вклад автора

Автору принадлежит определяющая роль в постановке целей и задач исследования, в разработке и выполнении протокола исследования. Самостоятельно проведены отбор пациентов, оценка по клиническим шкалам, сбор и обработка данных видеоанализа движений, тренировка пациентов на механотерапевтическом комплексе с разгрузкой веса руки и виртуальной реальностью, а также статистический анализ полученных данных. Подготовлены статьи с последующей публикацией в профильных изданиях.

Публикации

По теме диссертации опубликовано 7 научных работ, из них – 3 публикации в научных рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России, в том числе патент на изобретение №2632510.

Степень достоверности и апробация результатов исследования

Степень достоверности обусловлена адекватным объемом выборки пациентов, применением современных инструментальных, клинических и статистических методов исследования. Материалы диссертации доложены и обсуждены в виде постерных и устных докладов на: VIII Международном конгрессе "Нейрореабилитация-2016" (Москва 2016), III Международном конгрессе «Физиотерапия. Лечебная физкультура. Реабилитация. Спортивная медицина» (Москва 2017), XXIII World Congress of Neurology (Япония 2017), 26th Conference European Stroke Conference. (Германия 2017).

Внедрение результатов работы

Результаты диссертационной работы внедрены в деятельность отделения нейрореабилитации и физиотерапии ФГБНУ НЦН и используются для клинической и клинико-инструментальной оценки пациентов, перенесших инсульт.

Структура и объём диссертации

Диссертация изложена на 143 листах машинописного текста, содержит 33 таблицы и иллюстрирована 33 рисунками. Диссертация содержит следующие разделы: введение, обзор литературы, материалы, методология и методы исследования, результаты исследования, обсуждение, заключение, выводы и практические рекомендации, список литературы. Библиографический указатель содержит 12 отечественных и 103 зарубежных источника, а так же 7 собственных публикаций автора, подготовленных по теме диссертационной работы.

2. МАТЕРИАЛЫ, МЕТОДОЛОГИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1. Клиническая характеристика больных

Исследование одобрено локальным этическим комитетом ФГБНУ НЦН №1-5/16 от 27.06.2016г. Из обследованных 235 больных, поступивших в ФГБНУ НЦН в течение 2016-2017 гг., только 45 пациентов соответствовали критериям отбора больных для данного исследования. Среди них было 28 мужчин, 17 женщин, в возрасте от 30 до 80 лет (медиана возраста 55 [24;76]). Большинство больных было в молодом и среднем

возрасте. Давность инсульта составила от 3 до 23 месяцев (медиана давности инсульта 7 месяцев [3;23]). При этом 21 больной (45%) наблюдался в раннем восстановительном периоде, 14 больных (33%) – в позднем восстановительном периоде, 10 больных (22%) – в резидуальном периоде. Все больные были рандомизировано (методом слепых конвертов) разделены на 2 группы: основная и контрольная. По всем основным клиническим характеристикам основная и контрольная группы были сопоставимы (таблица 1).

Таблица 1 – Распределение больных по основным клиническим признакам в основной и контрольной группах

Признак	Контрольная группа (n=20)	Основная группа (n=25)	p-level
Возраст (Me [25%;75%])	55 [47;65]	55 [45;61]	0,91
Пол (ж/м)	10 (50%)/10(50%)	8(32%)/17(68%)	0,13
Тип инсульта (ишем/гемор)	13 (65%)/7(35%)	18(72%)/7(28%)	0,61
Давность инсульта (Me [25%;75%]): до 6 мес от 6 мес до 1 года свыше 1 года	7,5 [4;12] 8 (40 %) 8 (40%) 4 (20%)	7 [4;12] 9 (36%) 9 (36%) 7 (28%)	0,85
Латерализация (прав/лев)	9(45%)/11(55%)	14(56%)/11(44%)	0,46
Двигательный дефицит в руке в целом по шкале Фугл-Мейер (Me [25%;75%]): грубый парез выраженный парез умеренный парез легкий парез	99,5 [87;114] 5 (25%) 4 (20%) 6 (30%) 5 (25%)	103[91;109] 5 (20%) 8 (32%) 6 (24%) 6 (24%)	0,9
Двигательный дефицит в кисти по шкале ARAT (общий балл) (Me [25%;75%]): грубый парез выраженный парез умеренный парез легкий парез	39,5 [0;47,5] 7 (35%) 3 (15%) 6 (30%) 4 (20%)	41 [17;49] 10 (40%) 2 (8%) 9 (36%) 4 (16%)	0,49
Выраженность патологической синергии в руке (Me [25%;75%])	8 [4;10]	9 [6;10]	0,61
Уровень бытовых навыков в кисти (тест Френчай) (Me [25%;75%]): полностью нарушен частично сохранен полностью сохранен	3,5 [0;5] 6 (30%) 8 (40%) 6 (30%)	3 [0;4] 6 (30%) 8 (40%) 3 (12%)	0,78

2.2. Методы лечения

Все пациенты основной и контрольной групп получали стандартную реабилитационную терапию, включающую следующие методы: занятия лечебной

гимнастикой (10 тренировок, 40 минут, 5 дней в неделю на протяжении двух недель), массаж паретичных конечностей (10 процедур, 5 дней в неделю на протяжении двух недель), магнитотерапия. Больные основной группы проходили тренировку на экзоскелетном механотерапевтическом комплексе Armeo Spring (Hocoma) с разгрузкой веса руки и обратной связью в виде игровых двигательных заданий, смоделированных в виртуальном пространстве (10 тренировок, 5 дней в неделю на протяжении двух недель) (рисунок 1). В контрольной группе использовалась лечебно-гимнастическая методика с применением разгрузки веса руки и выполнением всех двигательных заданий под контролем зрительной обратной связи (рисунок 1).

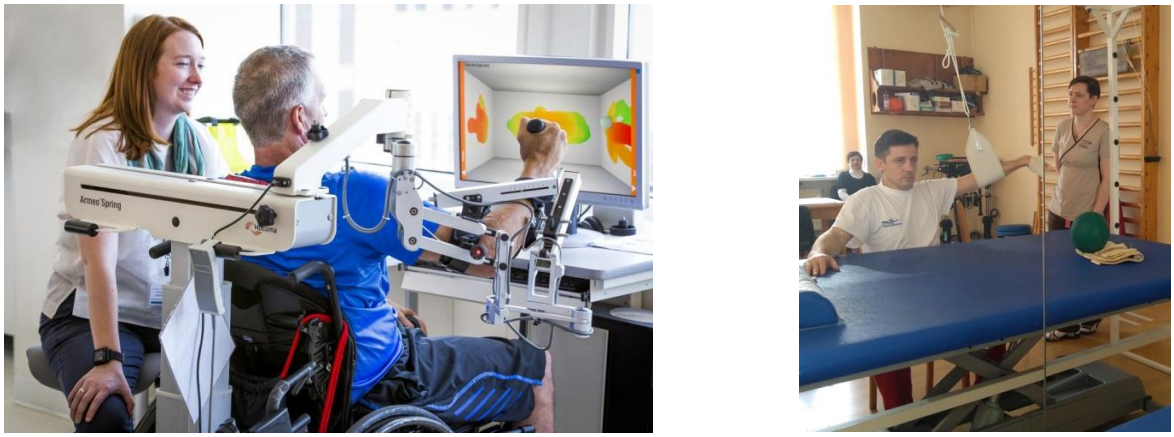


Рисунок 1 – Общий вид системы Armeo Spring и тренировки с разгрузкой веса руки

2.3. Методы исследования

Для клинической оценки пациентов, принимавших участие в данном исследовании, применялись следующие клинические формализованные шкалы: шкала оценки мышечной силы Британского совета медицинских исследований (MRC-SS); Монреальская шкала оценки когнитивных функций (MoCA); шкала Фугл-Мейера; подраздел «синергии» шкалы Фугл-Мейера; Action Research Arm Test (ARAT); шкала Эшворта; шкала Бартель; тест Френчай.

Для инструментальной оценки пациентов использовался аппаратно-программный комплекс «Видеоанализ-3D», разработанный специалистами ООО «Научно-медицинская фирма Биософт».

Так как движения руки очень разнообразны и вариабельны, для оценки биомеханических параметров была выбрана наименее вариабельная парадигма: «достижение удаленно расположенного объекта» (тест «ричинг»).

Для изучения внутрисуставных и межсуставных угловых синергий в сагиттальной и фронтальной плоскостях были введены следующие коэффициенты (К) синергий:

$К_1$ - отношение объема сгибания в плечевом суставе (ПС) к объему отведения в ПС;

$К_2$ - отношение объема разгибания в локтевом суставе (ЛС) к объему сгибания в ПС;

$К_3$ - отношение объема разгибания в ЛС к объему отведения в ПС;

Для определения биомеханических параметров руки в норме были исследованы 10 здоровых добровольцев без патологии со стороны ЦНС и опорно-двигательного аппарата (6 мужчин и 4 женщины, средний возраст 35 [25; 60] лет.

Статистическая обработка результатов проводилась с помощью критериев Манна–Уитни (при сравнении независимых выборок), Вилкоксона (при сравнении зависимых выборок), коэффициента корреляции Спирмена, на персональном компьютере с применением пакета прикладных программ Statsoft Statistica v.7.0. Данные представлены в виде медианы и 25, 75 % квартилей медианы. Статистически значимыми считали различия при $p < 0,05$.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

3.1. Зависимость выраженности патологической сгибательной синергии в паретичной руке от клинических характеристик двигательных нарушений у больных, перенесших инсульт

На основании разделов (4 и 5) шкалы Фугл-Мейера, количественно в баллах была произведена оценка выраженности патологической сгибательной синергии в руке. В целом по всем пациентам степень выраженности синергии была равна 9 [6;10], в норме при отсутствии патологической синергии сумма этих разделов равна 12 баллов. Чем выше балл, тем меньше выраженность патологической синергии. При сопоставлении выраженности синергии и давности инсульта оказалось, что определялась обратная зависимость степени выраженности синергии от давности заболевания ($r=-0,38$; $p<0,05$). Так, наиболее выраженная синергия отмечалась у пациентов в резидуальном периоде инсульта. При изучении зависимости степени выраженности синергии от латерализации инсульта, оказалось, что степень выраженности синергии не зависела от латерализации очага инсульта. В тоже время выявлена тесная связь степени выраженности патологической сгибательной синергии в руке и степенью общего двигательного дефицита по шкале Фугл-Мейера ($r=0,81$;

p<0,05), а также связь между выраженностью синергии и степенью спастичности в сгибателях локтя (r=- 0,47; p<0,05), запястья (r=-0,58; p<0,05) и пальцев (r=-0,62; p<0,05). Таким образом, проведенное исследование показало, что выраженность патологической синергии в руке у пациентов, перенесших инсульт, зависит прежде всего от давности инсульта и степени двигательного дефицита в руке, а также от степени спастичности в сгибателях руки. Не было выявлено связи между выраженностью синергии и возрастом пациентов, латерализацией очага инсульта.

3.2. Изучение кинематического портрета теста «ричинг» у пациентов с разной степенью постинсультного пареза в руке

Так как в настоящем исследовании при клиническом исследовании была выявлена тесная связь между выраженностью патологической синергии в руке и показателем общего дефицита в руке по шкале Фугл-Мейера (характеризующем степень пареза), то дальнейший анализ биомеханических характеристик движений в руке при выполнении теста «ричинг» у пациентов проводился отдельно для больных с легким/умеренным и грубым/выраженным парезом в руке.

Для составления кинематического портрета теста «ричинг» были выбраны следующие параметры: время достижения удаленно расположенного объекта, максимум угловой амплитуды движения, объем (разница между максимальным и минимальным углом в процессе движения) и пик угловой скорости таких движений как отведения и сгибания (подъем руки вперед) в плечевом суставе, разгибания в локтевом и лучезапястном суставах, а также были проанализированы основные межсуставные взаимодействия (коэффициенты синергий).

При анализе времени выполнения теста «ричинг», было выявлено, что у пациентов обеих групп, требовалось больше времени, чем у здорового человека. В случае с грубым/выраженным парезом, на выполнение теста «ричинг», требовалось статистически достоверно больше времени, чем в норме (p=0,001) (таблица 2).

Таблица 2 – Время выполнения теста (сек) ричинг у больных с разной степенью пареза

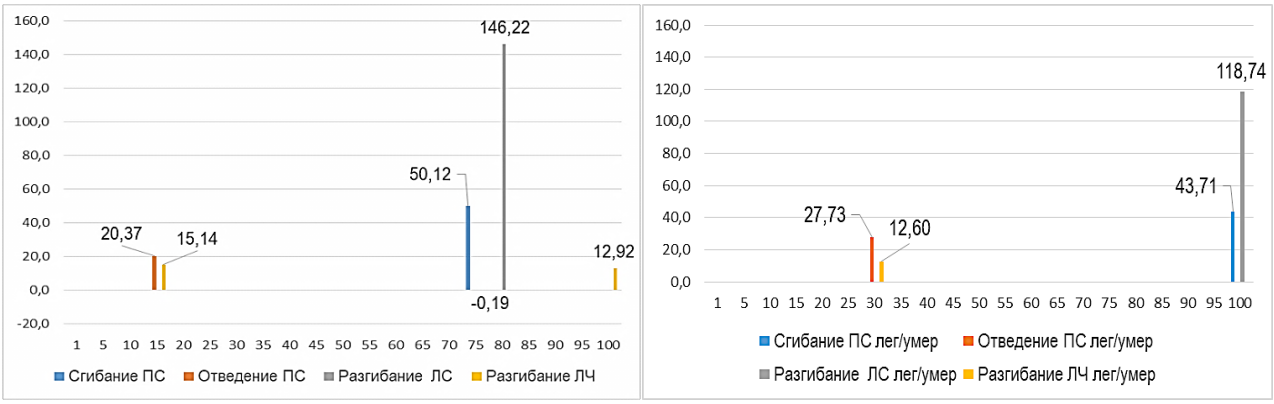
Легк./Умер. парез (n=11), Me[25%;75%]	Груб./Выраж. парез (n=9), Me[25%;75%]	Норма (n=10), Me[25%;75%]
1,5 [1,24; 1,71]	2,25 [1,65; 3,76] (p=0,001 по сравнению с нормой)	0,96 [0,87; 1,16]

При анализе угловых характеристик были выявлены основные параметры движения для 2-х групп пациентов, результаты приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Максимум угловой амплитуды движений (град) в суставах руки при выполнении теста «ричинг» у больных с разной степенью пареза в руке

Движения	Легк./Умер. парез (n=11), Me[25%;75%]	Груб./Выраж. парез (n=9), Me[25%;75%]	Норма (n=10), Me[25%;75%]
Сгибание в плечевом суставе	40 [37; 43] **p=0,04** (по сравнению с нормой)	43 [40; 49]	50 [47; 51]
Отведение в плечевом суставе	27,7 [23; 43] **p=0,02** (по сравнению с нормой)	25 [19; 32] **p=0,04** (по сравнению с нормой)	21 [14; 26]
Разгибание в локтевом суставе	138 [135;143]	124 [116;126] **p=0,007** (по сравнению с нормой)	148 [144; 149]
Разгибание в лучезапястном суставе	17 [13; 24]	15 [15; 25]	15 [10; 30]

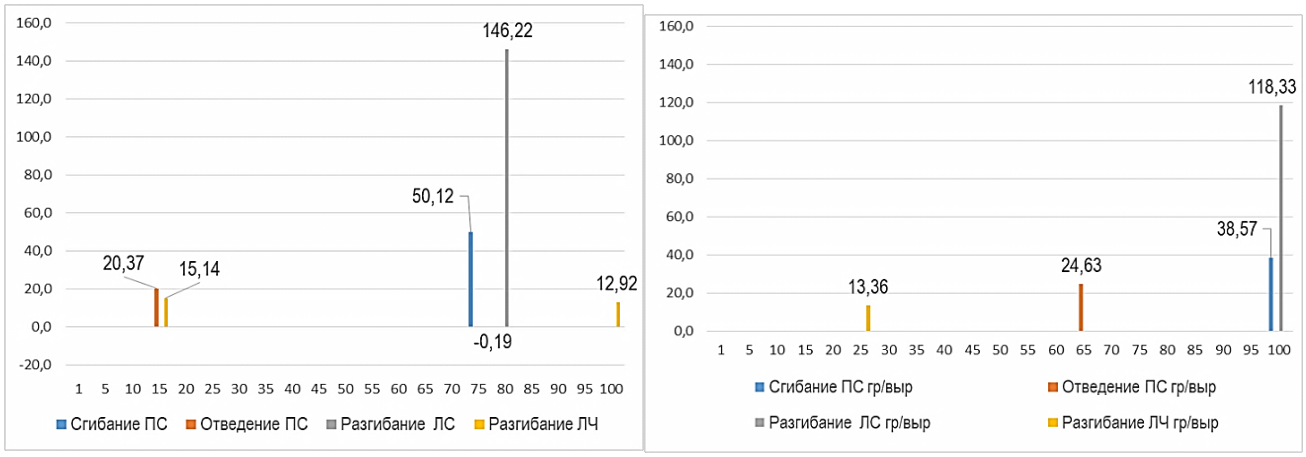
Далее при анализе изменения максимума угловой амплитуды движения было выявлено, что помимо уменьшения максимального угла движения в некоторых суставах у больных с легким/умеренным парезом заметно увеличивалось время, при котором достигались максимумы угловой амплитуды при всех движениях по сравнению с нормой (рисунок 2).



A B

Рисунок 2 – Максимум угловой амплитуды движения в разных суставах при выполнении теста «ричинг» в норме (А) и у больных с легким/умеренным парезом (В)

В то время как у больных с грубым/выраженным парезом помимо уменьшения максимального угла в некоторых суставах заметно увеличивалось время, при котором достигались максимумы угловой амплитуды при всех движениях по сравнению с нормой (рисунок 3).



А В

Рисунок 3 – Максимум угловой амплитуды движения в разных суставах при выполнении теста «ричинг» в норме (А) и у больных с грубым/выраженным парезом (В)

При проведении анализа скоростных характеристик, было выявлено, что у пациентов первой группы с легким/умеренным парезом показатель пика угловой скорости в плечевом и локтевом суставах были значимо ниже нормы, при этом в большей степени снижалась угловая скорость в локтевом суставе, при этом, как показано выше, уменьшения максимального угла разгибания в локтевом суставе у этих пациентов не наблюдалось. Во второй группе с грубым/выраженным парезом было отмечено снижение пика угловой скорости движений во всех трех углах (сгибание и отведение плечевого сустава, разгибание локтевого сустава). При проведении сравнительного анализа между группами было отмечено, что показатель пика угловой скорости отведения в плечевом суставе был достоверно ниже у пациентов второй группы (**p=0,02**) (рисунок 4).

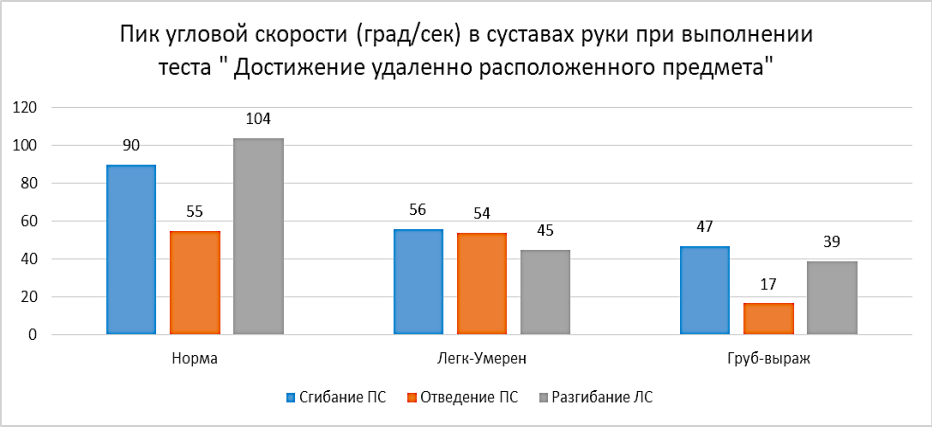


Рисунок 4 – Скоростные параметры выполнения теста «ричинг» у больных с гемипарезом

При корреляционном анализе была выявлена тесная взаимосвязь клинического показателя синергии по шкале Фугл-Мейера с пиками угловой скорости таких движений как сгибание (r=0,69; p=0,0007) и отведение (r=0,53; p=0,016) в плечевом суставе, разгибанием в локтевом суставе (r=0,57; p=0,0089) (рисунок 5).

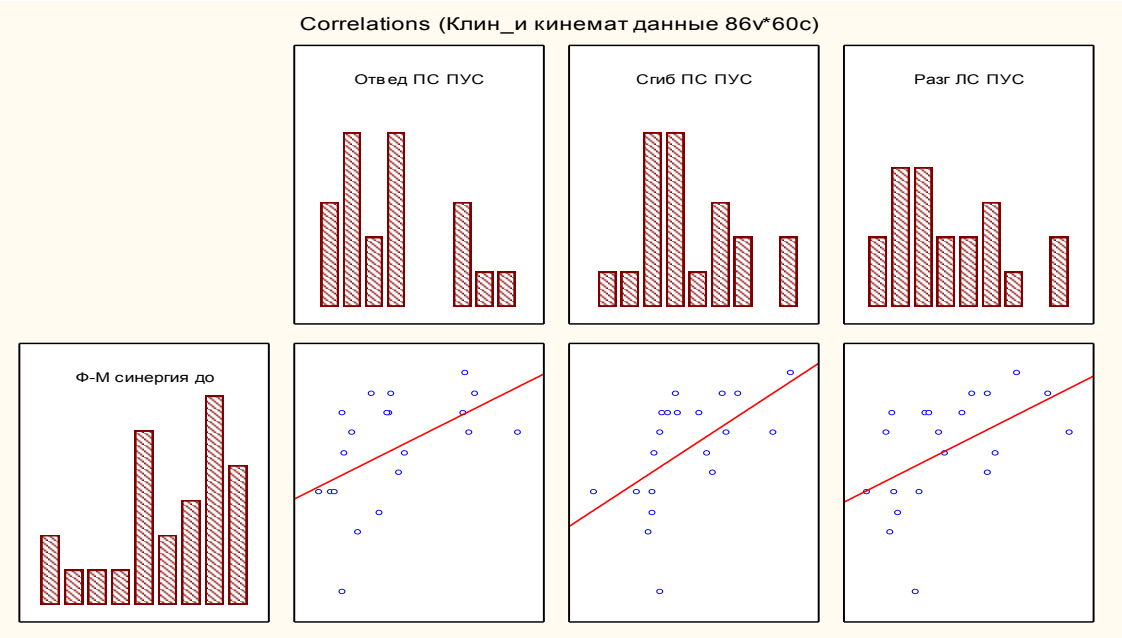


Рисунок 5 – Корреляционные взаимосвязи между показателем синергии по шкале Фугл-Мейера и угловыми скоростями в суставах

Таким образом, проведенный анализ показал, что, по-видимому наиболее показательным и значимым является скоростной показатель – пик угловой скорости, который значимо уменьшался у больных с разной степенью пареза по сравнению с нормой при выполнении теста «ричинг» и тесно коррелировал с клиническим показателем синергии по шкале Фугл-Мейера.

Для изучения межсуставных взаимодействий были предложены коэффициенты синергий, их значения для обеих групп пациентов приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Значение коэффициентов синергий у больных с гемипарезом при тесте ричинг

Коэффициент	Легк./Умер. парез (N=11)	Груб./Выраж. парез (N=9)	Норма (N=10)
$К_1$	1,54 [1,33; 1,87]	1,88 [1,17; 3,38] **p=0,05** (по сравнению с нормой)	1,46 [1,33;1,68]
$К_2$	1,12 [0,86; 1,31] **p=0,04** (по сравнению с нормой)	0,72 [0,61; 0,95] **p=0,01** (по сравнению с нормой)	1,36 [1,29;1,45]
$К_3$	1,53 [1,21;1,85]	1,79 [1,1; 3,3]	1,98 [1,82;2,24]

При проведении статистического анализа, было выявлено, что достоверно от нормы больные отличаются только по $К_2$, который отражает взаимоотношение между сгибанием в плечевом суставе и разгибанием в локтевом суставе. Причем в группе больных с грубым/выраженным парезом, данный показатель в 2 раза ниже нормы (p=0,01). Полученные данные свидетельствуют о том, что основным компонентом патологической синергии в руке у больных с легким/умеренным и грубым/выраженным парезом является значительное уменьшение амплитуды разгибания в локтевом суставе при менее значимом уменьшении амплитуды сгибания в плечевом ($К_2$). Кроме того, нами была отмечена тенденция к увеличению $К_1$ в группе пациентов с грубым и выраженным парезом. Косвенным подтверждением этого является тенденция к обратной взаимосвязи между $К_1$ и показателем синергией, выявленная у больных с грубым/выраженным парезом (r=-0,52; p=0,03) (рисунок 6).

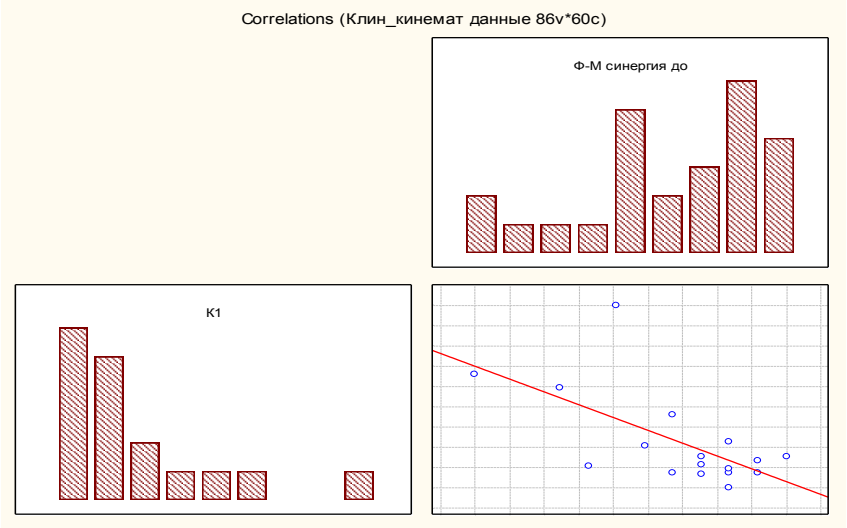


Рисунок 6 – Корреляционная взаимосвязь между показателем синергии по шкале Фугл-Мейера и $К_1$

Таким образом, оказалось, что основную роль в формировании патологического паттерна движения в руке у пациентов с легким/умеренным парезом играет нарушение взаимодействия между разгибанием в локтевом суставе и сгибанием в плечевом суставе (коэффициент $К_2$), а у пациентов с грубым/выраженным парезом, кроме этого, важную роль в формировании патологического паттерна движения при выполнении теста «ричинг» играет и нарушение взаимодействия между отведением и приведением в плечевом суставе, то есть нарушение коэффициентов $К_2$ и $К_1$.

3.3. Влияние тренировки на системе Armeo Spring на выраженность патологической синергии в руке у пациентов с легким/умеренным парезом в руке

При анализе временных характеристик было показано, что у пациентов с легким/умеренным парезом руки после тренировки происходит статистически значимое уменьшение времени затрачиваемого на достижение объекта (p=0,04) (таблица 5).

Таблица 5 – Время (сек) выполнения теста «ричинг» у больных с легким/умеренным парезом

	Норма (n=10),	До лечения	После лечения	p-level
Me [25%;75%]	0,96 [0,87; 1,16]	1,5 [1,24; 1,71]	1,26 [0,9; 1,62]	**p=0,045**

При изучении коэффициентов синергий, отражающих межсуставные взаимодействия, было показано, что у пациентов первой группы после курса реабилитации отмечались достоверные изменения только коэффициента $К_2$, отражающего взаимодействие между сгибанием в плечевом суставе и разгибанием в локтевом суставе во время выполнения теста «ричинг», достоверных изменений остальных коэффициентов не выявлено (таблица 6).

Таблица 6 – Значение коэффициентов синергий у больных с легким/умеренным парезом при выполнении теста «ричинг»

Коэффициент	Норма (N=10), Me [25%;75%]	До реабилитации (n=11), Me [25%;75%]	После реабилитации (n=11), Me [25%;75%]	p-level
$К_1$	1,46 [1,33;1,68]	1,54 [1,33; 1,87]	1,59 [1,4; 2,54]	0,86
$К_2$	1,36 [1,29;1,45]	1,12 [0,86; 1,31]	1,75 [1,12; 1,45]	**0,04**
$К_3$	1,98	1,53 [1,21;1,85]	1,96 [1,64; 2,44]	0,67

Как видно из представленной таблицы у пациентов первой группы произошло статистически значимое увеличение $К_2$ (p=0,04) после курса реабилитации, что свидетельствует об улучшении межсуставного взаимодействия между локтевым и плечевым суставом.

Можно предположить, что у пациентов с легким/умеренным парезом восстановление двигательной функции в паретичной руке происходит по пути нормализации паттерна движения, в пользу этого свидетельствуют данные увеличения коэффициента $К_2$, отражающего межсуставное взаимодействие в плечевом и локтевом суставах, что имеет прямую корреляцию с уменьшением клинической выраженности степени пареза по шкале Фугл-Мейера (r=0,94; p=0,01).

3.4. Влияние тренировки на системе Armeo Spring на выраженность патологической синергии в руке при выполнении теста «ричинг» у пациентов с грубым/выраженным парезом в руке

При анализе временных характеристик теста «ричинг» было показано, что у пациентов второй группы после курса реабилитации время, затрачиваемое на выполнение этого теста, достоверно увеличивалось (p=0,043), в отличие от больных с легким или умеренным парезом, у которых наблюдалось уменьшение этого показателя (таблица 7). При этом, у пациентов второй группы время выполнения движения стало превышать соответствующий показатель в норме более чем в 2 раза.

Таблица 7 – Время (сек) выполнения теста «ричинг» у больных с грубым/выраженным парезом

	Норма (n=10),	До лечения	После лечения	p-level
Me [25%;75%]	0,96 [0,87; 1,16]	2,25 [1,65; 3,76]	2,66 [1,11; 3,05]	**p=0,043**

При изучении коэффициентов синергий, отражающих межсуставные взаимодействия у пациентов второй группы после курса реабилитации, также как у больных первой группы, отмечались достоверные изменения только коэффициента $К_2$, отражающего взаимодействие между сгибанием в плечевом суставе и разгибанием в локтевом суставе во время выполнения теста «ричинг», достоверных изменений по остальным коэффициентам не выявлено (таблица 8).

Таблица 8 – Значение коэффициентов синергий у больных с грубым/выраженным парезом при выполнении теста «ричинг»

Коэффициент	Норма (N=10), Me [25%;75%]	До реабилитации (n=9), Me [25%;75%]	После реабилитации (n=9), Me [25%;75%]	p-level
$К_1$	1,46 [1,33;1,68]	1,88 [1,17; 3,38]	2,07 [1,39; 2,55]	0,32
$К_2$	1,36 [1,29;1,45]	0,72 [0,61; 0,95]	0,64 [0,46; 0,64]	**0,04**
$К_3$	1,98	1,79 [1,1; 3,3]	1,24 [0,97; 2,49]	0,24

У пациентов второй группы, K_2 достоверно уменьшался (p=0,04) после курса тренировки на механотерапевтическом комплексе с разгрузкой веса руки и виртуальной реальностью, в отличие от больных первой группы, у которых наблюдалось увеличение этого коэффициента. Полученные данные свидетельствуют о том, что тренировки на механотерапевтическом комплексе с разгрузкой веса руки и виртуальной реальностью не уменьшают выраженность патологической синергии у больных с грубым/выраженным парезом в руке.

3.5. Оценка эффективности механотерапевтического тренажера с разгрузкой веса руки и виртуальной реальностью в комплексном лечении больных с постинсультными двигательными нарушениями

При проведении сравнительного клинического анализа двигательных нарушений в руке основной и контрольной групп после курса реабилитации наблюдалось статистически значимое уменьшение степени выраженности общего двигательного дефицита в руке у обеих групп пациентов (рисунок 7).

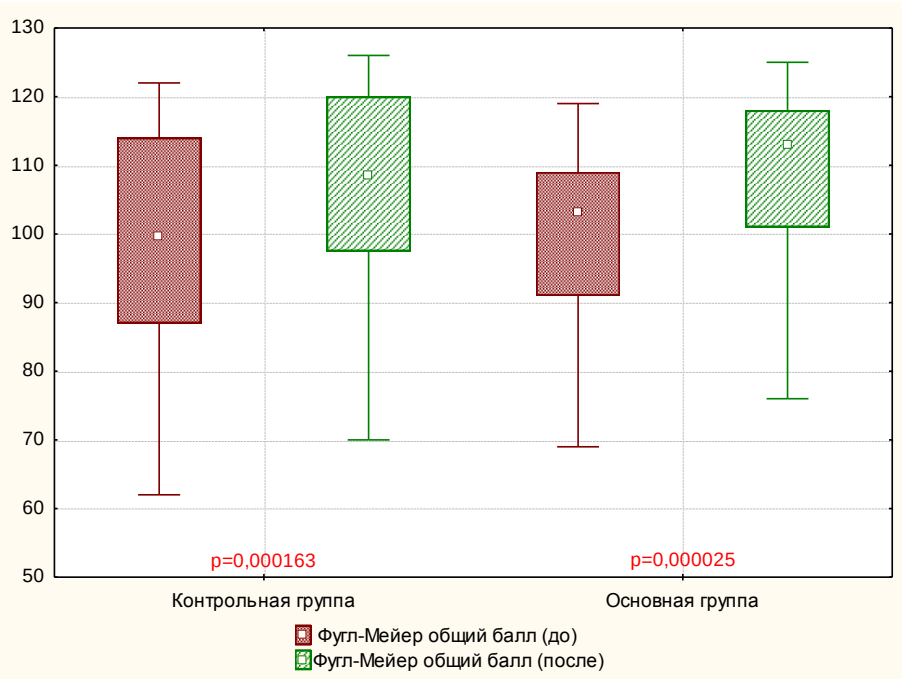


Рисунок 7 – Средние значения общего показателя двигательных нарушений в руке по шкале Фугл-Мейера в основной и контрольной группах до и после курса реабилитации

При дальнейшем анализе было показано, что у пациентов основной группы наблюдалось статистически значимое увеличение активных движений в плече, предплечье (**p=0,000821**), запястье и кисти (**p=0,000168**). Отмечалось также достоверное

увеличение объема пассивных движений в локтевом и лучезапястном суставах. Важно отметить, что согласно шкале Фугл-Мейера, значимо уменьшалась выраженность патологической сгибательной синергии (чем больше балл по шкале Фугл-Мейера, оценивающий выраженность синергии, тем меньше степень её выраженности) (**p=0,000049**). Аналогичные данные были получены и у пациентов контрольной группы.

При сравнительном анализе по отдельным подразделам шкалы Фугл-Мейера (в группах больных с легким/умеренным и грубым/выраженным парезом) оказалось, что в контрольной группе не наблюдалось достоверных улучшений активных движений в запястье и кисти у пациентов с разной степенью пареза в руке в отличие от основной группы, у которых достоверное улучшение двигательной функции руки наблюдалось как в проксимальных, так и в дистальных отделах руки при разной степени пареза в руке (таблица 9).

Таблица 9 – Медиана показателей (Me [25%;75%]) двигательных нарушений в руке по шкале Фугл-Мейера у больных основной и контрольной групп до и после реабилитации

Движения плеча и предплечья				
	Основная группа (n=25)		Контрольная группа (n=20)	
	Легк./Умерен.	Груб./Выраж.	Легк./Умерен.	Груб./Выраж.
До лечения	34 [32;37]	24 [21,5;27]	35 [28;40]	20 [18;28]
После лечения	38 [34;41]	30,5 [25,5;33,5]	37 [33;42]	23 [17;29]
p-level	**p=0,041**	**p=0,0068**	**p=0,003**	**p=0,021**
Движения запястья и кисти				
	Основная группа (n=25)		Контрольная группа (n=20)	
	Легк./Умерен.	Груб./Выраж.	Легк./Умерен.	Груб./Выраж.
До лечения	21 [19;21]	12 [8;14,5]	21[20;24]	7 [2;12]
После лечения	23 [22;24]	14 [10;19,5]	23[21;24]	7 [3;16]
p-level	**p=0,0044**	**p=0,012**	p=0,068	p=0,08

При проведении сравнительного клинического анализа двигательных нарушений в кисти по шкале ARAT как в основной, так и в контрольной группах наблюдалось статистически значимое улучшение общей двигательной функции кисти (общий балл по шкале ARAT) (рисунок 8).

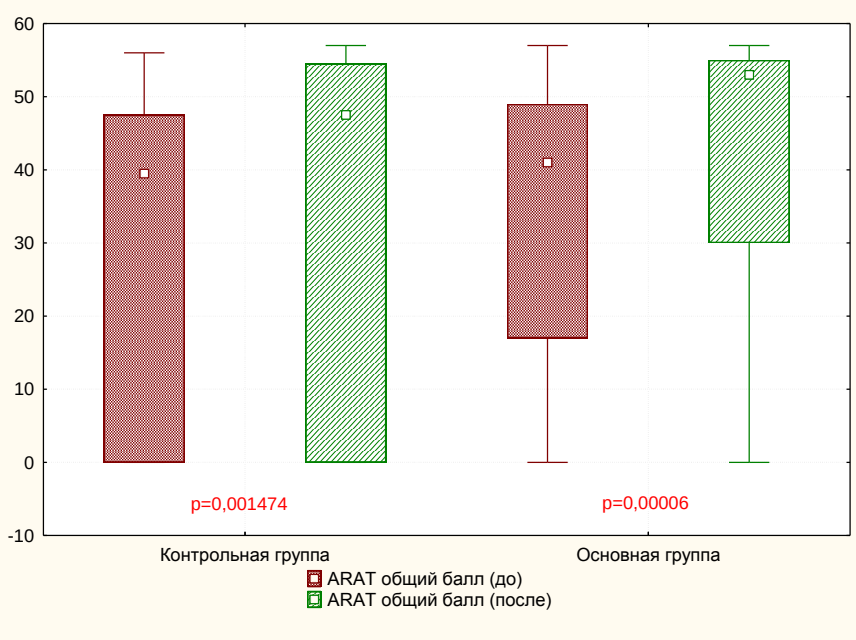


Рисунок 8 – Средние значения общей двигательной функции кисти по шкале ARAT в основной и контрольной группе

При дальнейшем анализе по шкале ARAT, которая более подробно характеризуют двигательный дефицит в кисти и пальцах, было показано, что если в подгруппе с легким/умеренным парезом наблюдались статистически значимые улучшения двигательной функции кисти как в основной, так и в контрольной группах, то улучшение двигательной функции кисти в подгруппе с грубым/выраженным парезом были достоверно значимы только в основной (таблица 10). При сравнительном анализе подразделов шкалы ARAT, характеризующих выполнение различных хватов, было выявлено, что в подгруппе с легким/умеренным парезом наблюдается улучшение выполнения цилиндрического (**p=0,017**) и щипкового (**p=0,007**) захвата только у пациентов основной группы, тогда как в контрольной группе у пациентов с легким/умеренным парезом отмечалось улучшение движений только при выполнении щипкового захвата (**p=0,011**). У пациентов с грубым/выраженным парезом улучшение выполнения всех видов захватов отмечено только в основной группе (шаровой: **p=0,028**, цилиндрический: **p=0,005**, щипковый: **p=0,01**), в контрольной группе изменения были незначимы.

Таблица 10 – Медиана показателя (Me [25%;75%]) двигательных дефицита в кисти по шкале ARAT у больных основной и контрольной групп до и после реабилитации

	Основная группа (n=25)		Контрольная группа (n=20)	
	Легк./Умерен.	Груб./Выраж.	Легк./Умерен.	Груб./Выраж.
До лечения	49 [41;57]	15,5 [6;24,5]	47 [43;54]	7 [0;10]
После лечения	55 [54;57]	24,5 [12,5;38]	54 [48;55]	8 [0;16]
p-level	**p=0,003**	**p=0,005**	**p=0,005**	p=0,108

При корреляционном анализе в основной группе после курса реабилитации определялась обратная зависимость общего двигательного дефицита в руке по шкале Фугл-Мейера от степени спастичности в сгибателях локтевого сустава (r=-0,67; p<0,05), сгибателях запястья (r=-0,43; p<0,05) и сгибателях пальцев (r=-0,78; p<0,05). Кроме того, выявлена тесная взаимосвязь между общим двигательным дефицитом в руке по шкале Фугл-Мейера и степенью улучшения бытовых навыков в руке по тесту Френчай (r=0,78; p<0,05).

После курса реабилитации уровень восстановления различных видов захвата по шкале ARAT, зависел от выраженности мышечного тонуса в паретичной руке после курса реабилитации. Так показатель шаровидного захвата обратно коррелировал с выраженностью мышечного тонуса в мышцах сгибателях локтевого сустава (r=-0,51; p<0,05), сгибателях запястья (r=0,61; p<0,05) и сгибателях пальцев (r=-0,71; p<0,05). Улучшение выполнения цилиндрического захвата обратно зависело от степени спастичности в сгибателях локтевого сустава (r=-0,39; p<0,05) и сгибателях пальцев (r=-0,49; p<0,05). Изменения в выполнении щипкового захвата также обратно зависели от всех трех показателей спастичности. Прямая зависимость была обнаружена между восстановлением мелкой моторики по шкале ARAT и уровнем бытовых навыков в руке по тесту Френчай (r=0,91; p<0,05).

Особый интерес представляют данные по корреляции показателя синергий, определяемого по шкале Фугл-Мейера. Данный показатель в обеих группах достоверно коррелировал с восстановлением всех видов захвата, определяемых по шкале ARAT и восстановлением бытовых навыков по тесту Френчай, а также обнаруживалась отрицательная корреляция с выраженностью мышечного тонуса в сгибателях локтевого сустава и сгибателях пальцев (таблица 11).

Таблица 11 – Корреляции показателя синергии шкалы Фугл-Мейера с клиническими характеристиками после курса реабилитации в основной и контрольной группах

	Основная группа (N=25)	Контрольная группа (N=20)
Двигательный дефицит в проксимальных отделах руки по шкале Фугл-Мейер	r=0,75; p=0,00002	r=0,93; p=0,000000
Двигательный дефицит в дистальных отделах руки по шкале Фугл-Мейер	r=0,66; p=0,0004	r=0,85; p=0,000002
Степень пареза	r=0,77; p=0,000007	r=0,87; p=0,000001
Шаровидный захват	r=0,7; p=0,0009	r=0,75; p=0,0001
Цилиндрический захват	r=0,48; p=0,01	r=0,68; p=0,008
Щипковый захват	r=0,44; p=0,02	r=0,82; p=0,002
Тест Френчай	r=0,64; p=0,0005	r=0,73; p=0,0001
Степень спастичности в сгибателях локтевого сустава	r=-0,54; p=0,005	r=-0,56; p=0,009
Степень спастичности в сгибателях лучезапястного сустава	r=-0,35; p=0,08	r=-0,74; p=0,0002
Степень спастичности в сгибателях пальцев	r=-0,49; p=0,01	r=-0,7; p=0,001

Таким образом, проведенное исследование показало, что включение механотерапевтической системы с разгрузкой веса руки и виртуальной реальностью в комплекс реабилитационных мероприятий приводит к значимому улучшению двигательной функции руки у пациентов с разной степенью пареза после курса тренировок, о чем свидетельствуют клинические данные по шкалам Фугл-Мейера общий балл (p=0,003) и ARAT общий балл (p=0,00006), а также к выраженному улучшению мелкой моторики, о чем свидетельствует уменьшение двигательного дефицита в дистальном отделе руки по шкале Фугл-Мейера (p=0,002), улучшение выполнения различных захватов: шарового (p=0,027) и щипкового (p=0,01) по шкале ARAT. В отличие от основной, в контрольной группе значимые улучшение всех параметров движения наблюдались только у больных с легким/умеренным парезом, а у больных с грубым/выраженным - только в проксимальном отделе руки по шкале Фугл-Мейера.

В проведенном исследовании, используя шкалу Фугл-Мейера, удалось представить количественную оценку патологической сгибательной синергии (в баллах) и показать значимую её связь со степенью пареза ($r=0,84$; $p<0,05$), а также отрицательную связь со степенью спастичности в сгибателях локтевого сустава ($r=-0,47$; $p<0,05$), запястья ($r=-0,58$; $p<0,05$) и пальцев ($r=-0,62$; $p<0,05$). Кроме того, выявлена обратная зависимость степени выраженности синергии от давности заболевания ($r=-0,38$; $p<0,05$).

Таким образом, проведенное исследование показало, что, несмотря на отсутствие эффекта от тренировок на механотерапевтическом комплексе с разгрузкой веса руки и виртуальной реальностью на выраженность патологической синергии у больных основной группы с грубым/выраженным парезом в руке, при клинической оценке наблюдается улучшение функциональных возможностей в паретичной руке, что выражается в достоверном увеличении мелкой моторики кисти по шкале ARAT. Для объяснения этого феномена у данной группы больных был проведен анализ движений корпуса во время выполнения теста «ричинг». Для этой цели использовалась оценка смещения 2-х маркеров, располагавшихся на акромионе здорового и паретичного плеча относительно горизонтальной оси, отражающих смещение корпуса в горизонтальной плоскости.

Полученные данные показали, что у пациентов с грубым/выраженным парезом после курса реабилитации, достоверно увеличивалось смещение корпуса вперед при выполнении движения «ричинг», что может свидетельствовать о механизме адаптации

На основании полученных клинико-биомеханических данных был разработан практический алгоритм ведения больных с постинсультным гемипарезом (рисунок 9), использующий оценку по подразделу шкалы Фугл-Мейера для верхней конечности. Стоит отметить, что оценка по шкале Эшворта проводится в трех мышечных группах: сгибателях локтевого, лучезапястного сустава и сгибателях пальцев. При этом, степень спастичности, влияющая на выбор тактики ведения пациента составляет 1+ в 2-х и более мышечных группах.

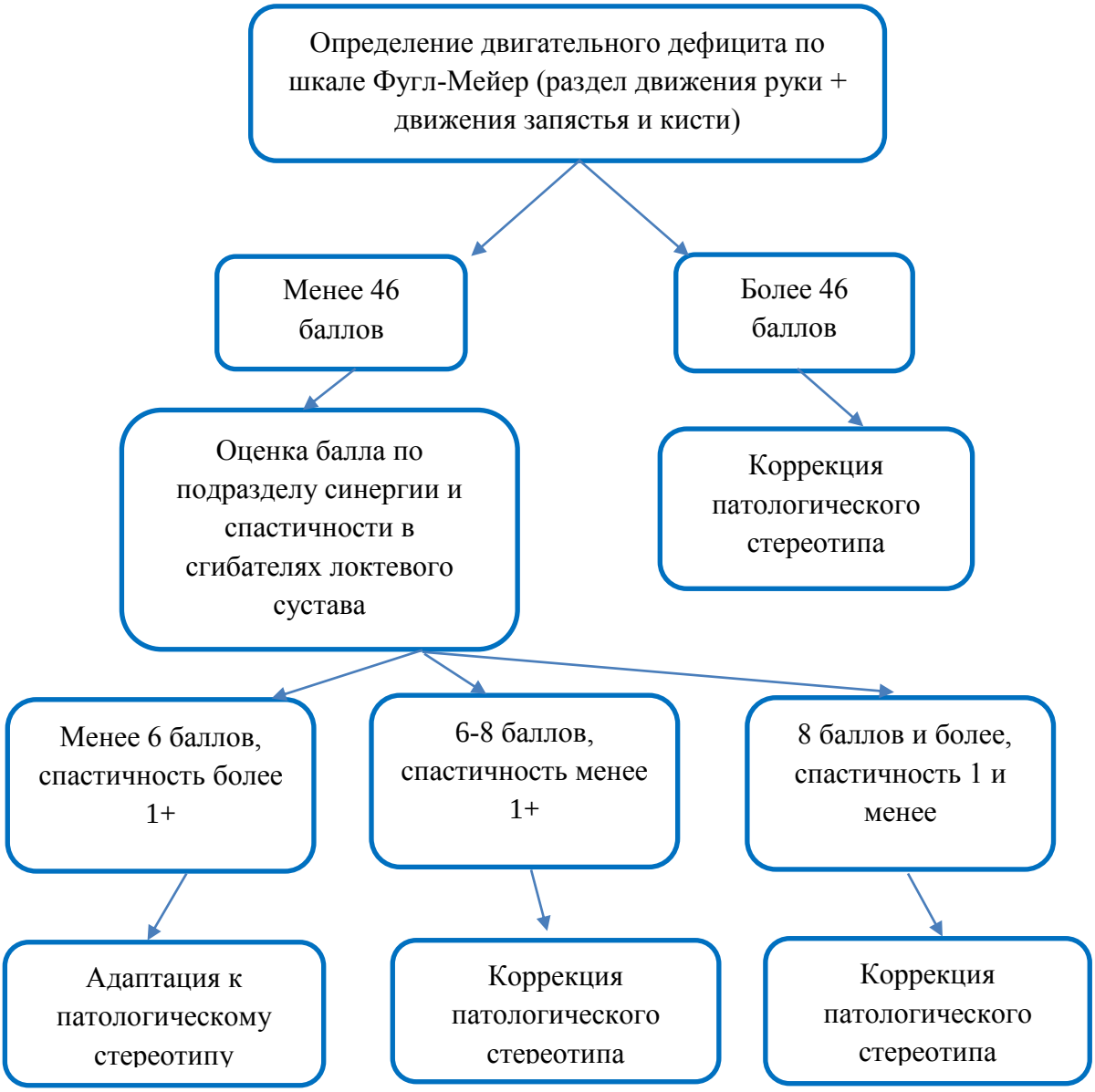


Рисунок 9 – Алгоритм ведения больных с постинсультным гемипарезом

ВЫВОДЫ

1. Длительность и выраженность постинсультных двигательных нарушений в руке, представленные степенью пареза и спастичностью в сгибателях руки, значимо связаны с показателем патологической сгибательной синергии (по шкале Фугл-Мейера).
2. Согласно разработанным количественным коэффициентам синергий ($К_1$ – отражает соотношение одновременного сгибания и отведения в плечевом суставе; $К_2$ – отражает соотношение одновременного сгибания в плечевом и разгибания в локтевом суставах), у пациентов с легким/умеренным постинсультным парезом наблюдаются умеренные нарушения межсуставных взаимодействий (отклонения от нормы коэффициента синергии $К_2$ ($p=0,04$)). В то же время у пациентов с грубым/выраженным постинсультным парезом наблюдаются кроме того и нарушения внутрисуставных взаимодействий в плечевом суставе (повышение коэффициента $К_1$ ($p=0,05$)).
3. У пациентов с легким/умеренным постинсультным парезом после механотерапевтических тренировок отмечается сочетанное улучшение клинических показателей и кинематических параметров, в то время как у пациентов с грубым/выраженным парезом происходит только улучшение клинических показателей.
4. У пациентов с легким/умеренным постинсультным парезом восстановление двигательной функции в паретичной руке происходит по пути нормализации паттерна движения и улучшения двигательных функций руки, а у пациентов с грубым/выраженным постинсультным парезом повышение функциональности паретичной руки наблюдается на фоне уже сформировавшегося патологического стереотипа.
5. Включение системы с разгрузкой веса руки и виртуальной реальностью в комплекс нейрореабилитационных мероприятий у пациентов с разной степенью пареза способствует уменьшению двигательного дефицита в дистальных отделах (по шкалам Фугл-Мейера ($p=0,0001$) и ARAT ($p=0,00006$)).

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Разработанный практический алгоритм с использованием клинической оценки при помощи формализованных шкал (Фугл-Мейера и Эшворта), основанный на количественной оценке синергий с помощью разработанных коэффициентов, позволяет оптимизировать тактику ведения двигательной реабилитации пациентов, перенесших нарушение мозгового кровообращения.
2. У пациентов с легким/умеренным парезом целесообразно использовать тренировку, направленную на коррекцию патологического стереотипа движения, а у пациентов с грубым/выраженным парезом – на повышение функциональности паретичной руки в рамках сформировавшегося патологического стереотипа.
3. Для коррекции патологического стереотипа движения и улучшения двигательных функций в руке у пациентов с легким/умеренным постинсультным парезом и повышения функциональности паретичной руки у пациентов с грубым/выраженным парезом необходимо включение механотерапевтической системы с разгрузкой веса руки и виртуальной реальностью в комплекс реабилитационных мероприятий.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Клочков, А.С. Патологические синергии в руке у пациентов с постинсультными гемипарезами / А.С. Клочков, А.Е. Хижникова, М.А. Назарова, Л.А. Черникова // **Журнал высшей нервной деятельности им. И. П. Павлова**. – Т. 67, № 3. – С. 273–287.
2. Хижникова, А.Е. Виртуальная реальность как метод восстановления двигательной функции руки / А.Е. Хижникова, А.С. Клочков, А.М. Котов-Смоленский, Н.А. Супонева, Л.А. Черникова // **Анналы клинической и экспериментальной неврологии**. – 2016. – Т. 10, № 3. – С. 5–13.
3. Хижникова, А.Е. Двигательное обучение пациентов с постинсультным парезом руки на механотерапевтическом комплексе / А.Е. Хижникова, А.С. Клочков, А.М. Котов-смоленский, Л.А. Черникова, Н.А. Супонева, М.А. Пирадов // **Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры** – 2017 – Т. 95, № 1. – С. 20–25.
4. Супонева, Н.А. Роботизированные и механотерапевтические технологии для восстановления функции верхних конечностей: перспективы развития (обзор) / Н.А. Супонева, А.С. Клочков, А.Е. Хижникова, Р.Х. Люкманов, Е.В. Гнедовская, Д.С. Янкевич // Современные технологии в медицине. – 2016. – Т. 8, № 4. – С. 206–215.
5. Khizhnikova, A. Efficacy of weight support training in virtual environment in poststroke rehabilitation of basic motor skills and daily activities / A. Khizhnikova, M. Kovyazina, A. Klochkov, L. Chernikova, N. Suponeva // Cerebrovascular Diseases. – 2017. – Vol. 43, № 1. – P. 139–139.
6. Aziatskaya, G. Virtual Reality Efficacy During Zero Gravity Arm Training in Post Stroke / G. Aziatskaya, M. Kovyazina, A. Khizhnikova, A. Klochkov, L. Chernikova, N. Suponeva, N. Varako // Brain Injury – Vol. 31, S. 6–7. – P. 792–792.
7. **Пирадов, М.А. Способ лечения патологических двигательных синергий верхних конечностей у больных, перенесших нарушение мозгового кровообращения / Пирадов М.А., Черникова Л.А., Супонева Н.А., Клочков А.С., Хижникова А.Е., Котов-Смоленский А.М. // Патент – 2017. – №2632510.**

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

ВР – виртуальная реальность

МРТ – магнитно-резонансная томография

Me – медиана

ARAT – Action Research Arm Test

НМК – нарушение мозгового кровообращения

Ричинг – достижение удаленно расположенного объекта

ПС – плечевой сустав

ЛС – локтевой сустав