



Современные подходы в реабилитации пациентов с патологией верхней конечности вследствие перенесенного церебрального инсульта

Д. В. Соколов, Л. А. Пирогова, В. В. Бут-Гусаим

Гродненский государственный медицинский университет,
Гродно, Беларусь

Инсульт является одной из ведущих причин смертности и инвалидности и важной медицинской и социальной проблемой. Особое внимание уделяется восстановлению моторной функции верхних конечностей, что является одним из наиболее сложных аспектов реабилитации. Раннее начало и применение индивидуализированных методов способствуют достижению лучших результатов. Среди известных методов восстановления функции верхней конечности выделяют тренировки с использованием двигательных образов, зеркальную терапию и индуцированную ограничением двигательную терапию (CIMT — Constraint-Induced Movement Therapy). Рынок роботизированных систем для реабилитации верхней конечности представлен аппаратами ArmeoSpring, MIT-MANUS, MIME-robot и др. Несмотря на значительные достижения, использование технологий затруднено ввиду их ограниченной доступности и необходимостью специализированной подготовки медицинского персонала, поэтому важны дальнейший анализ и поиск альтернативных методик для реабилитации постинсультных пациентов.

Ключевые слова: инсульт, моторный дефицит, реабилитация, роботизированные технологии, восстановление функции верхней конечности.

Stroke is one of the leading causes of mortality and disability, making it a significant medical and social issue. Special attention is given to the restoration of upper limb motor function, which is one of the most complex aspects of rehabilitation. Early initiation and the use of individualized methods contribute to better outcomes. Among the well-known methods for restoring upper limb function are motor imagery training, mirror therapy, and constraint-induced movement therapy (CIMT). The market of robotic rehabilitation systems for upper limb recovery includes devices such as ArmeoSpring, MIT-MANUS, MIME-robot, and others. Despite significant advancements, the use of these technologies is hindered by their limited accessibility and the need for specialized medical staff training. This factor warrants further analysis and the search for alternative rehabilitation methods for post-stroke patients.

Key words: stroke, motor deficit, rehabilitation, robotic technologies, upper limb function recovery.

HEALTHCARE. 2025; 5: 33—43

MODERN APPROACHES IN THE REHABILITATION OF PATIENTS WITH UPPER LIMB PATHOLOGY DUE TO CEREBRAL STROKE

D. Sokalau, L. Pirahova, U. But-Husaim

Современное состояние проблемы инсульта представляет собой сложный и многогранный процесс, затрагивающий как медицинские, так и социальные аспекты. Инсульт, как известно, является одной из ведущих причин смертности и инвалидности во всем мире и актуальной проблемой здравоохранения, его последствия оказывают значительное влияние на качество жизни пациентов и их семей. Развивающийся при

этом широкий спектр нарушений требует своевременной коррекции для улучшения качества жизни пациентов [1; 2]. Реабилитация пациентов после инсульта остается актуальным заказом общества, поскольку многие пациенты сталкиваются с длительными последствиями, требующими специализированной и комбинированной помощи для их решения. Несмотря на то что наиболее активный процесс восстановления наблюдается в период от 3 до 6 мес., исследования показывают, что такие реабилитационные мероприятия могут быть эффективными даже спустя некоторое время после инсульта, что обуславливает необходимость индивидуализированного подхода и длительной реабилитации каждого пациента [3].

Современные методы восстановления верхней конечности после инсульта представляют собой многогранный и комплексный процесс, который включает в себя различные подходы и технологии, направленные на восстановление работоспособности и улучшение качества жизни пациентов. Стоит отметить, что полное восстановление моторной функции верхней конечности наблюдается не более чем у 20 % пациентов, что подчеркивает важность раннего и интенсивного начала реабилитации [4]. Главной целью реабилитации является восстановление двигательных функций верхних конечностей, имеющих различные нарушения: ограничение объема движений, снижение силы, координации, чувствительности [5]. Помимо развития двигательных нарушений у пациентов часто наблюдаются расстройства эмоционального спектра, болевой синдром, снижение когнитивных способностей, что затрудняет проведение реабилитационных мероприятий и требует строго индивидуального подхода к каждому пациенту [6; 7]. На проведение качественной реабилитации влияют такие факторы, как объем и локализация поражения, при этом исследования определили, что тип инсульта не выступает значимым фактором и не влияет на прогноз [8]. D. D'Imperio и соавт. в 2021 г. установили, что около 85 % пациентов с различными двигательными нарушениями в верхней конечности после инсульта также имеют различные расстройства чувствительности. Авторы отмечают, что подобные расстройства усложняют процесс восстановления функции верхней конечности [9].

Независимо от метода реабилитации, все активные подходы строятся на нейрофизиологических принципах и в первую очередь на раскрытии процесса нейропластичности [10]. В последнее время методы реабилитации пополнились различными подходами в восстановлении функции верхней конечности, включая высокотехнологичные и роботизированные установки, наряду с широко известными стандартными подходами.

Одним из распространенных методов в реабилитации верхней конечности является тренировка, помогающая решить функциональные задачи. Пациенту выстраивают новые двигательные паттерны, которые направлены на достижение конкретных целей, связанных с движениями верхней конечности. В 2021 г. S. Meyer и соавт. разработана специальная адаптируемая программа. Система Arm-Hand Boost предусматривает включение движений в сложные процессы, тренировку мелкой моторики и ротацию плеча, а также сгибание и разгибание в локтевом суставе и постановку лопатки [11].

Следует отметить методику двигательной терапии, индуцированной ограничением (CIMT — Constraint-Induced Movement Therapy). CIMT основана на принципе «вынужденного неиспользования», когда пациенты избегают использования пораженной конечности после неудачных попыток. Этот метод включает длительное ограничение

использования здоровой конечности во время бодрствования, тем самым поощряя использование пораженной конечности посредством упражнений различной интенсивности в течение 6—7 ч в день. Цель состоит в том, чтобы сломать психологические и физические стереотипы, которые мешают восстановлению, и способствовать функциональному использованию поврежденной конечности [12; 13]. Систематический обзор, включающий 21 исследование, проведенный в 2022 г. группой исследователей во главе с J. Azevedo, предоставил убедительные доказательства эффективности применения терапии CIMT для снижения ограничений повседневной активности, связанной с функцией верхней конечности, а также для уменьшения двигательных нарушений, что в целом способствовало существенному улучшению качества жизни у пациентов после инсульта [12].

Следующим подходом, используемым, как правило, у пациентов с выраженными парезами верхней конечности, является метод тренировки двигательных образов, или идеомоторная тренировка. В основе данного подхода лежит способность человека мысленно воспроизводить движение без активного выполнения. Данный процесс способен активировать те же моторные зоны, что и физически выполненный двигательный акт [14]. Идеомоторные упражнения могут выступать первым этапом реабилитационного процесса, который призван помочь пациентам мысленно имитировать действия поврежденной конечности в процессе восстановления. Кохрейновский обзор (2020), включивший 676 пациентов из девяти стран, показал, что тренировка двигательных образов является эффективным методом при ее комбинации с другими методами реабилитации [15]. В свою очередь, в 2023 г. E. Villa-Berges и соавт. провели систематический обзор, включивший 11 рандомизированных исследований, который показал, что двигательные образы как самостоятельно, так и в сочетании с другими практиками эффективны для реабилитации функции верхней конечности [16].

Одним из направлений реабилитации верхней конечности является использование биологической обратной связи. В ходе проведения терапии пациент посредством афферентной импульсации получает информацию о состоянии физиологических процессов в организме. Примером данного метода выступает зеркальная терапия, которая была представлена в 1995 г. профессором V. S. Ramachandran [17]. Учитывая, что человеческое тело имеет почти идеальную симметрию по средней сагиттальной линии, иллюзия, создаваемая правильно расположенным зеркалом, позволяет воспринимать движения конечности при перемещении противоположной конечности посредством наблюдения за отражением. Во время отражения движений здоровой конечности эта техника активирует зеркальные нейроны в мозге, помогая в реабилитации пациентов за счет стимуляции нейронных путей, связанных с движением. Зеркальная терапия, разработанная для облегчения фантомных болей, была адаптирована для реабилитации постинсультных пациентов и зарекомендовала себя как простая и эффективная методика восстановления функции верхней конечности. В метаанализе 2021 г. N. Nogueira и соавт. установили, что зеркальная терапия является результативным реабилитационным подходом, способствующим восстановлению функции верхней конечностей у пациентов после инсульта [18].

В современных реабилитационных программах свое отражение нашли упражнения, выполняемые унилатерально или билатерально здоровой и пораженной

конечностями. Билатеральный тренинг может проводиться как в формате индивидуальной работы с инструктором лечебной физкультуры, так и при помощи роботизированных механизмов. Исследование 2016 г., основанное на нескольких систематических обзорах, показало, что занятия, включающие асимметричные и симметричные движения пораженной конечности способствовали скорейшему восстановлению функции верхней конечности [19].

Несмотря на долгую историю использования машин в реабилитации, лишь достижения современной науки позволяют сделать процесс достаточно эффективным и безопасным. Первая машина с электродвигателем для реабилитации пациентов была запатентована в 1910 г. T. Budingen, ее использовали для обеспечения шага у пациентов с заболеваниями сердца. В ортопедию механизмы пришли в 1930 г., когда R. Scherb разработал систему, помогающую выполнять активно-пассивные движения в суставах верхней конечности [20]. Первые роботизированные аппараты, как правило, использовали принцип жесткой помощи в организации движения. Они непрерывно выполняли движение по заданной траектории без участия пациентов [21; 22]. Более сложные системы появились в 1970-х гг., впервые их использовали для реабилитации пациентов после травм спинного мозга. Это были экзоскелеты с электроприводом, которые позволяли пациентам или инструкторам контролировать выполняемые движения во время терапии [20; 22]. Что касается роботизированных систем для пациентов после инсульта, то первые из них не взаимодействовали с пациентами напрямую, а использовались для тренировки координации, перемещая какой-либо объект, которого пациент должен был касаться [23]. Развитие современных технологий открывает новые возможности и методы для реабилитации пациентов после инсульта.

Современные роботизированные системы строят процесс реабилитации верхней конечности на тех же принципах, которые используются во время занятий с инструктором. Для эффективного формирования двигательного навыка на современном этапе используют как комбинированные методы, так и изолированное применение роботизированных механизмов [24]. Например, в 2021 г. A. Frisoli и соавт. провели рандомизированное исследование, включив в испытания 26 пациентов, перенесших инсульт и имеющих нарушения функции верхней конечности. Они разделили испытуемых на две группы. Одних реабилитировали с помощью роботизированных методов, других — с использованием мануальных техник. В качестве методов оценки эффективности исследователи применяли шкалу Фугл-Мейера, а также специально разработанный бимануальный тест активности. Они отметили статистически значимые отличия по обеим шкалам оценки. При этом значимое улучшение отмечали в проксимальной части руки у группы с роботизированными методами восстановления [25].

Современные высокотехнологичные устройства для реабилитации представляют собой мобильные или стационарные аппараты с различными функциями. Они могут как базироваться на принципах биологической обратной связи, так и использоваться для уменьшения нагрузки на мышцы конечности. По техническим характеристикам выделяют энд-эффекторы и экзоскелеты, при этом обе системы могут быть как запрограммированы заранее, так и настраиваться по ходу тренировочного процесса [25—28]. Жесткие роботизированные экзоскелеты для реабилитации верхней конечности представлены такими аппаратами, как ArmeoSpring, MIT-MANUS (Interactive Motion Technologies),

Mirror-Image Motion Enable Robot (MIME-robot) [22; 29—34]. Аппараты позволяют проводить тренировки пациентов в активно-пассивном режиме.

Аппарат ArmeoSpring за счет имеющихся двигателей позволяет обеспечить пассивные движения у пациентов с выраженными двигательными нарушениями при невозможности самостоятельных движений [32]. N. Brihmat и соавт. в 2020 г. провели рандомизированное исследование, включавшее 30 пациентов с нарушением функции верхней конечности после перенесенного инсульта. До начала и после завершения курса реабилитационных мероприятий с использованием аппарата ArmeoSpring пациентов тестировали при помощи упражнения «горизонтальный захват», которое включало в себя оценку пяти кинематических параметров: TaskTime (время выполнения — время, необходимое для выполнения упражнения); MovementTime (время движения — время одного движения при выполнении упражнения); Hand Path Ratio (коэффициент траектории руки — отношение между реальным путем в горизонтальной плоскости и кратчайшим возможным); PeakVel (пиковая скорость — максимальная абсолютная скорость, зарегистрированная во время каждого движения); nPeak (количество пиков скорости — количество раз, когда производная скорости меняет знак с положительного на отрицательный). Исследователи наблюдали значительные изменения по всем кинематическим оценкам, за исключением показателя PeakVel [32].

Аппарат MIT-MANUS — один из первых механизмов, с которого началась эпоха нейрореабилитации пациентов после инсульта. Первые клинические испытания аппарата провели в 1994 г. С тех пор он постоянно модернизировался [31]. Его использование направлено на тренировку не только одноплоскостных движений, но и на формирование многоплоскостных двигательных актов, что достигается за счет помощи в приведении и отведении плеча, а также в сгибании и разгибании в локтевом суставе [30]. Современные аппараты этого типа позволяют осуществлять биманульные тренировки как в пассивном, так и в активно-пассивном режиме для пациентов с выраженными нарушениями, автоматически подстраиваясь под их физические возможности. Вместе с тем имеются исследования, которые показывают отсутствие существенного влияния роботизированной реабилитации на снижение спастичности верхней конечности по сравнению со стандартной тренировкой [33].

Еще один аппарат для бимануальной тренировки — MIME-robot, который представляет собой жесткий экзоскелет для работы в режиме зеркального изображения [20]. В систематическом обзоре 2021 г. P. Vanquied и соавт. для оценки восстановления функции использовали шкалу Фугл-Мейера, тест ARAT и Grip Strength Test у пациентов после инсульта. После прохождения двухнедельного курса реабилитации установлено значительное отличие результатов по всем методам по сравнению с результатами контрольной группы [34].

Отличительной особенностью высокотехнологичных перчаток «Аника» и Gloreha служит возможность прямого контакта и взаимодействия с предметами ввиду отсутствия покрытия на ладонной поверхности перчатки, что улучшает показатели восстановления сенсорной обратной связи у пациентов [35; 36]. В 2019 г. Е. В. Екушева и А. А. Комазов исследовали эффективность билатерального применения перчатки «Аника». В исследовании участвовали 42 пациента после инсульта, которые имели различные степени нарушения мелкой моторики. Реабилитационная программа включала 10 занятий

с применением перчатки «Аника» (1 раз в день по 1 ч для каждой руки). После завершения курса исследователи отметили значимые статистические различия в большинстве показателей используемых методов оценки [36]. В 2019 г. P. Milia с группой исследователей оценили эффективность применения роботизированной перчатки Gloreha в течение 3 нед. В качестве методов оценки исследователи использовали модифицированную шкалу Ашворта, тест ловкости пальцев с девятью колышками и шкалу функциональной независимости. По окончании курса реабилитации исследователи установили значимые различия в показателях шкалы функциональной независимости и теста с девятью колышками. В свою очередь, значимых различий между контрольной и исследуемой группами в показателях спастичности, оцененной с помощью модифицированной шкалы Ашворта, выявлено не было [35]. Значительным недостатком перчаток «Аника» и Gloreha является отсутствие в них двигательных механизмов, что ограничивает их применение у пациентов с выраженными парезами.

Система Amadeo используется для тренировок дистального отдела верхней конечности и позволяет развивать как активные движения в пальцах кисти, так и проприоцептивную чувствительность. Эффективность данного аппарата была установлена в исследовании M. Germanotta и соавт. в 2020 г. В своей работе исследователи отметили значительное увеличение мышечной силы и улучшение показателей теста Френчай по окончании курса реабилитации [37].

Несмотря на имеющиеся преимущества в применении высоких технологий, использование их сопряжено с рядом недостатков. Роботизированные устройства для реабилитации часто требуют значительных денежных средств (как для приобретения, так и для обслуживания). Это делает их недоступными для многих медицинских учреждений и, соответственно, для пациентов. Большинство высокотехнологичных устройств требуют специальной подготовки персонала для их настройки и эксплуатации. Данный факт существенно затрудняет внедрение технологий в широкую практику. Хотя роботизированные системы могут быть запрограммированы для выполнения различных задач, они могут не учитывать все индивидуальные особенности пациента и, соответственно, не могут предоставить индивидуально адаптированное многоуровневое планирование и регулирование физической нагрузки в тренировочном процессе. Как правило, аппараты программируются в рамках предоставления одной методики, что затрудняет освоение различных двигательных стереотипов. Устройства представляют собой сложные высокотехнологичные аппараты и могут выходить из строя из-за ошибок в программном обеспечении. Стоит учитывать психологический статус пациентов: в силу возрастных и интеллектуальных особенностей они могут испытывать страх или дискомфорт при использовании роботизированных устройств, особенно если не привыкли к взаимодействию с технологиями. Несмотря на эти недостатки, роботизированные технологии продолжают развиваться, и многие из перечисленных проблем могут быть решены в будущем.

Важно помнить, что ключевым элементом успешной реабилитации является индивидуализированный подход, который учитывает не только физические, но и психоэмоциональные потребности пациента. Понимание сложности и многогранности этой проблемы способствует улучшению качества жизни пациентов и их возвращению к полноценной жизни. Проведенный обзор научной литературы указывает на актуальность

расширения существующей методологии реабилитации пациентов после инсульта путем внедрения новых методов, которые позволили бы исключить приведенные выше недостатки при сохранении их достоинств.

В зарубежной литературе накоплено большое количество исследований по использованию альтернативных активных методов.

D. Luu и группа исследователей рассмотрели использование восточной гимнастики на примере тайцзицюань в качестве метода активной реабилитации пациентов после инсульта и результат отразили в метаанализе, включившем 21 исследование. В 9 исследованиях оздоровительная система тайцзицюань улучшила результаты в тесте повседневной активности по сравнению с традиционной стратегией реабилитации. В исследованиях по оценке восстановления функции верхней конечности с помощью шкалы Фугл-Мейера восточная гимнастика также оказалась эффективнее. В 5 исследованиях по изучению влияния тайцзицюань на восстановление функции нижней конечности исследователи определили значительные улучшения в показателях шкалы Берга [38]. Цигун — восточная гимнастика, имеющая различные формы и направления. В систематическом обзоре, проведенном в 2023 г. и включившем 17 исследований и 1146 пациентов, сравнили влияние различных видов цигун и традиционных подходов в реабилитации пациентов после инсульта. Упражнения цигун показали более выраженный эффект в улучшении повседневной активности и двигательной функции у пациентов после инсульта [39]. Данные методики способны оказывать значительное влияние как на кардио-респираторную систему организма, так и на психоэмоциональное состояние пациентов после инсульта [40—42].

Имеющиеся факты относительно востребованности разработки новых методов активной реабилитации пациентов легли в основу пилотного исследования, организованного на базе кафедры медицинской реабилитации УО «Гродненский государственный медицинский университет» и отделений медицинской реабилитации УЗ «Гродненская областная клиническая больница медицинской реабилитации».

Цель исследования — поиск, адаптация и внедрение в практическую деятельность новых доступных методик реабилитации пациентов после инсульта, которые имеют перспективы широкого применения за счет простоты исполнения и позволяют проводить реабилитацию как на стационарном этапе медицинской реабилитации, так и в амбулаторных и домашних условиях, а также способствуют развитию мотивационной приверженности к процессу восстановления нарушенных функций у пациентов.

В пилотном исследовании принимали участие пациенты с двигательными нарушениями различной степени тяжести, возникшими после инсульта. В соответствии с дизайном исследования все пациенты были разделены на группы в зависимости от применяемых методов активной реабилитации. Все группы были сопоставимы между собой по количеству пациентов, полу, возрасту и степени тяжести двигательных нарушений. В каждой группе дополнительно применяли изучаемый метод: элементы CIMT, зеркальной терапии или идеомоторной тренировки, упражнения, направленные на решение функциональных задач. Предварительные результаты свидетельствуют о том, что значимых различий в качестве восстановления между группами обнаружено не было. Вместе с тем стоит отметить, что упражнения восточной гимнастики тайцзицюань и цигун в отличие от других изучаемых в исследовании методов реабилитации не

требуют использования дополнительного оборудования и, соответственно, могут выполняться пациентами самостоятельно в домашних условиях. Возможность самостоятельного выполнения без помощи инструктора способствует большему вовлечению пациентов в реабилитационный процесс и поддержанию высокого уровня мотивации и заинтересованности. В отличие от современных программ реабилитации элементы восточной гимнастики оказывают комплексное воздействие на пациента, в частности на кардио-респираторную систему, не только способствуя активации нейропластичности и восстановлению двигательных функций, но и являясь мягкими формами аэробной активности, а медитативный компонент упражнений позволяет корректировать психоэмоциональное состояние пациентов, снижая уровень тревожно-депрессивной симптоматики. Представляя собой легко адаптируемые комплексы, упражнения восточной гимнастики могут быть применены для пациентов с различной степенью двигательных нарушений.

Таким образом, проблема реабилитации пациентов после инсульта остается одной из самых актуальных в современной медицине. Разнообразие нарушений, возникающих вследствие инсульта, требует комплексного подхода и применения различных методов восстановительного лечения, включая инновационные технологии. Современные методы реабилитации верхних конечностей, такие как нейрофизиологические подходы, тренировки на основе двигательных образов, зеркальная терапия, а также использование высокотехнологичных роботизированных систем, значительно расширяют возможности восстановления утраченных функций. Несмотря на свою эффективность, многие из этих технологий остаются дорогостоящими и труднодоступными для широкого применения в медучреждениях, что создает определенные препятствия для их интеграции в повседневную практику. В свою очередь, применение оздоровительных систем восточной гимнастики, таких как тайцзицюань и цигун, имеет перспективы развития в качестве эффективного метода в комплексной медицинской реабилитации пациентов после инсульта.

Выводы

1. Эффективные методы активной реабилитации верхней конечности базируются на концепции нейропластичности и включают как стандартные подходы, так и подходы с использованием современных высокотехнологичных аппаратов.
2. Подходы с использованием высокотехнологичных механизмов имеют ряд ограничений, что делает актуальным не только их дальнейшее развитие и модификации, но и поиск методов, сопровождающихся меньшим количеством ресурсных затрат с сохранением эффективности восстановления функции.
3. Упражнения восточной гимнастики (тайцзицюань и цигун) оказывают комплексное воздействие и положительный эффект, сопоставимый с таковым у стандартных подходов реабилитации постинсультных пациентов, могут быть рассмотрены как эффективные методы активной реабилитации, не требующие больших материально-технических затрат.

Литература

1. Прогностические факторы летального исхода у пациентов с геморрагическим инсультом : ретроспективное когортное исследование в многопрофильной клинике Алматы / Е. С. Жуков, Е. К. Дюсембеков, П. А. Елясин [и др.] // Вестник КазНМУ. — 2024. — Т. 3, № 70. — С. 1—11.
2. Смычек, В. Б. Клинико-патофизиологические особенности церебрального гипертонического криза / В. Б. Смычек, Н. В. Галиновская // Казанский медицинский журнал. — 2016. — Т. 97, № 2. — С. 181—187.
3. Аспекты реабилитации пациентов после инсульта. Обзор литературы / Г. К. Кайратова, З. А. Хисметова, Ж. М. Жуманбаева [и др.] // Science & Healthcare. — 2022. — Т. 24, № 2. — С. 103—111.
4. Исакова, Е. В. Визуальная и акустическая обратная связь по опорной реакции для нижних и верхних конечностей на примере пациентки после инсульта / Е. В. Исакова, Ю. В. Егорова // Альманах клинической медицины. — 2021. — Т. 49, № 6. — С. 435—442.
5. Связь двигательного стереотипа и локализации очага в раннем восстановительном периоде легкого ишемического инсульта / И. А. Беляева, М. Ю. Мартынов, Я. Г. Пехова [и др.] // Журнал неврологии и психиатрии им. С. С. Корсакова. — 2019. — Т. 119, № 3. — С. 53—61.
6. Кандыба, Д. В. Основы ухода за пациентом после инсульта / Д. В. Кандыба // Российский семейный врач. — 2019. — Т. 23, № 2. — С. 5—14.
7. Пизова, Н. В. Боль после инсульта и реабилитация (клиническое наблюдение) / Н. В. Пизова, Н. А. Пизов, М. С. Мареев // РМЖ. Медицинское обозрение. — 2023. — Т. 7, № 10. — С. 672—679.
8. Does a combination treatment of repetitive transcranial magnetic stimulation and occupational therapy improve upper limb muscle paralysis equally in patients with chronic stroke caused by cerebral hemorrhage and infarction? : a retrospective cohort study / H. Tatsuno, T. Hamaguchi, J. Sasanuma [et al.] // Medicine (Baltimore). — 2021. — Vol. 100, № 24. — DOI: 10.1097/MD.00000000000026339.
9. Sensorimotor, attentional, and neuroanatomical predictors of upper limb motor deficits and rehabilitation outcome after stroke / D. D'Imperio, Z. Romeo, L. Maistrello [et al.] // Neural Plasticity. — 2021. — № 1. — DOI: 10.1155/2021/8845685.
10. Мищенко, В. Н. Нейропластичность и постинсультные когнитивные нарушения (терапевтические возможности) / В. Н. Мищенко, Л. П. Забродина // Международный неврологический журнал. — 2020. — Т. 16, № 1. — С. 42—49.
11. Arm-hand boost therapy during inpatient stroke rehabilitation : a pilot randomized controlled trial / S. Meyer, G. Verheyden, K. Kempeneers, M. Michielsen // Frontiers in neurology. — 2021. — Vol. 12. — DOI: 10.3389/fneur.2021.652042.
12. Christie, L. J. Constraint-induced movement therapy for upper limb recovery in adult neurorehabilitation : an international survey of current knowledge and experience / L. J. Christie, A. McCluskey, M. Lovarini // Australian Occupational Therapy Journal. — 2019. — Vol. 66, № 3. — P. 401—412.
13. Effects of constraint-induced movement therapy on activity and participation after a stroke : systematic review and meta-analysis / J. A. de Azevedo, F. D. Silva Barbosa, V. M. Seixas [et al.] // Frontiers in Human Neuroscience. — 2022. — № 16. — DOI: 10.3389/fnhum.2022.987061.
14. Ehrsson, H. H. Imagery of voluntary movement of fingers, toes, and tongue activates corresponding body-part-specific motor representations / H. H. Ehrsson, S. Geyer, E. Naito // The Journal of Neurophysiology. — 2003. — Vol. 90, № 5. — DOI: 10.1152/JN.01113.2002.
15. Mental practice for treating upper extremity deficits in individuals with hemiparesis after stroke / R. E. Barclay, T. J. Stevenson, W. Poluha [et al.] // Cochrane Library. — URL: <https://www.cochranelibrary.com/cdsr/doi/10.1002/14651858.CD005950.pub5/full> (date of access: 27.01.25).
16. Motor imagery and mental practice in the subacute and chronic phases in upper limb rehabilitation after stroke : a systematic review / E. Villa-Berges, A. A. Laborda Soriano, O. Lucha-Lopez [et al.] // Occupational Therapy International. — 2023. — № 2023. — DOI: 10.1155/2023/3752889.

17. Corrigendum to "The mirror illusion induces high gamma oscillations in the absence of movement" / A. Butorina, A. O. Prokofyev, M. Nazarova [et al.] // *NeuroImage*. — 2015. — № 107. — DOI: 10.1016/j.neuroimage.2014.09.024.
18. Mirror therapy in upper limb motor recovery and activities of daily living, and its neural correlates in stroke individuals : a systematic review and meta-analysis / N. G. de H. M. Nogueira, J. O. Parma, S. E. S. de Assis Leao [et al.] // *Brain Research Bulletin*. — 2021. — Vol. 177. — P. 217–238.
19. Rehabilitation of motor function after stroke : a multiple systematic review focused on techniques to stimulate upper extremity recovery / S. M. Hatem, G. Saussez, M. D. Faille [et al.] // *Frontiers in Human Neuroscience*. — 2016. — № 10. — DOI: 10.3389/fnhum.2016.00442.
20. Gassert, R. Rehabilitation robots for the treatment of sensorimotor deficits: a neurophysiological perspective / R. Gassert, V. Dietz // *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. — 2018. — № 15. — P. 46–51.
21. Khalili, D. An intelligent robotic system for rehabilitation of joints and estimation of body segment parameters / D. Khalili, M. Zomlefer // *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*. — 1988. — Vol. 35, № 2. — P. 138–146.
22. Vukobratovic, M. Development of active anthropomorphic exoskeletons / M. Vukobratovic, D. Hristic, Z. Stojiljkovic // *Journal of Medical and Biological Engineering*. — 1974. — № 12. — P. 66–80.
23. Patient and staff acceptance of robotic technology in occupational therapy : a pilot study / M. P. Dijkers, P. C. deBear, R. F. Erlandson [et al.] // *Journal of Rehabilitation Research and Development*. — 1991. — Vol. 28, № 2. — P. 33–44.
24. Использование метода роботизированной кинезиотерапии у пациентов с последствиями инсульта / В. А. Бронников, В. Б. Смычек, Ю. А. Мавликаева [и др.] // *Consilium Medicum*. — 2017. — Т. 19, № 2.1. — С. 49–52.
25. A randomized clinical control study on the efficacy of three-dimensional upper limb robotic exoskeleton training in chronic stroke / A. Frisoli, M. Barsotti, E. Sotgiu [et al.] // *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. — 2022. — № 19. — P. 14–28.
26. Чуканова, Е. И. Хроническая ишемия мозга, нейропластичность, возможности терапии / Е. И. Чуканова, А. С. Чуканова // *Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика*. — 2017. — Т. 9, № 2. — С. 102–107.
27. Принципы и опыт применения роботизированных реабилитационных технологий у пациентов после инсульта / Е. С. Королева, В. М. Алифорова, А. В. Латыпова [и др.] // *Бюллетень сибирской медицины*. — 2019. — Т. 18, № 2. — С. 223–233.
28. Ozen, O. Towards functional robotic training: motor learning of dynamic tasks is enhanced by haptic rendering but hampered by arm weight support / O. Ozen, K. A. Buetler, L. Marchal-Crespo // *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. — 2022. — № 19. — P. 19–37.
29. A structured overview of trends and technologies used in dynamic hand orthoses / R. A. Bos, C. J. W. Haarman, T. Stortelder [et al.] // *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. — 2016. — Vol. 13, № 1. — P. 62–87.
30. Using an upper extremity exoskeleton for semi-autonomous exercise during inpatient neurological rehabilitation — a pilot study / I. Busching, A. Sehle, J. Sturmer, J. Liepert [et al.] // *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. — 2018. — Vol. 15, № 1. — P. 72–79.
31. Robot-Aided Neurorehabilitation / H. I. Krebs, N. Hogan, M. L. Aisen, B. T. Volpe // *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*. — 1998. — Vol. 6, № 1. — P. 75–87.
32. Kinematic parameters obtained with the ArmeoSpring for upper-limb assessment after stroke : a reliability and learning effect study for guiding parameter use / N. Brihmat, I. Loubinoux, E. Castel-Lacanal [et al.] // *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. — 2020. — Vol. 17, № 1. — P. 130–142.
33. Increasing motor cortex activation during grasping via novel robotic mirror hand therapy : a pilot fNIRS study / D. H. Kim, K.-D. Lee, Th. C. Bulea [et al.] // *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. — 2022. — Vol. 19, № 1. — P. 8–22.

34. *Brain-computer interface robotics for hand rehabilitation after stroke : a systematic review* / P. D. E. Baniqued, E. C. Stanyer, M. Awais [et al.] // *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. — 2021. — Vol. 18, № 1. — P. 15—40.
35. *Rehabilitation with robotic glove (Gloreha) in poststroke patients* / P. Milia, M. Peccini, F. De Salvo [et al.] // *Digital Medicine*. — 2019. — Vol. 5, № 2. — P. 62—67.
36. Екушева, Е. В. Использование реабилитационной перчатки «Аника» пациентами после инсульта: возможности повышения функционального восстановления / Е. В. Екушева, А. А. Комазов // *Фарматека*. — 2019. — Т. 26, № 13. — С. 30—33.
37. *Reliability, validity and discriminant ability of a robotic device for finger training in patients with subacute stroke* / M. Germanotta, V. Gower, D. Papadopoulou [et al.] // *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. — 2020. — № 17. — P. 1—10.
38. *Tai chi for stroke rehabilitation: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials* / D. Lyu, X. Lyu, Y. Zhang [et al.] // *Frontiers in Physiology*. — 2018. — № 9. — DOI: 10.3389/fphys.2018.00983.
39. *Guan, F. Effect of health Qigong on rehabilitation of stroke patients : a systematic review and meta-analysis* / F. Guan, Q. Ji // *Journal of Integrative Nursing and Palliative Care*. — 2023. — № 5. — P. 15—20.
40. *Effects of Taijiquan and Qigong exercises on depression and anxiety levels in patients with substance use disorders : a systematic review and meta-analysis* / P. Zhang, Z. Li, Q. Yang [et al.] // *Sports Medicine and Health Science*. — 2022. — Vol. 4, № 2. — P. 85—94.
41. *The effect of tai chi training on cardiorespiratory fitness in healthy adults : a systematic review and meta-analysis* / G. Zheng, Sh. Li, M. Huang [et al.] // *PLOS ONE*. — 2015. — Vol. 10, № 2. — DOI: 10.1371/journal.pone.0117360.
42. *Traditional chinese exercise for cardiovascular diseases : systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials* / X. Wang, Y.-L. Pi, P.-J. Chen [et al.] // *Journal of the American Heart Association*. — 2016. — Vol. 5, № 3. — DOI: 10.1161/JAHA.115.002562.

Контактная информация:

Соколов Дмитрий Вячеславович — аспирант кафедры медицинской реабилитации.
Гродненский государственный медицинский университет.
Ул. Горького, 80, 230009, г. Гродно.
Сл. тел. +375 152 68-58-92.

Участие авторов:

Концепция и дизайн исследования: Д. В. С., Л. А. П., В. В. Б.-Г.
Сбор информации и обработка материала: Д. В. С.
Написание текста: Д. В. С.
Редактирование текста: Д. В. С., Л. А. П., В. В. Б.-Г.

Конфликт интересов отсутствует.

Поступила 05.03.2025
Принята к печати 27.03.2025