

DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab689262>

EDN: WRCSQN

Современные технологии реабилитации плечевого сустава после инсульта: сочетание доказательных методов и перспективных технологий (обзор литературы)

Д.О. Савчиц, С.В. Прокопенко, С.А. Субочева

Красноярский государственный медицинский университет имени профессора В.Ф. Войно-Ясенецкого, Красноярск, Россия

АННОТАЦИЯ

Нарушение функции плечевого сустава после инсульта, наблюдаемое у 12–64% пациентов, приводит к болевому синдрому, развитию контрактур и подвывиха, что значительно снижает качество жизни пациентов и затрудняет их реабилитацию. С целью подтверждения того, что реабилитация плечевого сустава после инсульта является сложной, но решаемой задачей, выполнен анализ 38 научных статей по данной тематике, опубликованных в период 2014–2025 годов. Поиск статей проводился с использованием ключевых слов из открытых баз данных PubMed, Cochrane, eLibrary, Scopus. Для обзора были отобраны все материалы, соответствующие теме исследования, опубликованные на русском и английском языках.

В данном обзоре представлена краткая анатомия плечевого сустава и даны современные, основанные на принципах доказательной медицины методы восстановления функций плеча, пострадавших в результате критического нарушения мозгового кровообращения. Проанализированы как традиционные (ортезирование, тейпирование, использование бандажей, ботулинотерапия), так и инновационные (функциональная электростимуляция, роботизированная терапия, виртуальная реальность, компьютерное зрение и искусственный интеллект) технологии. Подчеркивается важность раннего начала восстановительного лечения с акцентом на стабилизацию плечелопаточного комплекса; персонализированного комплексного подхода на основе степени пареза, спастичности и стадии инсульта; внедрения высокотехнологичных решений в клиническую практику, а также комбинирования различных методов реабилитации, что даёт большую эффективность, чем монотерапия.

Полученные результаты демонстрируют, что современные комплексные реабилитационные стратегии создают новые перспективы для восстановления функции верхней конечности, требуя при этом адаптации новых инструментов к реальной клинической практике для улучшения качества жизни пациентов после инсульта.

Ключевые слова: реабилитация; плечевой сустав; постинсультные осложнения; искусственный интеллект; компьютерное зрение; обзор.

Как цитировать:

Савчиц Д.О., Прокопенко С.В., Субочева С.А. Современные технологии реабилитации плечевого сустава после инсульта: сочетание доказательных методов и перспективных технологий (обзор литературы) // Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация. 2025. Т. 7, № 3. С. In Press. DOI: 10.36425/rehab689262 EDN: WRCSQN

DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab689262>

EDN: WRCSQN

Modern Technologies for Post-Stroke Shoulder Joint Rehabilitation: Combining Evidence-Based Methods and Promising Technologies: A Review

Daria O. Savchits, Semen V. Prokopenko, Svetlana A. Subocheva

Professor V.F. Voino-Yasenetsky Krasnoyarsk State Medical University, Krasnoyarsk, Russia

ABSTRACT

Shoulder joint dysfunction after stroke, observed in 12%–64% of patients, leads to pain, the development of contractures and subluxation, significantly reducing patients' quality of life and complicating their rehabilitation. To confirm that rehabilitation of shoulder joint dysfunction after stroke is a complex but achievable task, an analysis of 38 scientific articles published between 2014 and 2025 was conducted. A search of articles was performed using keywords in open-access databases including *PubMed*, *Cochrane*, *eLIBRARY.RU*, and *Scopus*. All materials relevant to the research topic and published in Russian and English were included in this review. This review presents a brief overview of shoulder joint anatomy and current evidence-based methods for restoring shoulder function impaired as a result of cerebrovascular disorders. Both traditional (orthoses, taping, braces, botulinum toxin therapy) and innovative (functional electrical stimulation, robotic therapy, virtual reality, computer vision, and artificial intelligence) technologies were analyzed. Emphasis is placed on the importance of early initiation of rehabilitation, focusing on scapulohumeral stabilization; a personalized comprehensive approach based on the degree of paresis, spasticity, and stroke stage; integration of high-tech solutions into clinical practice; and combining different rehabilitation methods, which is more effective than monotherapy. The results demonstrate that modern comprehensive rehabilitation strategies create new prospects for upper limb function recovery whereas highlighting the need to adapt novel tools for real-world clinical practice to improve the quality of life in patients after stroke.

Keywords: rehabilitation; shoulder joint; post-stroke complications; artificial intelligence; computer vision; review.

To cite this article:

Savchits DO, Prokopenko SV, Subocheva SA. Modern Technologies for Post-Stroke Shoulder Joint Rehabilitation: Combining Evidence-Based Methods and Promising Technologies: A Review. *Physical and rehabilitation medicine, medical rehabilitation*. 2025;7(3):In Press. DOI: 10.36425/rehab689262
EDN: WRCSQN

Submitted: ???.?.2025

Accepted: ???.?.2025

Published online: ???.?.2025

ВВЕДЕНИЕ

Нарушение работы плечевого сустава у пациентов после инсульта, согласно различным литературным источникам, наблюдается в 12–64% случаев [1–3]. Несвоевременная реабилитация приводит к развитию серьёзных осложнений, таких как болевой синдром [1], подвывих плеча [3] и формирование контрактур [4], которые в свою очередь создают значительные препятствия к восстановительному процессу, вызывая стойкие нарушения бытовой активности, снижая качество жизни пациентов и увеличивая нагрузку на медицинский персонал и лиц, осуществляющих уход¹. Современные исследования в области нейрореабилитации подчёркивают необходимость раннего начала восстановительных мероприятий, важность комплексного подхода и формирования индивидуальных программ реабилитации плеча у пациентов после перенесённого инсульта¹.

В данном обзоре систематизированы современные, основанные на принципах доказательной медицины подходы к реабилитации с акцентом на анатомо-функциональных особенностях биомеханики плечевого сустава, а также клинически подтверждённые методы коррекции двигательных нарушений.

¹ National Clinical Guideline for Stroke for the UK and Ireland [2023 May 4]. London: Intercollegiate Stroke Working Party; 2023. Available at: www.strokeguideline.org

Методология поиска источников

Обзор литературы составлен на основании анализа 38 опубликованных ранее исследований по данной тематике. Поиск статей проводился с использованием ключевых слов «реабилитация», «плечевой сустав», «постинсультные осложнения» из открытых баз данных PubMed, Cochrane, eLibrary, Scopus. Для обзора были отобраны все материалы, соответствующие теме исследования, опубликованные на русском и английском языках в период с 2014 по 2025 год.

КРАТКАЯ АНАТОМИЯ ПЛЕЧЕВОГО СУСТАВА

Верхний плечевой пояс состоит из трёх костей и четырёх суставов. К костям плечевого сустава относятся ключица, лопатка и плечевая кость. Этими костями образованы четыре сустава — плечевой, грудино-ключичный, акромиально-ключичный и лопаточно-грудной.

Плечевой сустав представляет собой самое подвижное сочленение человеческого организма, что обусловлено его уникальной анатомической структурой и делает его основным в выполнении повседневных задач. Плечевой сустав — шаровидный, образован суставной впадиной лопатки и головкой плечевой кости, имеет три оси движения — вертикальную, сагитальную и поперечную. Основные типы движения в плечевом суставе включают (рис. 1) [5]:

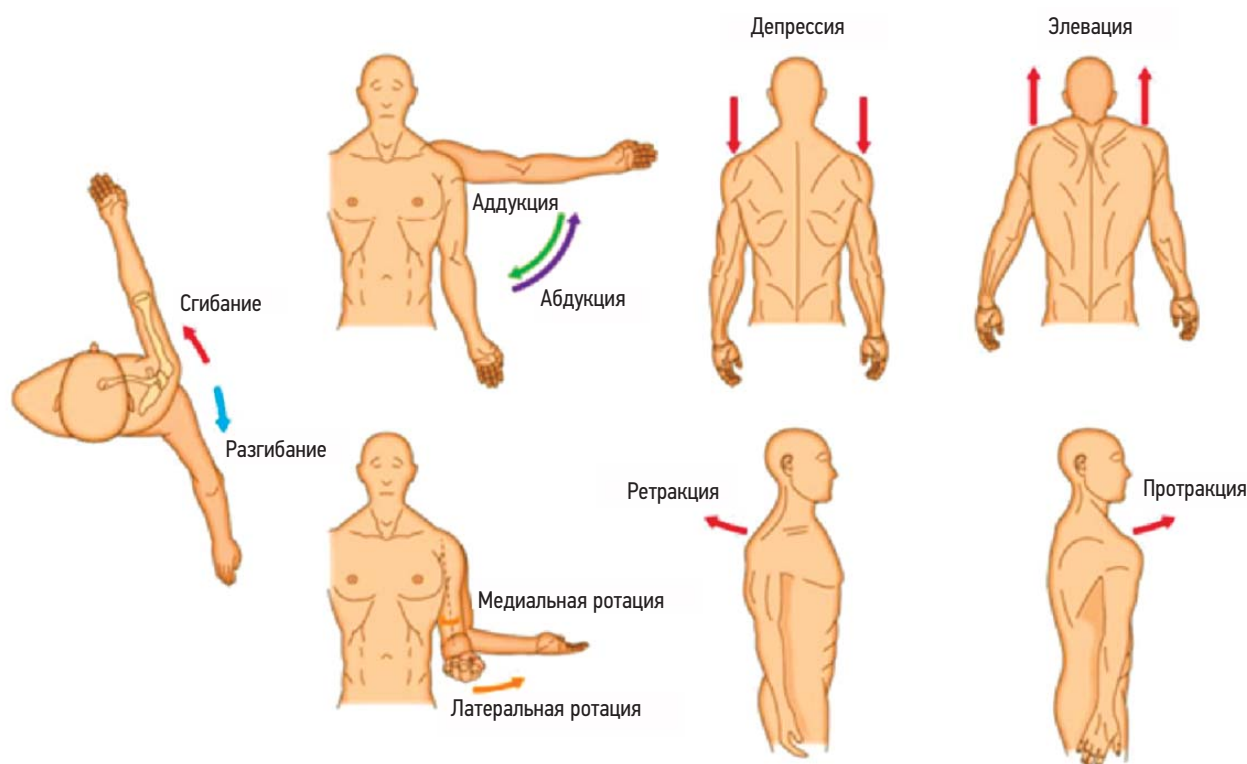


Рис. 1. Движения в верхнем плечевом поясе. Источник: заимствовано из [5].

Fig. 1. Movements of the upper shoulder girdle. Source: adapted from [5].

- сгибание (подъём руки вперёд до 180 градусов с участием лопатки) / разгибание (движение руки назад до 60 градусов);
- отведение (подъём руки в сторону до 180 градусов с участием лопатки) / приведение (возвращение руки к туловищу);
- наружную (поворот плеча наружу) и внутреннюю (поворот плеча внутрь) ротацию;
- круговое движение (комбинация сгибания, отведения, разгибания и приведения, т.е. конусообразное движение).

В лопаточно-ключичном поясе выделяют дополнительные движения, которые влияют на положение лопатки и ключицы и, соответственно, на функциональность плечевого сустава, а именно протракцию (выдвижение лопатки вперёд) / ретракцию (сведение лопаток назад) и элевацию (подъём лопатки вверх) / депрессию (опускание лопатки вниз). Широкий диапазон движений в плечевом суставе обеспечивается сложным взаимодействием развитой мускулатуры и прочного связочного аппарата. Нарушение функции любого из этих элементов приводит к значительным ограничениям в выполнении повседневных бытовых задач.

Высокая подвижность плечевого сустава напрямую сопряжена с относительной нестабильностью, обусловленной его анатомическими особенностями, главной из которых является несоответствие размеров суставных поверхностей. Суставная ямка покрывает менее 25–30% головки плечевой кости, что создаёт анатомическую

неконгруэнтность — несовпадение форм суставных поверхностей, обеспечивающее высокую подвижность сустава. Слабая суставная капсула и большие размеры головки плечевой кости обеспечивают высокую степень свободы движения в данном суставе, что делает его самым подвижным в организме и одновременно самым нестабильным [6].

Статическая устойчивость плечевого сустава зависит от суставной капсулы, формы суставных поверхностей и суставной губы (*labrum articulare* — фиброзный хрящ), в то время как динамическая стабильность плечевого комплекса обусловлена связочным аппаратом и тремя основными группами мышц. Первая группа — плечелопаточная — состоит из мышц вращательной манжеты плеча (надостная, подостная, малая круглая и подлопаточная), вторая группа — аксиолопаточная — из мышц, которые действуют на лопатку (ромбовидная, трапециевидная, передняя зубчатая и мышца, поднимающая лопатку), третья группа — аксиоплечевая — из мышц, которые берут начало на грудной клетке и прикрепляются к плечевой кости (широчайшая мышца спины и большая грудная мышца). Мышечная сила, создаваемая тремя основными группами мышц во время выполнения движений в плечевом суставе, улучшает его стабильность, сближая головку плечевой кости с суставной ямкой. Большое количество мышц обеспечивает широкий диапазон движения и защищает плечевой сустав от механических повреждений (рис. 2).

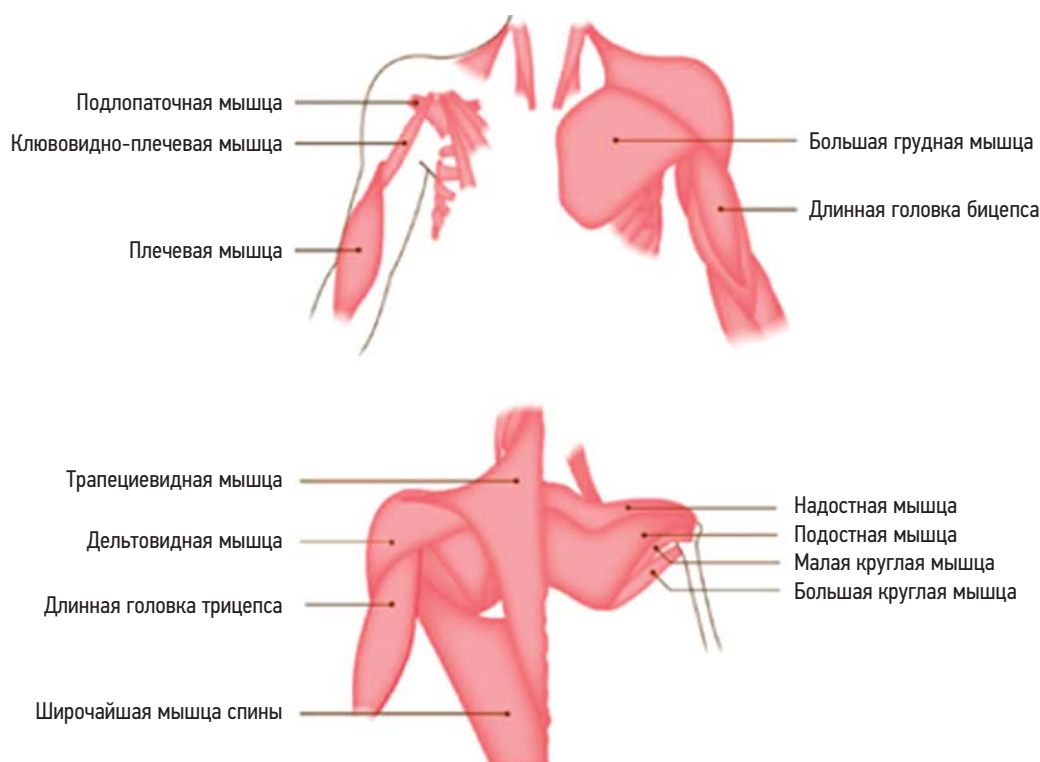


Рис. 2. Мышцы верхнего плечевого пояса. Источник: заимствовано из [5].

Fig. 2. Muscles of the upper shoulder girdle. Source: adapted from [5].

У пациентов, перенёсших острое нарушение мозгового кровообращения, наблюдается нарушение работы в мышцах плечевого пояса в виде спастичности и мышечной слабости. Повышенный тонус возникает, как правило, в приводящих и сгибающих мышцах, чаще всего страдают внутренние ротаторы плеча (подлопаточная и большая грудная мышца) и широчайшая мышца спины. Слабость с гипотонией чаще возникают в мышцах-антагонистах — наружных ротаторах (подостная и малая круглая) и стабилизаторах лопатки (передняя зубчатая, трапециевидная) — и приводят к нарушению координации и потери синхронности в работе данных мышц. Возникновение таких нарушений в мышцах плечевого пояса приводит к определённым биомеханическим последствиям, а именно формированию синдрома «замороженного плеча» (адгезивный капсулит), сублюксации и появлению болевого синдрома.

В последнее время всё чаще публикуются исследования, которые демонстрируют, что реабилитация проксимального отдела руки может косвенно влиять на восстановление функции кисти, а также улучшать равновесие и ходьбу у пациентов после перенесённого инсульта [7, 8]. Таким образом, при разработке реабилитационных программ необходимо учитывать данные механизмы, также важно соблюдать принцип этапного воздействия: от пассивных и активно-пассивных движений на ранних этапах до сложных функциональных упражнений, направленных на восстановление бытовой активности по мере восстановления мышечного контроля.

ПОДХОДЫ К РЕАБИЛИТАЦИИ

Профилактика подвывиха плечевого сустава

Сублюксация плечевого сустава — частое осложнение у пациентов после инсульта, которое встречается в 17–64% случаев [3]. В первые три-четыре недели после инсульта в верхней конечности наблюдается вялый парез, соответственно, мышцы плеча из-за сниженной силы и гипотонуса не могут должным образом закрепить головку плечевой кости в суставной впадине. Слабость мышц вращательной манжеты плеча и вес паретичной руки вызывают смещение головки плечевой кости вниз из неглубокой суставной ямки, вызывая тем самым подвывих плеча. Нарушение механической целостности и стабильности сустава приводит к пальпируемому зазору между акромионом и головкой плечевой кости.

Подвывихом плеча после инсульта обусловлено и развитие гемиплегической боли, контрактур, а также вторичное необратимое повреждение связок, суставной капсулы, нервов и кровеносных сосудов, что в свою очередь может привести к серьёзным ограничениям в повседневной деятельности, в том числе нарушению

равновесия [3]. Для профилактики подвывиха плеча применяют ортезы и бандажи на плечевой сустав, тейпирование, а также различные виды нейростимуляции.

Один из методов профилактики и лечения сублюксации плечевого сустава — применение ортезов, обеспечивающих механическую поддержку сустава. В недавнем исследовании M.G. Kim и соавт. [3] было выявлено, что ношение плечевых ортезов сразу после вертикализации пациента снижает риск развития гемиплегической боли в плече и уменьшает подвывих. В результате этого пациенты могли более активно участвовать в реабилитации верхней конечности, что позволило им максимально увеличить своё функциональное восстановление и независимость. По результатам систематического обзора литературы M. Nadler и M. Pauls [9] также было показано, что ношение ортезов уменьшает вертикальный подвывих, снижает риск развития гемиплегической боли в плече. В исследовании G. Morone и соавт. [10] ношение плечевого бандажа (N1-Neurosling) положительно влияло на поструральную устойчивость пациентов, что способствовало снижению риска падения по сравнению с контрольной группой, а также уменьшению боли в плечевом поясе (рис. 3).



Рис. 3. Плечевой бандаж N1-Neurosling. Источник: заимствовано из [10].

Fig. 3. Computer vision in shoulder joint rehabilitation (photographs by the authors).

Исследования показали, что механическая поддержка плеча снижала степень подвывиха в первые недели после инсульта, однако до сих пор нет клинических рекомендаций, касающихся длительности ношения ортезов и бандажей в постинсультном периоде. При более детальном изучении опубликованных исследований можно дать общие рекомендации по длительности ношения бандажа. Краткосрочное ношение показано в острый период инсульта на стадии вялого пареза с целью профилактики подвывиха. Ортез снимают при появлении активных движений в проксимальном отделе руки [11]. У пациентов с тяжёлым парезом и высоким риском подвывиха требуется длительное ношение бандажа в сочетании с упражнениями и электростимуляцией для предотвращения мышечной атрофии [12].

Тейпирование плечевого сустава также является эффективным методом профилактики подвывиха плечевого сустава после инсульта у пациентов с лёгким парезом руки. В литературных обзорах [13, 14] тейпирование позиционируется как вспомогательный метод, который способствует уменьшению сублюкации и боли в плече.

Другим видом профилактики подвывиха плечевого сустава является нейростимуляция — функциональная электростимуляция и нервно-мышечная стимуляция: оба метода используют электрические импульсы для активации мышцы, но отличаются целями и клиническим применением. Основная цель нервно-мышечной стимуляции — укрепление мышц и улучшение трофики тканей путём воздействия на отдельные мышцы в покое. Основные показания для использования данного метода в реабилитации — профилактика атрофии при вялом парезе (первые две-четыре недели после инсульта) и снижение мышечного тонуса за счёт стимуляции антагонистов спастичных мышц [15]. Функциональная электростимуляция — метод стимуляции ослабленных мышц для получения мышечных сокращений, напоминающих сокращения при выполнении функциональных задач. Метод направлен на восстановление конкретных движений (например, захват предмета) и синхронизирован с активностью пациента. Основными мишенями для стимуляции в плечевом поясе являются надостная и дельтовидная мышцы, что способствует стабилизации головки плечевой кости [16]. Результаты метаанализа [17] показали, что функциональная электростимуляция может использоваться для предотвращения или уменьшения подвывиха плеча.

Коррекция спастичности мышц плечевого сустава

Спастичность мышц — одно из наиболее частых постинсультных проявлений, которое встречается у 30–80% пациентов [18]. Для него характерно повышение

мышечного тонуса в сгибателях и приводящих мышцах (большая грудная, подлопаточная, широчайшая мышца спины), что приводит к ограничению амплитуды движения, вторичным контрактурам и болевому синдрому.

Ботулинотерапия (инъекции ботулотоксина типа А) является современным, доказанным и эффективным методом коррекции спастичности плеча после инсульта, обеспечивающим временную хемоденервацию (ослабление) гиперактивных мышц. Основные мишени для терапии спастичности — большая грудная, широчайшая и подлопаточная мышцы. Инъекции ботулотоксина типа А снижают мышечный тонус на 1,5–2 балла по шкале Эшворта (Ashworth scale) через 2–4 недели с сохранением эффекта до 3–4 месяцев [19]. Клинические исследования демонстрируют, что инъекции ботулотоксина способствуют уменьшению болевого синдрома и увеличению диапазона движений [20]. Оптимальные результаты реабилитации, по данным метаанализа [21], достигаются при комбинации с физической терапией, включая растяжку и тренировку мышц-антагонистов. Наибольший эффект наблюдался при сочетании ботулинотерапии с традиционной лечебной физкультурой, растяжкой, ношением ортеза или применением нейростимуляции.

Нейромодуляционные методы (транскраниальная магнитная стимуляция) занимают одно из ключевых мест в современных протоколах реабилитации, предлагая неинвазивные подходы к коррекции двигательных нарушений. Основой метода является подавление гиперактивности в контралатеральном полушарии. Низкочастотная транскраниальная магнитная стимуляция над контралатеральной моторной корой (1 Гц) уменьшает мышечный тонус и улучшает функцию руки. По данным исследований [22, 23], 10 сеансов транскраниальной магнитной стимуляции улучшали показатели по шкале Фугл-Мейера (Fugl-Meyer Assessment) и уменьшали мышечный тонус по модифицированной шкале Эшворта (Modified Ashworth scale).

Восстановление функции плечевого сустава

Функциональное восстановление плеча после инсульта требует комплексного подхода, который должен быть направлен на нормализацию мышечного баланса, восстановление активного контроля движений, улучшение координации и точности движений. Особенно важно интегрировать работу плеча в повседневную деятельность человека.

Роботизированная терапия представляет собой современный подход к восстановлению функции плеча с использованием программируемых устройств и экзоскелетов, обеспечивающих точные и дозированные движения с биологической обратной связью. Ключевые преимущества заключаются в возможности адаптивной

нагрузки, объективном мониторинге процесса и возможности интеграции с виртуальной реальностью. По данным ряда систематических обзоров литературы [24–28], применение роботизированной терапии в реабилитации плеча позволяет уменьшить боль в плече, снизить спастичность и увеличить диапазон движения в паретичной руке.

В современной реабилитационной практике выделяют два принципиально разных подхода к роботизированной терапии — пассивные и активно-вспомогательные. Пассивные роботизированные системы — устройства, которые не обеспечивают дополнительное силовое воздействие через свои приводные механизмы, а лишь поддерживают и направляют движения пациента. Активно-вспомогательные роботизированные комплексы оснащены приводами, которые компенсируют недостаток мышечной силы пациента, помогая выполнять движения при выраженном парезе [29].

Перспективным направлением является разработка экзоскелетов с управлением движений на основе искусственного интеллекта, которые могут адаптироваться к мышечной активности пациента в реальном времени [30].

Терапия с использованием виртуальной реальности (VR-терапия) представляет собой один из инновационных методов реабилитации, позволяющих улучшить функциональное восстановление плечевого сустава после инсульта за счёт интерактивных тренировок в контролируемой среде. Современные системы виртуальной реальности обеспечивают проведение тренировок, включающих выполнение функциональных задач, таких как достижение цели, хват и другие манипуляции с виртуальными объектами; также VR-терапия обеспечивает биологическую обратную связь в реальном времени и адаптацию сложного упражнения под возможности пациента. Наиболее важными результатами, по мнению исследователей, было улучшение повседневной активности и движения верхней конечности (увеличение балла по шкале Фугл-Мейера) [31, 32].

Реабилитация с применением технологий виртуальной реальности становится перспективной для домашнего использования, демонстрируя высокую эффективность. Современные исследования подтверждают, что VR-терапия может успешно применяться пациентом, сохраняя при этом свои терапевтические преимущества [33]. В настоящее время активно ведутся разработки, направленные на улучшение проприоцепции: так, например, разрабатывают перчатки с функцией передачи температуры и веса виртуального объекта, которым манипулирует пользователь [34].

Искусственный интеллект и компьютерное зрение в последние годы активно применяются для реабилитации пациентов с постинсультным поражением плеча. Данные технологии используют как для оценки

результатов реабилитации, так и в самом процессе восстановительного лечения [35]. Для клинической оценки и прогнозирования результатов реабилитации разработаны алгоритмы искусственного интеллекта и датчики движения, анализирующие через камеру двигательную активность руки пациента и автоматически определяющие баллы по шкале Фугл-Мейера. Данная технология позволяет упростить процесс тестирования и даёт возможность проводить его удалённо [36]. Носимые датчики движения, обученные на определение конкретных движений, способны анализировать качество выполняемых упражнений, облегчая отслеживание прогресса реабилитации. Технология искусственного интеллекта даёт возможность проведения дистанционной реабилитации верхней конечности [37].

Современные системы компьютерного зрения, использующие глубинный анализ и технологии захвата движения, позволяют проводить безмаркерную (т.е. не требующую специальных датчиков, меток или маркеров) гониометрию плечевого и других суставов верхних конечностей без непосредственного участия врача [37]. Технологии компьютерного зрения находят всё более широкое применение в реабилитационной практике, включая восстановление функции плечевого сустава. В настоящее время проходит апробацию инновационная методика, позволяющая пациентам управлять курсором компьютера и вводить текст с помощью движений плеча и лопатки. Веб-камера компьютера отслеживает перемещение цветных маркеров, закреплённых на плече пациента, преобразуя их движение по осям X и Y в управление курсором (рис. 4). Комбинирование реабилитационных упражнений для плечевого сустава с практическим использованием компьютера (работа в интернете, переписка, видеозвонки) стимулирует восстановление двигательных функций в плечевом поясе. Методика не требует специализированного оборудования — достаточно компьютера с веб-камерой. Программа бесконтактного управления компьютером может быть

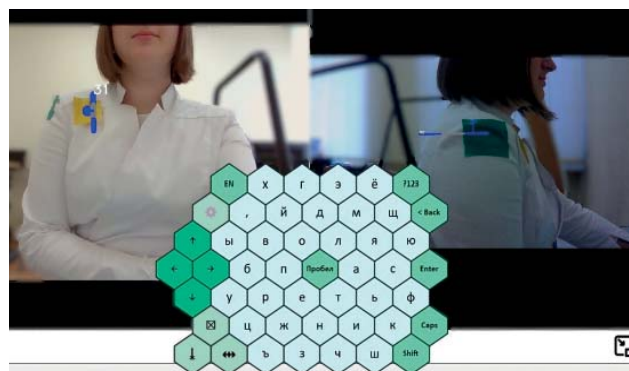


Рис. 4. Компьютерное зрение в реабилитации плечевого сустава (фотоматериал авторов).

Fig. 4. Computer vision in shoulder joint rehabilitation (photographs by the authors).

адаптирована для длительной домашней реабилитации и представляет особую ценность для молодых пациентов, которые часто используют компьютер для работы, учёбы или досуга. Таким образом, методика соединяет реабилитацию и адаптацию, давая пациенту возможность интегрировать восстановительное лечение в повседневную активность.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Реабилитация плечевого сустава после инсульта остаётся сложной, но решаемой задачей, требующей комплексного и персонализированного подхода. Современные методы, рассмотренные в данном обзоре, подчёркивают важность сочетания традиционных подходов (ортезирование, ботулинотерапия) и инновационных технологий (роботизированная терапия, функциональная электростимуляция, применение искусственного интеллекта). Основными моментами, которые обеспечивают успех в реабилитации плечевого сустава, являются раннее начало восстановительного лечения с акцентом на стабилизацию плечелопаточного комплекса; комбинирование различных методов реабилитации, что даёт большую эффективность, чем монотерапия; индивидуализация программ на основе степени пареза, спастичности и стадии инсульта.

В настоящее время необходимо проведение рандомизированных исследований для разработки клинических алгоритмов выбора реабилитационных стратегий и развитие платформ для домашней непрерывной реабилитации.

Современная реабилитация плеча после инсульта в настоящее время представляет собой синтез доказательной медицины и инновационных технологий, в котором традиционные методы терапии эффективно дополняются робототерапией, виртуальной реальностью, нейромодуляцией и алгоритмами искусственного интеллекта. Дальнейшее развитие направления требует не только внедрения новых инструментов, но и их адаптацию к реальной клинической практике и жизни пациента.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Д.О. Савич — формирование идеи, анализ отечественных и зарубежных публикаций, написание и редактирование

текста рукописи; С.В. Прокопенко — формирование идеи, формулировка цели и задач, проверка критически важного содержания, утверждение рукописи для публикации; С.А. Субочева — формирование идеи, анализ отечественных и зарубежных публикаций, проверка критически важного содержания. Все авторы одобрили рукопись (версию для публикации), а также согласились нести ответственность за все аспекты работы, гарантируя надлежащее рассмотрение и решение вопросов, связанных с точностью и добросовестностью любой её части.

Источники финансирования. Отсутствуют.

Раскрытие интересов. Авторы заявляют об отсутствии отношений, деятельности и интересов за последние три года, связанных с третьими лицами (коммерческими и некоммерческими), интересы которых могут быть затронуты содержанием статьи.

Оригинальность. При проведении исследования и создании настоящей работы авторы не использовали ранее опубликованные сведения (текст, иллюстрации, данные).

Доступ к данным. Редакционная политика в отношении совместного использования данных к настоящей работе неприменима, данные могут быть опубликованы в открытом доступе.

Генеративный искусственный интеллект. При создании настоящей статьи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовали.

Рассмотрение и рецензирование. Настоящая работа подана в журнал в инициативном порядке и рассмотрена по обычной процедуре. В рецензировании участвовали два внешних рецензента и научный редактор издания.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contributions: D.O. Savchits, formation of an idea, analysis of domestic and foreign publications, writing and editing the text of the manuscript; S.V. Prokopenko, formation of an idea, formulation of goals and objectives, verification of critical content, approval of the manuscript for publication; S.A. Subocheva, formation of an idea, analysis of domestic and foreign publications, verification of critical content. Thereby, all authors provided approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work in ensuring that questions related to the accuracy or integrity of any part of the work are appropriately investigated and resolved.

Funding source: No funding.

Disclosure of interests: The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Statement of originality: The authors did not utilize previously published information (text, illustrations, data) in conducting the research and creating this paper.

Data availability statement: The editorial policy regarding data sharing does not apply to this work, data can be published as open access.

Generative AI: Generative AI technologies were not used for this article creation.

Provenance and peer-review: This paper was submitted to the journal on an initiative basis and reviewed according to the usual procedure. Two external reviewers and the scientific editor of the publication participated in the review.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

1. Li Y, Yang S, Cui L, et al. Prevalence, risk factor and outcome in middle-aged and elderly population affected by hemiplegic shoulder pain: an observational study. *Front Neurol.* 2023;13:1041263. doi: 10.3389/fneur.2022.1041263 EDN: GZZBHE
2. Hao N, Zhang M, Li Y, Guo Y. Risk factors for shoulder pain after stroke: a clinical study. *Pak J Med Sci.* 2022;38(1):145–149. doi: 10.12669/pjms.38.1.4594 EDN: IYKLAQ
3. Kim MG, Lee SA, Park EJ, et al. Elastic dynamic sling on subluxation of hemiplegic shoulder in patients with subacute stroke: a multicenter randomized controlled trial. *Int J Environ Res Public Health.* 2022;19(16):9975. doi: 10.3390/ijerph19169975 EDN: MNRSSC
4. Matozinho CV, Teixeira-Salmela LF, Samora GA, et al. Incidence and potential predictors of early onset of upper-limb contractures after stroke. *Disabil Rehabil.* 2021;43(5):678–684. doi: 10.1080/09638288.2019.1637949

5. Jacinto J, Camxes-Barbosa A, Carda S, et al. A practical guide to botulinum neurotoxin treatment of shoulder spasticity 1: anatomy, physiology, and goal setting. *Front Neurol.* 2022;13:1004629. doi: 10.3389/fneur.2022.1004629 EDN: EGFAYV
6. Yang S, Kim TU, Kim DH, Chang MC. Understanding the physical examination of the shoulder: a narrative review. *Ann Palliat Med.* 2021;10(2):2293–2303. doi: 10.21037/apm-20-1808 EDN: ZGCGGM
7. Kim J, Lee J, Lee BH. Effect of scapular stabilization exercise during standing on upper limb function and gait ability of stroke patients. *J Neurosci Rural Pract.* 2017;8(4):540–544. doi: 10.4103/jnpr.jnpr_464_16
8. Gao Z, Lv S, Ran X, et al. Influencing factors of corticomuscular coherence in stroke patients. *Front Hum Neurosci.* 2024;18:1354332. doi: 10.3389/fnhum.2024.1354332 EDN: RSSSGT
9. Nadler M, Pauls M. Shoulder orthoses for the prevention and reduction of hemiplegic shoulder pain and subluxation: systematic review. *Clin Rehabil.* 2017;31(4):444–453. doi: 10.1177/0269215516648753
10. Morone G, Princi AA, Iosa M, et al. Effects of shoulder brace usage on postural stability in stroke survivors: a pilot randomized controlled trial. *NeuroRehabil.* 2024;54(3):449–456. doi: 10.3233/NRE-230250 EDN: MEHBWI
11. Zorowitz RD, Idank D, Ikai T, et al. Shoulder subluxation after stroke: a comparison of four supports. *Arch Phys Med Rehabil.* 1995;76(8):763–771. doi: 10.1016/s0003-9993(95)80532-x
12. Ada L, Foongchomcheay A, Canning C. Supportive devices for preventing and treating subluxation of the shoulder after stroke. *Cochrane Database Syst Rev.* 2005;2005(1):CD003863. doi: 10.1002/14651858.CD003863.pub2
13. Ravichandran H, Janakiraman B, Sundaram S, et al. Systematic review on effectiveness of shoulder taping in hemiplegia. *J Stroke Cerebrovasc Dis.* 2019;28(6):1463–1473. doi: 10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2019.03.021
14. Wang Y, Li X, Sun C, Xu R. Effectiveness of kinesiology taping on the functions of upper limbs in patients with stroke: a meta-analysis of randomized trial. *Neural Sci.* 2022;43(7):4145–4156. doi: 10.1007/s10072-022-06010-1 EDN: YCTCSS
15. Kristensen MG, Busk H, Wienecke T. Neuromuscular electrical stimulation improves activities of daily living post stroke: a systematic review and meta-analysis. *Arch Rehabil Res Clin Transl.* 2021;4(1):100167. doi: 10.1016/j.arrct.2021.100167 EDN: ZTLZYQ
16. Khan MA, Fares H, Ghayvat H, et al. A systematic review on functional electrical stimulation based rehabilitation systems for upper limb post-stroke recovery. *Front Neurol.* 2023;14:1272992. doi: 10.3389/fneur.2023.1272992 EDN: APCFRF
17. Vafadar AK, Côté JN, Archambault PS. Effectiveness of functional electrical stimulation in improving clinical outcomes in the upper arm following stroke: a systematic review and meta-analysis. *Biomed Res Int.* 2015;2015:729768. doi: 10.1155/2015/729768
18. Chih-Lin K, Gwo-Chi H. Post-stroke spasticity: a review of epidemiology, pathophysiology, and treatments. *Int J Gerontology.* 2018;12(4):280–284. doi: 10.1016/j.ijge.2018.05.005
19. Shaw LC, Price CI, van Wijck FM, et al. Botulinum toxin for the upper limb after stroke (BoTULS) trial: effect on impairment, activity limitation, and pain. *Stroke.* 2011;42(5):1371–1379. doi: 10.1161/STROKEAHA.110.582197
20. Xie HM, Guo TT, Sun X, et al. Effectiveness of botulinum toxin a in treatment of hemiplegic shoulder pain: a systematic review and meta-analysis. *Arch Phys Med Rehabil.* 2021;102(9):1775–1787. doi: 10.1016/j.apmr.2020.12.010 EDN: CAZEFG
21. Ke M, Li D, Zhou P. Efficacy of botulinum toxin combined with rehabilitation treatments in the treatment of post-stroke spasticity: a systematic review and network meta-analysis. *NeuroRehabil.* 2024;55(4):399–416. doi: 10.1177/10538135241290110 EDN: EMAYDY
22. Lee HS, Kim DH, Seo HG, et al. Efficacy of personalized rTMS to enhance upper limb function in subacute stroke patients: a protocol for a multi-center, randomized controlled study. *Front Neurol.* 2024;15:1427142. doi: 10.3389/fneur.2024.1427142 EDN: RKYLQK
23. Chen YJ, Huang YZ, Chen CY, et al. Intermittent theta burst stimulation enhances upper limb motor function in patients with chronic stroke: a pilot randomized controlled trial. *BMC Neurol.* 2019;19(1):69. doi: 10.1186/s12883-019-1302-x EDN: IXLNCB
24. Aprile I, Germanotta M, Cruciani A, et al. Upper limb robotic rehabilitation after stroke: a multicenter, randomized clinical trial. *J Neurol Phys Ther.* 2020;44(1):3–14. doi: 10.1097/NPT.0000000000000295 EDN: VAZROU
25. Gnasso R, Palmeri S, Picone A, et al. Robotic-assisted rehabilitation for post-stroke shoulder pain: a systematic review. *Sensors.* 2023;23(19):8239. doi: 10.3390/s23198239 EDN: DPSVYC
26. Bertani R, Melegari C, de Cola MC, et al. Effects of robot-assisted upper limb rehabilitation in stroke patients: a systematic review with meta-analysis. *Neural Sci.* 2017;38(9):1561–1569. doi: 10.1007/s10072-017-2995-5 EDN: BHCIWA
27. Park JM, Park HJ, Yoon SY, et al. Effects of robot-assisted therapy for upper limb rehabilitation after stroke: an umbrella review of systematic reviews. *Stroke.* 2025;56(5):1243–1252. doi: 10.1161/STROKEAHA.124.048183 EDN: HKAMAV
28. Akgün İ, Demirbükten İ, Timurtaş E, et al. Exoskeleton-assisted upper limb rehabilitation after stroke: a randomized controlled trial. *Neural Res.* 2024;46(11):1074–1082. doi: 10.1080/01616412.2024.2381385
29. Park JH, Park G, Kim HY, et al. A comparison of the effects and usability of two exoskeletal robots with and without robotic actuation for upper extremity rehabilitation among patients with stroke: a single-blinded randomised controlled pilot study. *J Neuroeng Rehabil.* 2020;17(1):137. doi: 10.1186/s12984-020-00763-6 EDN: LDDBXU
30. Nicora G, Pe S, Santangelo G, et al. Systematic review of AI/ML applications in multi-domain robotic rehabilitation: trends, gaps, and future directions. *J Neuroeng Rehabil.* 2025;22(1):79. doi: 10.1186/s12984-025-01605-z
31. Mani Bharat V, Manimegalai P, George ST. A systematic review of techniques and clinical evidence to adopt virtual reality in post-stroke upper limb rehabilitation. *Virtual Reality.* 2024;28(4):172. doi: 10.1007/s10055-024-01065-1
32. Maqsood U, Naz S, Nazir Sh. The effect of virtual reality on rehabilitation outcomes in patients with stroke. *J Health Rehabil Res.* 2023;1(1):29–33. doi: 10.61919/jhrr.v3i1.16
33. Bok SK, Song Y, Lim A, et al. High-tech home-based rehabilitation after stroke: a systematic review and meta-analysis. *J Clin Med.* 2023;12(7):2668. doi: 10.3390/jcm12072668 EDN: URNFCI
34. Tong Q, Wei W, Zhang Y, et al. Survey on hand-based haptic interaction for virtual reality. *IEEE Trans Haptics.* 2023;16(2):154–170. doi: 10.1109/TOH.2023.3266199 EDN: DAFRUG
35. Zhu Y, Wang C, Li J, et al. Effect of different modalities of artificial intelligence rehabilitation techniques on patients with upper limb dysfunction after stroke: a network meta-analysis of randomized controlled trials. *Front Neurol.* 2023;14:1125172. doi: 10.3389/fneur.2023.1125172 EDN: BREAI0
36. Oubre B, Daneault JF, Jung HT, et al. Estimating upper-limb impairment level in stroke survivors using wearable inertial sensors and a minimally-burdensome motor task. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng.* 2020;28(3):601–611. doi: 10.1109/TNSRE.2020.2966950 EDN: EEURFZ
37. Senadheera I, Hettiarachchi P, Haslam B, et al. AI applications in adult stroke recovery and rehabilitation: a scoping review using AI. *Sensors.* 2024;24(20):6585. doi: 10.3390/s24206585 EDN: KZILGN

ОБ АВТОРАХ

*** Савчиц Дарья Олеговна;**

адрес: Россия, 666074, Красноярск, ул. Борисова, д. 36;

ORCID: 0000-0001-9161-5235;

eLibrary SPIN: 9425-5854;

e-mail: dar.shabalina@gmail.com

Прокопенко Семен Владимирович, д-р мед. наук, профессор;

ORCID: 0000-0002-4778-2586;

eLibrary SPIN: 1279-7072;

e-mail: s.v.proc.58@mail.ru

Субочева Светлана Алексеевна, к.м.н., доцент;

ORCID: 0000-0001-9916-6235;

eLibrary SPIN: 1541-8273;

e-mail: Sveta162007@mail.ru

AUTHORS' INFO

*** Daria O. Savchits;**

address: 36 Borisova st, Krasnoyarsk, Russia, 666074;

ORCID: 0000-0001-9161-5235;

eLibrary SPIN: 9425-5854;

e-mail: dar.shabalina@gmail.com

Semen V. Prokopenko, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor;

ORCID: 0000-0002-4778-2586;

eLibrary SPIN: 1279-7072;

e-mail: s.v.proc.58@mail.ru

Svetlana A. Subocheva, MD, PhD;

ORCID: 0000-0001-9916-6235;

eLibrary SPIN: 1541-8273;

e-mail: Sveta162007@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author