

## ВОССТАНОВЛЕНИЕ НАВЫКОВ ХОДЬБЫ У ПАЦИЕНТОВ, ПЕРЕНЕСШИХ МОЗГОВОЙ ИНСУЛЬТ

Белова А.Н., Сушин В.О., Литвинова Н.Ю., Шабанова М.А., Резенова А.М.

ФГБОУ ВО «Приволжский исследовательский медицинский университет» Минздрава России, Нижний Новгород, Россия

### Резюме

Восстановление ходьбы является одной из приоритетных задач медицинской реабилитации пациентов, перенесших мозговую инсульт. Локомоторным тренировкам должно предшествовать обследование, направленное на идентификацию патологических характеристик походки и включающее ряд функциональных тестов. Арсенал методов восстановления навыков ходьбы достаточно широк и включает конвенционные тренировки, тренировки на беговой дорожке без поддержки массы тела и с поддержкой массы тела, занятия с применением электромеханических и роботизированных устройств, дополнительное использование биологически обратной связи, виртуальной реальности, ортезирования, электростимуляции мышц, силовых тренировок и тренировок равновесия. В обзоре дается краткая характеристика этих методов реабилитации с позиций доказательной медицины. Индивидуальная программа реабилитации зависит от выраженности, давности и характера двигательных нарушений, предпочтений самого пациента и ограничений, связанных с его сопутствующими заболеваниями.

**Ключевые слова:** инсульт, ходьба, реабилитация

**Для цитирования:** Белова А.Н., Сушин В.О., Литвинова Н.Ю., Шабанова М.А., Резенова А.М. Восстановление навыков ходьбы у пациентов, перенесших мозговую инсульт. *Российский неврологический журнал*. 2022;27(1):16–25. DOI 10.30629/2658-7947-2022-27-1-16-25

**Для корреспонденции:** Сушин Вильям Олегович — ассистент кафедры медицинской реабилитации, ФГБОУ ВО «Приволжский исследовательский медицинский университет» Минздрава России, Россия, Нижний Новгород, e-mail: sushin.nn@mail.ru

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Финансирование.** Работа выполнена в рамках программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030».

### Информация об авторах

Белова А.Н., <https://orcid.org/0000-0001-9719-6772>; e-mail: anbelova@mail.ru  
Сушин В.О., <https://orcid.org/0000-0003-2346-7810>; e-mail: sushin.nn@mail.ru  
Литвинова Н.Ю., <https://orcid.org/0000-0002-6978-139X>; e-mail: ny7171@mail.ru  
Шабанова М.А., <https://orcid.org/0000-0002-8160-1208>; e-mail: bilberry47@mail.ru  
Резенова А.М. <https://orcid.org/0000-0001-6478-8077>; e-mail: seule1993@gmail.com

### WALKING SKILLS RECOVERY FOR PATIENTS SUFFERED A STROKE

Belova A.N., Sushin V.O., Litvinova N.Y., Shabanova M.A., Rezenova M.A.

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Privolzhsky Research Medical University» of the Ministry of Health of the Russian Federation, Nizhny Novgorod, Russia

### Abstract

Recovering the walking ability is one of the major goals in rehabilitation of poststroke patients. Locomotor training should be preceded by identifying pathological gait characteristics and functional gait assessment. The spectrum of rehabilitation methods for restoration of walking skills is quite wide and includes conventional training, training on a treadmill without body weight support and with body weight support, using of electromechanical and robotic devices, additional use of biofeedback, virtual reality, orthoses, electrical muscle stimulation, strength training and balance training. The review provides a brief description of these rehabilitation methods in view of evidence-based medicine. The individual choice of procedures depends on the severity, duration and characteristics of walking deficits, the patient's preferences and limitations associated with his concomitant diseases.

**Key words:** stroke, gait, rehabilitation

**For citation:** Belova A.N., Sushin V.O., Litvinova N.Y., Shabanova M.A., Rezenova A.M. Walking skills recovery for patients suffered a stroke. *Russian Neurological Journal (Rossijskij Nevrologicheskij Zhurnal)*. 2022;27(1):16–25. (In Russian). DOI 10.30629/2658-7947-2022-27-1-16-25

**For correspondence:** Sushin Viliyam — Assistant of Departments of Medical Rehabilitation, Privolzhsky Research Medical University (PIMU), Ministry of Health of Russia, Nizhny Novgorod, e-mail: sushin.nn@mail.ru

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

**Acknowledgements.** The work was supported by a grant from the strategic academic leadership program “Priority-2030”.

### Information about authors

Belova A.N., <https://orcid.org/0000-0001-9719-6772>; e-mail: anbelova@mail.ru  
Sushin V.O., <https://orcid.org/0000-0003-2346-7810>; e-mail: sushin.nn@mail.ru

Litvinova N.Y., <https://orcid.org/0000-0002-6978-139X>; e-mail: ny7171@mail.ru  
Shabanova M.A., <https://orcid.org/0000-0002-8160-1208>; e-mail: bilberry47@mail.ru  
Rezenova A.M., <https://orcid.org/0000-0001-6478-8077>; e-mail: seule1993@gmail.com

Received 15.07.2021  
Accepted 20.09.2021

**Сокращения:** БОС — биологическая обратная связь; ВР — виртуальная реальность; ОНМК — острое нарушение мозгового кровообращения; РУ — роботизированные устройства; ЧСС — частота сердечных сокращений; ЭМГ — электромиография.

Нарушение ходьбы является частой и серьезной проблемой для пациентов, пострадавших от инсульта: до 80% выживших больных через 3 мес. после инсульта не восстанавливают способность к нормальной ходьбе, что вызывает трудности в выполнении повседневных дел, ограничивает социальную активность и угрожает жизни в связи с риском падений [1]. Поэтому восстановление навыков ходьбы является одной из приоритетных задач медицинской реабилитации людей, перенесших острое нарушение мозгового кровообращения (ОНМК) [2].

**Общие представления о нормальной походке и ее изменении у лиц, перенесших мозговой инсульт.** Ходьба у человека является основным способом локомоции (термином «локомоция» обозначают активное перемещение человека, обусловленное ритмическими движениями конечностей [3]. При ходьбе опора на одну ногу циклично сменяется двуопорным периодом, а затем опорой на другую ногу. Циклом шага называют время от начала контакта с опорой данной ноги до следующего такого же контакта этой же ногой [4]. Цикл шага складывается для каждой ноги из фазы опоры и фазы переноса конечности: в период опоры одной ноги (фаза опоры этой ноги) вторая выносится вперед (фаза переноса контралатеральной ноги). Среднее время цикла шага при естественной ходьбе приближается к одной секунде. При ходьбе в среднем темпе в норме фаза опоры длится примерно 60% от цикла двойного шага, фаза переноса примерно 40% [4].

Критериями нормальной ходьбы являются линейное поступательное перемещение тела вперед; удержание равновесия; обеспечение плавности передвижения; стабильность ходьбы при внешних возмущающих воздействиях или при изменении плана движений [4]. У пациентов, перенесших инсульт, возникают значительные нарушения ходьбы: происходит сокращение фазы опоры и удлинение фазы переноса паретичной ноги, возникает избыточное перераспределение нагрузки на здоровую конечность, наблюдаются снижение скорости, асимметрия шага, укорочение длины шага, нарушения постурального контроля и координации, приводящие к частым падениям [1, 5]. Наиболее частой причиной изменения походки после инсульта является спастический парез нижней конечности; кроме того, может происходить

нарушение процессов автоматизации ходьбы, в норме контролируемых супраспинальными структурами центральной нервной системы [1, 6]. Развитие компенсаторных патологических двигательных паттернов может значительно затруднять восстановление.

**Диагностика нарушений ходьбы.** Возможность восстановления способности к эффективной и безопасной ходьбе определяется локализацией и обширностью поражения головного мозга, степенью сохранности когнитивных функций пациента, мышечной силы, мышечного тонуса, проприоцептивной чувствительности в нижних конечностях, постурального контроля. Поэтому перед началом локомоторных тренировок необходимо понаблюдать за тем, как ходит пациент, провести тщательный неврологический осмотр и мануальное тестирование мышц пациента для идентификации патологических характеристик походки. Существуют типичные паттерны нарушения походки, ассоциированные с теми или иными причинами: например, латеральное отклонение туловища наблюдается при слабости средней ягодичной мышцы; отклонение туловища назад — при слабости большой ягодичной мышцы (затруднен подъем по лестнице); отклонение туловища вперед — при слабости четырехглавой мышцы бедра, сгибательных контрактурах в тазобедренном и коленном суставах; ограничение разгибания ноги в тазобедренном суставе — при спастичности мышц — сгибателей бедра либо при слабости мышц — разгибателей бедра и т.д. [6].

Основными показателями, характеризующими эффективность реабилитационных мероприятий, принято считать скорость ходьбы и максимальное расстояние, которое пациент способен пройти за заданный отрезок времени, поскольку эти два показателя имеют тесную связь с мышечной силой, равновесием, падениями и безопасностью ходьбы, активностью и участием, качеством жизни в целом [2, 7–9]. Поэтому в рутинной реабилитационной практике для оценки нарушений походки рекомендуется использовать два теста: 10-метровый тест ходьбы и 6-минутный тест ходьбы [2].

10-метровый тест ходьбы измеряет время, которое необходимо обследуемому для того, чтобы пройти расстояние 10 м, без учета фазы разгона и торможения. На полу отмеряют 10 м по прямой, отмечая начало и конец этого расстояния. Пациенту дают инструкцию «идти с нормальной комфортной скоростью». Ходьбу следует начинать за несколько метров до первой отметки (разгон). Фиксируют время пересечения пациентом первой и второй отметок. До начала выполнения задания и через 30 с после

пересечения второй отметки регистрируют ЧСС. Тест повторяют трижды, каждый повтор начинают лишь после того, как уровень ЧСС достигнет значений ЧСС покоя.

Тест 6-минутной ходьбы измеряет дистанцию, которую обследуемый может пройти за 6 мин. Обследуемый проходит по прямой расстояние 30 м (например, в холле больницы), делает разворот, проходит обратно еще 30 м, и так несколько раз. Пациента инструктируют: «встать со стула и пройти как можно большее расстояние за 6 минут». ЧСС измеряют в положении сидя, до начала ходьбы и через 30 с после завершения 6-минутной ходьбы. Тест повторяют трижды.

Таким образом, 10-метровый тест ходьбы измеряет комфортную скорость ходьбы, тогда как 6-минутный тест ходьбы — потенциальную способность пациента к ходьбе, а именно: максимально возможное расстояние, которое пациент способен пройти за 6 мин [10]. Эти тесты продемонстрировали высокую надежность и валидность, их совместное применение позволяет оценить потенциальные способности и фактическую реализацию способности к ходьбе [2, 7].

В дополнение к базовым тестам при необходимости используют функциональные тесты «Встань и иди» (Timed Up and Go), во время выполнения которого пациенту необходимо встать со стула, пройти расстояние 3 метра, повернуться на 180 градусов, вернуться и сесть обратно на стул [11]; «Динамический индекс ходьбы» (Dynamic Gait Index), который позволяет оценить самостоятельную ходьбу или ходьбу с использованием вспомогательных приспособлений во время выполнения функциональных заданий (ходьба по прямой ровной поверхности, ходьба с изменением скорости, ходьба с поворотами головы в горизонтальной или вертикальной плоскостях, повороты, ходьба с перешагиванием или огибианием препятствий, ходьба по лестнице [12]; шкалу «Функциональная оценка ходьбы» (Functional Gait Assessment), представляющую собой модификацию динамического индекса ходьбы [13]; локомоторную субшкалу «Шкалы функциональной независимости» (Functional Independence Measure-Locomotor), определяющую степень потребности во вспомогательных средствах и помощи при передвижении [14]

Наиболее объективным методом оценки ходьбы является видеоанализ движений, однако в клинической практике его использование ограничивается высокой стоимостью аппаратуры и длительностью исследования [4].

**Стратегии, общие принципы и средства реабилитации пациентов с нарушениями ходьбы.** Исследование процессов нейропластичности послужило основанием для рассмотрения двух основных концепций восстановления нарушенных вследствие инсульта функций: «истинное восстановление» и «компенсация»; концепция истинного восстановления определена как «восстановление кинематики движений, аналогичной кинематике здоровых людей соответствующего возраста в контрольной

группе, в результате уменьшения нарушений, тогда как компенсация включает использование здоровой конечности или альтернативных групп мышц на пораженной стороне для выполнения поставленной задачи [15].

Как правило, все реабилитационные стратегии опираются на оба эти процесса, однако в ряде случаев предполагают либо преимущественную стимуляцию «истинного восстановления» (автоматизированного паттерна ходьбы), либо усиление компенсаторных механизмов [1]. При этом необходимо помнить о том, что некоторые компенсаторные паттерны движений («плохие привычки») могут препятствовать истинному восстановлению функций [16].

Надо также учитывать, что «терапевтическое окно», в течение которого наблюдается наиболее высокий уровень истинного восстановления функций, ограничено 3–4 мес. после развития инсульта, затем в течение последующих 3 мес. потенциал к восстановлению экспоненциально убывает, а через 6 мес. восстановление функций «на плато» и достижение даже минимальных результатов требует специальных интенсивных усилий [17].

К средствам, используемым для восстановления локомоторики пациентов, перенесших ОНМК, относятся конвенционные (т.е. традиционные, без применения высокотехнологичных устройств) тренировки навыков ходьбы; тренировки на беговой дорожке без поддержки массы тела и с поддержкой массы тела; тренировки с использованием электромеханических и роботизированных устройств; дополнительное использование биологически обратной связи (БОС), виртуальной реальности (VR), ортезирования, электростимуляции мышц, силовых тренировок и тренировок равновесия [2, 6, 18, 19]. В настоящее время нет убедительных доказательств того, что те или иные реабилитационные технологии более или менее эффективны, чем другие [17]. При выборе конкретных методик локомоторных тренировок рекомендуют учитывать соотношение «польза–вред», при этом под термином «польза» понимают улучшение функции ходьбы (увеличение скорости, расстояния), а термином «вред» характеризуют как возможные осложнения, ассоциированные с той или иной методикой (например, сердечно-сосудистые осложнения, падения), так и дополнительные финансовые и временные траты, связанные, например, с использованием дорогостоящего оборудования или необходимостью посещать специализированный реабилитационный центр, оснащенный таким оборудованием [2, 6, 18]. Кроме того, для повышения мотивации пациента к занятиям важно учитывать его предпочтения: так, некоторые пациенты предпочитают конвенционные тренировки небольшой продолжительности (20–60 мин) низкой либо умеренной интенсивности [20], тогда как других привлекают новые технологии (виртуальная реальность, роботизированные устройства) либо интенсивные тренировки.

В целом полагают, что при применении более обширных реабилитационных вмешательств

с разбивкой по времени и разнообразию восстановлению функциональных возможностей пациентов происходит быстрее, что сокращает общие затраты на пребывание в реабилитационном учреждении [19].

Несмотря на большое разнообразие реабилитационных средств, в основе их применения лежат общие принципы локомоторных тренировок: тренировки должны быть цель-ориентированными (направлены на решение конкретной задачи); цель тренировок должна быть понятна и значима для пациента; пациент должен иметь мотивацию к тренировкам и фокусировать внимание на выполнении заданий; задания должны постепенно усложняться таким образом, чтобы максимально реализовать возможности пациента; необходимо многократное повторение упражнений и заданий; необходима вариабельность заданий и предъявление различных заданий в случайном порядке; необходимо обсуждение с пациентом результатов тренировки [16, 21]. Методологический подход к предписанию упражнений, основанный на этих принципах, позволяет добиться более высоких результатов в отношении двигательной активности и физиологической адаптации.

Основными факторами, влияющими на процессы нейропластичности в ЦНС и определяющими степень изменений нейромышечного аппарата и сердечно-легочной адаптации, являются специфичность, количество и интенсивность локомоторных тренировок [22]. В контексте реабилитации принцип «специфичности» подразумевает, что целенаправленные движения могут привести к усилению активности кортикоспинальной системы, в то время как практика неосмысленных движений не позволяет добиться улучшений [23]. Количество повторений движений в процессе тренировки может иметь критическое значение для стимулирования процессов нейропластичности: так, в экспериментах на животных было показано, что для достижения изменения двигательного поведения необходимо выполнить от 500 до 600 повторений задания в течение тренировки [6, 15]. В то же время вопросы, связанные с оптимальной интенсивностью тренировок, требуют дальнейшего изучения [1].

**Конвенционные физические тренировки.** Обучение ходьбе по неподвижной поверхности без использования специализированного оборудования являются наиболее распространенной формой тренировок и эффективно на ранних этапах заболевания; в то же время, как показал кокрейновский обзор, в позднем восстановительном периоде инсульта такие тренировки не позволяют достичь значительного улучшения скорости и функциональности ходьбы [22].

Тренировки ходьбы по неподвижной поверхности начинают лишь после того, как пациент научился стоять, выпрямляя туловище и ровно держа голову, и удерживать равновесие в положении стоя, правильно распределяя вес тела на ноги и уметь переносить его с одной ноги на другую, а также сохранять равновесие в более сложных условиях, например

при поднимании рук; для этого пациенту может вначале потребоваться опора на руки инструктора или на горизонтальные шесты, которые инструкторы держат с двух сторон от пациента [21]. Отработка навыков, нарушение которых препятствует самостоятельной ходьбе пациента (например, перенос веса тела с ноги на ногу), может потребовать тренировок на беговой дорожке с поддержкой массы тела [21].

Для ускорения восстановления навыков самостоятельной ходьбы рекомендуются придерживаться ряда методологических правил: прежде чем предлагать помощь инструктора, стимулировать пациента сделать движение самостоятельно; максимально нагружать ноги пациента (избегать, по возможности, использования пациентом рук для уменьшения нагрузки на ноги); правильно располагать стопы пациента для удерживания веса собственного тела; соблюдать физиологическую кинематику ходьбы (пациент должен стараться удерживать вертикальное положение тела, сгибать и разгибать ноги в тазобедренном, коленном и голеностопном суставах при выполнении шага, координировать движения конечностей) [21].

При конвенционных тренировках, по мере улучшения навыков пациента, используют возрастающие по сложности упражнения: ходьбу на месте с высоким подниманием колен; ходьбу в параллельных брусьях с опорой обеих рук; ходьбу по ровной неподвижной поверхности; ходьбу назад; ходьбу с преодолением сопротивления, оказываемого инструктором с помощью рук или эластичных лент; ходьбу приставными шагами; ходьбу с ускорениями и замедлениями, повороты, подъем и спуск по ступенькам лестницы; ходьбу по наклонной и неровной поверхности, преодоление препятствий; ходьбу и одновременный разговор [6, 18, 21]. Инструктор при необходимости помогает пациенту поддерживать выпрямленное положение туловища, быстро переносить вес с задней (опорной) ноги на переднюю, чтобы инициировать ходьбу; сгибать и разгибать ноги в тазобедренном, коленном и голеностопном суставах при выполнении шага; контролировать координацию движений конечностей [6, 21].

Иногда используют ортезирование голеностопного сустава паретичной ноги для контролирования спастичности, уменьшения чрезмерного подошвенного сгибания стопы и улучшения равновесия пациента [1]. Системный анализ влияния ортезирования на биомеханику ходьбы пациентов после инсульта (20 исследований, 314 участников) показал, что ортезирование голеностопного сустава положительно влияет на кинематику голеностопного и коленного суставов парализованной конечности, перенос веса тела на пораженную ногу и затраты энергии [25]. Тем не менее следует учитывать, что некоторые жесткие ортезы могут ограничивать восстановление нормального паттерна ходьбы [1].

Крайне важным аспектом является безопасность пациента во время ходьбы: в задачи инструктора входит подбор вспомогательных приспособлений для ходьбы (ходунки, костыли, фиксаторы и т.п.),

причем предпочтение отдается устройствам, не вызывающим сколиотической деформации позвоночника и способствующим выпрямленному положению тела, ограничивающим нагрузку на руки и максимально нагружающим ноги, допускающим реципрокное движение рук, поддерживающим нормальную скорость шага и нормальную кинематику шага со сгибанием и разгибанием ног в тазобедренных, коленных и голеностопных суставах [21]. Обычно две трости, два костыля или ходунки на колесиках предпочтительнее использованию одной трости или костыля, поскольку двустороннее использование обеспечивает большую общую симметрию кинематики, равную нагрузку на ноги и движения рук [21].

**Тренировки на беговой дорожке.** Кокрейновский обзор, включивший результаты 56 исследований (3105 пациентов), показал, что использование тренировок на беговой дорожке (как с использованием системы поддержки массы тела, так и без нее) в процессе реабилитации пациентов, перенесших инсульт, приводило к значительному увеличению скорости и дистанции ходьбы [26]. Улучшение этих параметров ходьбы в результате тренировок на беговой дорожке, вероятно, более характерно для тех пациентов, которые к началу тренировок были способны ходить самостоятельно [26].

Во время тренировочной сессии рекомендуют менять скорость ходьбы пациента по беговой дорожке в случайном порядке: полагают, что меняющиеся (вариабельные) задания, как и рандомизированная (случайная) последовательность их предъявлений, способствуют лучшему двигательному обучению в сравнении с одним и тем же заданием либо блоками заданий, предъявляемых в строго заданной последовательности [6, 18].

Тренировки ходьбы на тредмиле используют, при отсутствии противопоказаний, в любом периоде инсульта; при этом пациентам в позднем восстановительном периоде (спустя 6 мес. после ОНМК) рекомендуют тренировки умеренной/высокой степени интенсивности (50–80% резерва ЧСС) [2, 27, 28]. Согласно результатам системного обзора [2], при тренировках умеренной/высокой степени интенсивности на тредмиле польза (увеличение скорости и дистанции ходьбы) превышает потенциальные риски (сердечно-сосудистые осложнения). Следует учитывать, однако, что многие пациенты отдают предпочтение тренировкам низкой интенсивности; таким пациентам следует разъяснить возможную пользу более интенсивных тренировок [2].

Перед началом тренировок на тредмиле следует провести кардиологическое обследование и ЭКГ-мониторинг для выявления противопоказаний. Противопоказания к нагрузкам высокой степени интенсивности включают неконтролируемые сердечно-сосудистые и дисметаболические заболевания (высокий риск осложнений), выраженный неврологический дефицит и мышечно-скелетные деформации (невозможность полноценных тренировок) [2].

Тренировки на беговой дорожке могут проводиться с использованием систем поддержки массы

тела. Поддержку массы тела рекомендуют использовать в остром и раннем периодах инсульта у пациентов, не способных к самостоятельной ходьбе (если способность к самостоятельной ходьбе сохранена, то эффект тренировок на беговой дорожке с поддержкой массы тела может не превышать эффект конвенционных тренировок ходьбы по неподвижной поверхности) [1, 3, 21, 29]. Тренировки на беговой дорожке с поддержкой массы тела дают возможность начать ранние тренировки ходьбы еще до того, как нижние конечности будут способны удерживать вес тела; у пациента не возникает страха потерять равновесие и упасть, поэтому его внимание полностью сосредоточено на задачах выработки правильного стереотипа ходьбы. Поддержка массы тела дает возможность выработать ритмичный шаговый паттерн с реципрокной синхронизацией движений рук, минимизировать патологические/компенсаторные паттерны движений, улучшить аэробную выносливость [6, 18]. Было показано, что у пациентов в острой стадии инсульта тренировки на беговой дорожке с поддержкой массы тела помогают достичь более высокого уровня скорости ходьбы и выносливости по сравнению с конвенционной терапией [3]. В то же время пациентам в позднем восстановительном периоде инсульта (спустя 6 мес. после поражения), способным к ходьбе с посторонней помощью или без посторонней помощи, проведение тренировок ходьбы на беговой дорожке с использованием системы поддержки массы тела не рекомендуют [8, 30]. Анализ результатов 9 рандомизированных клинических исследований (275 пациентов) не показал значимых преимуществ тренировок с использованием системы поддержки массы тела в сравнении с конвенционными тренировками ходьбы у пациентов в хронической стадии инсульта [8, 31–33]; более того, в одном из исследований было показано, что у пациентов в позднем постинсультном периоде обычные конвенционные тренировки ходьбы по неподвижной поверхности позволяют достичь лучших результатов (более высокой скорости ходьбы) [34]. Возможно, тренировки ходьбы на беговой дорожке с использованием системы поддержки массы тела могут быть показаны для обучения шаговым движениям тем пациентам, которые в позднем восстановительном периоде инсульта не способны ходить [2], а также как дополнение к конвенционным тренировкам [33] или в целях обучения ходьбе с высокой скоростью [32].

В тренировках ходьбы на беговой дорожке с поддержкой массы тела участвуют как минимум три инструктора: инструктор, удерживающий таз и бедра пациента и два инструктора, которые сидят с двух сторон тредмила и работают с ногами пациента [21]. Задачами инструкторов является установка и удержание правильного вертикального положения тела пациента, помощь в выполнении шагов и обеспечение правильной кинематики его ходьбы (разгибание ноги в фазу опоры и сгибание в фазе переноса). Чрезвычайно важным является правильное размещение рук инструкторов и их координированные действия

в разные фазы шага. Таз пациента не должен отклоняться вперед, назад или в стороны, он должен ритмично вращаться вокруг саггитальной оси. В то время как один инструктор помогает пациенту поставить ногу, второй инструктор помогает другой ноге сделать шаг [21].

Необходимо постоянно контролировать самочувствие пациента во время ходьбы с поддержкой веса (риск вегетативных реакций) и при его ухудшении быть готовым быстро высвободить пациента из поддерживающей системы [21].

По мере восстановления навыков ходьбы рекомендуется увеличивать ее скорость и продолжительность, уменьшать степень поддержки массы тела и мануальной помощи со стороны инструкторов [6]. Так, начинают тренировки обычно с очень небольшой скорости (например, 0.3 м/с) и продолжительности (1–3 мин) с поддержкой массы тела 30–40% и осуществлением постоянного мануального контроля движений каждой ноги и туловища/таза; по мере улучшения функциональных возможностей пациента скорость ходьбы может быть увеличена до нормальных для здорового человека значений (1,2–1,4 м/с) с полным отсутствием мануальной поддержки и поддержки массы тела и увеличением времени занятий до 30 мин [6].

**Электромеханические и роботизированные вспомогательные устройства.** Эти устройства рекомендуют применять в остром и раннем восстановительном периодах инсульта у пациентов, не способных к самостоятельной ходьбе, с целью обеспечения естественной модели ходьбы без мануальной помощи инструкторов [3, 17, 35, 36]. Теоретическим обоснованием целесообразности использования роботизированных устройств в нейрореабилитации является так называемый «феномен двигательного обучения»: полагают, что многократные повторные интенсивные целенаправленные («task-oriented») движения, требующие внимания и усилий пациента, вызывают усиление потока афферентной импульсации от парализованной конечности к головному мозгу, что в свою очередь активирует процессы нейропластичности, лежащие в основе истинного восстановления нарушенных функций [37]. Для ассистирования движений у пациентов с неврологической патологией разработаны электромеханические и роботизированные устройства (РУ); последние отличаются от электромеханических устройств свойством адаптивности, которое основано на наличии в РУ встроенных сенсоров, сигналы от которых обрабатываются искусственным интеллектом устройства и служат основой для изменения действий, осуществляемых [37]. Нередко публикации, анализирующие эффективность роботизированной техники, объединяют вместе РУ и электромеханические устройства [37].

Применяемые в нейрореабилитации РУ представлены устройствами экзоскелетного типа и энд-эффекторными устройствами. Экзоскелетные устройства состоят из беговой дорожки, подвесной системы поддержки массы тела и экзоскелета

нижней конечности, оси которого совмещены с анатомическими осями ноги, что позволяет минимизировать патологические движения и девиации нижних конечностей при ходьбе. Энд-эффекторные устройства состоят из системы поддержки массы тела и роботизированных энд-эффекторов (от английских слов *end* — конец и *effector* — исполнительный механизм), которые крепятся к дистальным отделам нижних конечностей пациента и перемещаются по заданным траекториям, соответствующим траектории нормальной ходьбе [38].

РУ экономят время и усилия инструкторов, повышают мотивацию пациентов к занятиям и дают возможность пациентам тренироваться более длительное время и с большей интенсивностью [26, 36, 38–40]. Средняя продолжительность занятий на РУ варьирует от 20 до 60 мин, занятия обычно проводятся от 2 до 5 раз в неделю на протяжении 2–6 нед. [36].

В кокрейновском обзоре 62 исследований (6440 пациентов) показано, что сочетание конвенциональной терапии и тренировок ходьбы с использованием электромеханических и роботизированных устройств у взрослых пациентов после инсульта является более эффективным в сравнении с конвенциональной терапией (критериями эффективности служили способность к независимой от посторонней помощи ходьбе, скорость и дистанция ходьбы) выше по сравнению с конвекционной терапией [35]. Пользу от роботизированных тренировок, вероятно, могут получать те пациенты, которые до начала тренировок не были способны к ходьбе, тогда как для тех больные, которые уже до начала занятий были способны ходить самостоятельно, такие тренировки могут не приносить дополнительной пользы [35]. Кроме того, наибольшая польза может быть достигнута у пациентов, которым тренировки начаты в первые 3 мес. после инсульта [35].

Остаются невыясненными и требуют дальнейшего изучения такие вопросы, как значимость типа роботизированного устройства, оптимальная частота и продолжительность тренировок, длительность сохранения положительного эффекта от них и безопасность РУ [35, 38].

Следует обратить внимание, что проведение тренировок ходьбы на беговой дорожке с использованием роботизированных устройств, в частности экзоскелетов, не рекомендуется пациентам в позднем восстановительном периоде инсульта, способным к ходьбе без экзоскелета [2]. Анализ результатов 11 рандомизированных клинических исследований (348 пациентов) не показал преимуществ тренировок с использованием роботизированных устройств, в частности экзоскелетов, в сравнении с альтернативными стратегиями тренировок у пациентов в хронической стадии инсульта [42–44]. После завершения курсов тренировок скорость и/или дистанция ходьбы в группах с роботизированной поддержкой и в группах получавших конвенционную физическую терапию достоверно не различались [43]. Напротив, в некоторых исследованиях было показано,

что у пациентов в позднем периоде после инсульта лучшие результаты были достигнуты у тех, которые не пользовались роботизированными устройствами в процессе локомоторных тренировок [22]. Необходимо учитывать также высокую стоимость экзоскелетов и возможные побочные эффекты их применения в виде раздражения кожных покровов и болей в конечностях [38]. Эта рекомендация может не относиться к тем пациентам, которые вообще не способны ходить и которым экзоскелет может помочь начать в передвижении.

**Биологическая обратная связь (БОС)** на основе получаемой в режиме реального времени информации повышает осведомленность пациента о степени имеющихся у него нарушений и предоставляет возможности исправить траекторию движения и неправильные параметры походки [45, 46]. Биомеханическая БОС использует сигналы электромиограммы (ЭМГ), инерциальных сенсоров (акселерометров, гироскопов), силовых и гониометрических датчиков, датчиков давления и др., встроенных в конструкцию РУ, и осуществляется с помощью визуальных дисплеев, акустических или тактильных сигналов [45, 46]. В последние годы для БОС стали использовать иммерсивные технологии, с помощью которых измеренная активность пациента отражается на экране в форме графической или аудиовизуальной анимации [45].

Системный обзор и метанализ 22 рандомизированных исследований, из которых в 11 оценивались параметры ходьбы, показал, что применение БОС у пациентов, перенесших инсульт, в дополнение к конвенциональной физической терапии достоверно улучшает функциональные возможности нижних конечностей, включая походку, причем положительный эффект сохраняется до 5 мес. после завершения тренировок [47].

**Виртуальная реальность (ВР)** — это моделирование реальной среды, созданной компьютерным программным обеспечением и воспринимаемой пользователем через интерфейс человек-машина [48]. ВР позволяет пациенту взаимодействовать с многомерной средой в режиме реального времени и получать мультисенсорную обратную связь, что потенцирует процессы пластичности в сенсомоторной коре головного мозга и тем самым способствует достижению более высокого уровня функционального восстановления моторики [48–51]. Сценарии ВР имитируют ходьбу пациентов в условиях реальной жизни, которые трудно смоделировать в клинике. Использование ВР дает возможность пациенту тренировать переход улицы, преодоления препятствий, подъем по эскалатору и т.д., при этом пациент находится в безопасных условиях под контролем инструктора. Заинтересованность пациента позволяет увеличивать продолжительность тренировок и повышает их переносимость [2].

Однако данные, касающиеся эффективности дополнения физической терапии иммерсивными технологиями, достаточно противоречивы. Так, согласно результатам кокрейновского обзора (6 исследований,

139 пациентов), применение ВР не обеспечивает достоверных преимуществ в улучшении скорости ходьбы и мобильности в целом пациентов, перенесших инсульт [20]. В то же время в значительном числе исследований проведение тренировок ходьбы на беговой дорожке с использованием технологий ВР продемонстрировало эффективность у пациентов в позднем восстановительном периоде инсульта, повышая их мотивацию и позволяя достичь более высокого уровня скорости/дистанции ходьбы в сравнении с конвенциональной физической терапией и тренировками без погружения в ВР [30, 36, 52]. Согласно результатам системного обзора [2], при тренировках ходьбы на беговой дорожке с погружением в ВР польза (увеличение скорости и дистанции ходьбы) превышала вред, к которому относились побочные эффекты (головокружение) и высокая стоимость занятий, обусловленная использованием дорогостоящего оборудования.

**Мультимодальная стимуляция** (тренировка зрительного и слухового восприятия, проприоцепции), как полагают, активирует процессы нейропластичности, неразрывно связанные и с восстановлением ходьбы [53]. Поэтому при проведении тренировок ходьбы важное значение отводят освещению, звукам и даже дизайну интерьера [53]. Рекомендуются также тренировки координации движений для профилактики падений [2].

**Идеомоторные тренировки** заключаются в том, что пациент представляет себе движение, физически не выполняя его [36, 42, 54]. Предполагают, что активация двигательных зон коры головного мозга при воображаемом движении («ментальном имиджинге») может ускорять процессы нейрональной пластичности [55]. Действительно, исследование с применением функциональной МРТ у взрослых здоровых добровольцев, выполнявших задания на ментальную имитацию ходьбы при просмотре видеороликов, показало, что виртуальная ходьба способствовала рекрутированию корковых и подкорковых нейрональных сетей, участвующих в контроле ходьбы [56]. Такие тренировки могут проводиться в домашних условиях [55] либо предшествовать занятиям на беговой дорожке [42]. В отдельных исследованиях было показано, что идеомоторные тренировки ходьбы у пациентов, перенесших инсульт, приводили к увеличению скорости ходьбы, длины шага, времени опоры на парализованную ногу либо углов сгибания в суставах парализованной конечности [36, 42, 55]. В целом, однако, числа наблюдений недостаточно для того, чтобы сделать достоверные выводы об эффективности ментальных тренировок у пациентов с нарушением ходьбы [2].

Локомоторные тренировки рекомендуется также дополнять силовыми упражнениями для определенных групп мышц и фитнес-тренировками [18].

С учетом того, что походка после инсульта нарушается в первую очередь из-за слабости парализации конечностей и существует прямая связь между мышечной силой и функцией, рекомендуют включать в тренировки упражнения, которые направлены

на увеличение силы мышц, участвующих в фазах опоры и переноса нижних конечности [18]. Рекомендуют комбинировать упражнения на сопротивление с цель-ориентированными заданиями: так, если целью тренировки мышц является увеличение скорости ходьбы по наклонной поверхности либо при подъеме по лестнице, когда необходимо значительное мышечное усилие на протяжении короткого промежутка времени, то рекомендуемая интенсивность нагрузки для соответствующих мышечных групп составляет один «повторный максимум» (от англ. *repetition maximum* — максимальная нагрузка, которую человек способен выполнить на силовом тренажере указанное число раз с полной амплитудой движения); если целью является увеличение скорости и дистанции ходьбы по ровной поверхности (умеренная по интенсивности, но длительная работа мышц), то нагрузку на тренируемые мышечные группы дают на уровне 60% от одного «повторного максимума» [18].

Тем не менее следует учитывать, что прямая связь между увеличением силы отдельных групп мышц и улучшением функциональных способностей нередко отсутствует [57]. Так, данные системного обзора не показали наличия достоверной связи между проведением силовых тренировок и улучшением скорости/дистанции ходьбы у пациентов в позднем восстановительном периоде инсульта [2].

**Электростимуляция мышц**, согласно данным кокрейновского обзора, также не продемонстрировала достоверного эффекта в отношении улучшения параметров ходьбы у лиц, перенесших инсульт, хотя результаты некоторых исследований свидетельствуют об обратном [58].

**Фитнес-тренировки** (кардиореспираторные, силовые, на координацию и равновесие) рекомендуют с целью повышения общей толерантности пациентов к физическим нагрузкам, и, как следствие, увеличению расстояний, которые сможет пройти пациент [59]. Упражнения аэробной направленности, особенно высокой интенсивности (при отсутствии противопоказаний), могут быть эффективными у пациентов в позднем восстановительном периоде инсульта [2]. Следует учитывать, однако, что частота сердечных сокращений (ЧСС), которая у лиц с отсутствием парезов нижних конечностей коррелирует с аэробной активностью и поэтому используется в качестве критерия интенсивности ходьбы, у лиц с парезами парезов нижних конечностей плохо изучена; это ограничивает использование ЧСС в качестве критерия дозирования скорости и дистанции ходьбы при локомоторных тренировках у лиц с гемипарезами и парезами ног [60].

**Заключение.** Восстановление ходьбы у пациентов, перенесших ОНМК, требует составления индивидуальной программы реабилитации, которая в зависимости от выраженности, давности и характера двигательных нарушений, предпочтений самого пациента и ограничений, связанных с его сопутствующими заболеваниями, должна сочетать тренировки ходьбы (конвенционные, на беговой дорожке,

с применением вспомогательных устройств) с фитнес-тренировками, укреплением силы мышц, тренировками равновесия и мультимодальной стимуляцией. Современные реабилитационные технологии открывают новые перспективы для восстановления утраченных вследствие инсульта навыков самостоятельной ходьбы, однако их клинические и экономические преимущества требуют дополнительного изучения.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Финансирование.** Работа выполнена в рамках программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030».

## ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Beyaert C., Vasa R., Frykberg G. Gait post-stroke: Pathophysiology and rehabilitation strategies. *Neurophysiologie Clinique/ Clinical Neurophysiology*. 2015;45(4–5):335–355. <https://doi.org/10.1016/j.neucli.2015.09.005>
2. Hornby T., Reisman D., Ward I., Scheets P., Miller A., Haddad D. et al. Clinical Practice Guideline to Improve Locomotor Function Following Chronic Stroke, Incomplete Spinal Cord Injury, and Brain Injury. *Journal of Neurologic Physical Therapy*. 2020;44(1):49–100. <https://doi.org/10.1097/NPT.0000000000000303>
3. Hesse S. Treadmill training with partial body weight support after stroke: A review. *NeuroRehabilitation*. 2008;23(1):55–65. <https://doi.org/10.3233/NRE-2008-23106>
4. Скворцов Д.В. Диагностика двигательной патологии инструментальными методами: анализ походки, стабилометрия. М.: Т.М. Андреева. 2007:640 с. [Skvortsov D.V. Diagnosis of motor pathology by instrumental methods: gait analysis, stabilometry. M.: T.M. Andreeva. 2007:640 p. (In Russian).]
5. Lewek M., Bradley C., Wutzke C., Zinder, S. The Relationship Between Spatiotemporal Gait Asymmetry and Balance in Individuals With Chronic Stroke. *Journal of Applied Biomechanics*. 2014;30(1):31–36. <https://doi.org/10.1123/jab.2012-0208>
6. Хатькова С.Е., Костенко Е.В., Акулов М.А., Дягилева В.П., Николаев Е.А., Орлова А.С. Современные аспекты патофизиологии нарушений ходьбы у пациентов после инсульта и особенности их реабилитации. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова*. 2020;119(12):43–50. <https://doi.org/10.17116/jnevro201911911243>. [Khat'kova С.Е., Kostenko E.V., Akulov M.A., Dyagileva V.P., Nikolaev E.A., Orlova A.S. Modern aspects of the pathophysiology of walking disorders and their rehabilitation in post-stroke patients. *S.S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry (Zhurnal nevrologii i psikiatrii im. S.S. Korsakova)*. 2020;119(12):43–50. (In Russian).] <https://doi.org/10.17116/jnevro201911911243>
7. Moore J., Potter K., Blankshain K., Kaplan S., O'Dwyer L., Sullivan J. A Core Set of Outcome Measures for Adults With Neurologic Conditions Undergoing Rehabilitation. *Journal of Neurologic Physical Therapy*. 2018;42(3):174–220. <https://doi.org/10.1097/NPT.0000000000000229>
8. Middleton A., Fritz S., Lusardi M. Walking Speed: The Functional Vital Sign. *Journal of Aging and Physical Activity*. 2015;23(2):314–322. <https://doi.org/10.1123/japa.2013-0236>
9. Danks K., Pohlig R., Roos M., Wright T., Reisman D. Relationship Between Walking Capacity, Biopsychosocial Factors, Self-efficacy, and Walking Activity in Persons Poststroke. *Journal of Neurologic Physical Therapy*. 2016;40(4):232–238. <https://doi.org/10.1097/NPT.0000000000000143>
10. Fulk G., Echternach J., Nof L., O'Sullivan S. Clinometric properties of the six-minute walk test in individuals undergoing rehabilitation poststroke. *Physiotherapy Theory and Practice*, 2008; 4(3):195–204. <https://doi.org/10.1080/09593980701588284>

11. Mathias S., Nayak U.S., Isaacs B. Balance in elderly patients: the “get-up and go” test. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 1986;67(6):387–389.
12. Herman T., Inbar-Borovsky N., Brozgol M., Giladi N., Hausdorff J. The Dynamic Gait Index in healthy older adults: The role of stair climbing, fear of falling and gender. *Gait & Posture*. 2009;29(2):237–241. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2008.08.013>
13. Wrisley D., Kumar N. Functional Gait Assessment: Concurrent, Discriminative, and Predictive Validity in Community-Dwelling Older Adults. *Physical Therapy*. 2010;90(5):761–773. <https://doi.org/10.2522/ptj.20090069>
14. Jackson A., Carnel C., Ditunno J., Read M., Boninger M., Schmeler M. et al. Outcome Measures for Gait and Ambulation in the Spinal Cord Injury Population. *The Journal Of Spinal Cord Medicine*. 2008;31(5):487–499. <https://doi.org/10.1080/10790268.2008.11753644>
15. Kitago T., Liang J., Huang V.S., Hayes S., Simon P., Tenetomano L. et al. Improvement after constraint-induced movement therapy: recovery of normal motor control or task-specific compensation? *Neurorehabil Neural Repair*. 2013;27(2):99–109. <https://doi.org/10.1177/1545968312452631>
16. Kleim J., Jones, T. Principles of Experience-Dependent Neural Plasticity: Implications for Rehabilitation After Brain Damage. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*. 2008;51(1):225–239. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2008/018\)](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2008/018))
17. Mikolajczyk T., Ciobanu I., Badea D.I., Iliescu A., Pizzamiglio S., Schauer T. et al. Design and evaluation of the LOPES exoskeleton robot for interactive gait rehabilitation. *Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*. Published in: IEEE. 2007;15(3):379–386. <https://doi.org/10.1109/TNSRE.2007.903919>
18. O’Sullivan S.B., Schmitz T.J. Improving functional outcomes in physical rehabilitation. 2nd ed. Philadelphia: F.A. Davis Company. 2016:448 p. ISBN 9780803646124
19. White J., Bartley E., Janssen H., Jordan L., Spratt N. Exploring stroke survivor experience of participation in an enriched environment: a qualitative study. *Disability And Rehabilitation*. 2015;37(7):593–600. <https://doi.org/10.3109/09638288.2014.935876>
20. Laver K., Lange B., George S., Deutsch J., Saposnik G., Crotty M. Virtual reality for stroke rehabilitation. *Cochrane Database Of Systematic Reviews*. 2017;11(11):CD008349. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD008349.pub4>
21. Harkema S., Behrman P.T., Barbeau H. Locomotor Training: principles and practice. New York, NY: Oxford University Press. 2011:200 p. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195342086.001.0001>
22. George Hornby T., Straube D.S., Kinnaird C.R., Holleran C.L., Echaz A.J., Rodriguez K.S. et al. Importance of Specificity, Amount, and Intensity of Locomotor Training to Improve Ambulatory Function in Patients Poststroke. *Topics In Stroke Rehabilitation*. 2011;18(4):293–307. <https://doi.org/10.1310/tsr1804-293>
23. Perez M., Lungholt B., Nyborg K., Nielsen J. Motor skill training induces changes in the excitability of the leg cortical area in healthy humans. *Experimental Brain Research*. 2004;159(2):197–205. <https://doi.org/10.1007/s00221-004-1947-5>
24. States R.A., Pappas E., Salem Y. Overground physical therapy gait training for chronic stroke patients with mobility deficits. *Stroke*. 2009;40(11):627–628. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD006075.pub2>
25. Tyson S., Sadeghi-Demneh E., Nester C. A systematic review and meta-analysis of the effect of an ankle-foot orthosis on gait biomechanics after stroke. *Clinical Rehabilitation*. 2013;27(10):879–891. <https://doi.org/10.1177/0269215513486497>
26. Mehrholz J., Thomas S., Elsner B. Treadmill training and body weight support for walking after stroke (Review). *Cochrane Database of Systematic Reviews*. 2017;8(8):CD002840. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD002840.pub4>
27. Boyne P., Dunning K., Carl D., Gerson M., Khoury J., Rockwell B. et al. High-Intensity Interval Training and Moderate-Intensity Continuous Training in Ambulatory Chronic Stroke: Feasibility Study. *Physical Therapy*. 2016;96(10):1533–1544. <https://doi.org/10.2522/ptj.20150277>
28. Holleran C., Rodriguez K., Echaz A., Leech K., Hornby T. Potential Contributions of Training Intensity on Locomotor Performance in Individuals With Chronic Stroke. *Journal of Neurologic Physical Therapy*. 2015;39(2):95–102. <https://doi.org/10.1097/NPT.0000000000000077>
29. Mao Y., Lo W., Lin Q., Li L., Xiao X., Raghavan P., Huang D. The Effect of Body Weight Support Treadmill Training on Gait Recovery, Proximal Lower Limb Motor Pattern, and Balance in Patients with Subacute Stroke. *BioMed Research International*. 2015;2015:175719. <https://doi.org/10.1155/2015/175719>
30. Cho K., Lee W. Effect of treadmill training based real-world video recording on balance and gait in chronic stroke patients: A randomized controlled trial. *Gait & Posture*. 2014;39(1):523–528. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2013.09.003>
31. Sullivan K., Knowlton B., Dobkin B. Step training with body weight support: Effect of treadmill speed and practice paradigms on poststroke locomotor recovery. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2002;83(5):683–691. <https://doi.org/10.1053/apmr.2002.32488>
32. Takao T., Tanaka N., Iizuka N., Saitou H., Tamaoka A., Yanagi H. Improvement of gait ability with a short-term intensive gait rehabilitation program using body weight support treadmill training in community dwelling chronic poststroke survivors. *Journal of Physical Therapy Science*. 2015;27(1):159–163. <https://doi.org/10.1589/jpts.27.159>
33. Yen C., Wang R., Liao K., Huang C., Yang Y. Gait Training-Induced Change in Corticomotor Excitability in Patients With Chronic Stroke. *Neurorehabilitation and Neural Repair*. 2007;22(1):22–30. <https://doi.org/10.1177/1545968307301875>
34. Combs-Miller S., Kalpathi Parameswaran A., Colburn D., Ertel T., Harmeyer A., Tucker L., Schmid A. Body weight-supported treadmill training vs. overground walking training for persons with chronic stroke: a pilot randomized controlled trial. *Clinical Rehabilitation*. 2014;28(9):873–884. <https://doi.org/10.1177/0269215514520773>
35. Mehrholz J., Thomas S., Kugler J., Pohl M., Elsner B. Electro-mechanical-assisted training for walking after stroke. *Cochrane Database of Systematic Reviews*. 2020;10(CD006185):751. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD006185.pub5>
36. Kim H., You J. A Review of Robot-Assisted Gait Training in Stroke Patients. *Brain & Neurorehabilitation*. 2017;10(2). <https://doi.org/10.12786/bn.2017.10.e9>
37. Iosa M., Morone G., Cherubini A., Paolucci S. The Three Laws of Neurorobotics: A Review on What Neurorehabilitation Robots Should Do for Patients and Clinicians. *Journal of Medical and Biological Engineering*. 2016;36(1):1–11. <https://doi.org/10.1007/s40846-016-0115-2>
38. Bessler J., Prange-Lasonder G., Schulte R., Schaake L., Prinsen E., Buurke J. Occurrence and Type of Adverse Events During the Use of Stationary Gait Robots — A Systematic Literature Review. *Frontiers in Robotics and AI*. 2020;7:557–606. <https://doi.org/10.3389/frobt.2020.557606>
39. Morone G., Paolucci S., Cherubini A., De Angelis D., Venturiero V., Coiro P., Iosa M. Robot-assisted gait training for stroke patients: current state of the art and perspectives of robotics. *Neuropsychiatric Disease and Treatment*. 2017;13:1303–1311. <https://doi.org/10.2147/NDT.S114102>
40. Zhang X., Yue Z., Wang J. Robotics in Lower-Limb Rehabilitation after Stroke. *Behavioural Neurology*. 2017;article ID3731802:1–13. <https://doi.org/10.1155/2017/3731802>
41. Berger A., Horst F., Müller S., Steinberg F., Doppelmayr M. Current State and Future Prospects of EEG and fNIRS in Robot-Assisted Gait Rehabilitation: A Brief Review. *Frontiers in Human Neuroscience*. 2019;13(13):1–24. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2019.00172>

42. Bang D., Shin W. Effects of robot-assisted gait training on spatiotemporal gait parameters and balance in patients with chronic stroke: A randomized controlled pilot trial. *Neurorehabilitation*. 2016;38(4):343–349. <https://doi.org/10.3233/NRE-161325>
43. Buesing C., Fisch G., O'Donnell M., Shahidi I., Thomas L., Mummidisetty C. et al. Effects of a wearable exoskeleton stride management assist system (SMA®) on spatiotemporal gait characteristics in individuals after stroke: a randomized controlled trial. *Journal of Neuroengineering And Rehabilitation*. 2015;12:69. <https://doi.org/10.1186/s12984-015-0062-0>
44. Forrester L., Roy A., Hafer-Macko C., Krebs H., Macko R. Task-specific ankle robotics gait training after stroke: a randomized pilot study. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*. 2016;13(1):1–6. <https://doi.org/10.1186/s12984-016-0158-1>
45. Giggins O., Persson U., Caulfield B. Biofeedback in rehabilitation. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*. 2013;10(60):1–11. <https://doi.org/10.1186/1743-0003-10-60>
46. Schenck C., Kesar T. Effects of unilateral real-time biofeedback on propulsive forces during gait. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*. 2017;14(1):52. <https://doi.org/10.1186/s12984-017-0252-z>
47. Stanton R., Ada L., Dean C.M., Preston E. Biofeedback improves performance in lower limb activities more than usual therapy in people following stroke: a systematic review. *Journal of Physiotherapy*. 2016;63(1):11–16. <https://doi.org/10.1016/j.jphys.2016.11.006>
48. Holden M. Virtual Environments for Motor Rehabilitation: Review. *Cyberpsychology & Behavior*. 2005;8(3):187–211. <https://doi.org/10.1089/cpb.2005.8.187>
49. Fu M., Knutson J., Chae J. Stroke rehabilitation using virtual environments. *Phys. Med. Rehabil. Clin. N. Am.* 2015;26(4):747–757. <https://doi.org/10.1016/j.pmr.2015.06.001>
50. Keshner E.A., Fung J. The quest to apply VR technology to rehabilitation: tribulations and treasures. *Journal of Vestibular Research*. 2017;27:1–5. <https://doi.org/10.3233/VES-170610>
51. Calabro S., Naro A., Russo M., Leo A., Luca R., Balletta T. et al. The role of virtual reality in improving motor performance as revealed by EEG: a randomized trial. *J. Neuroeng. Rehabil.* 2017;14:53. <https://doi.org/10.1186/s12984-017-0268-4>
52. Jaffe D.L., Brown D.A., Pierson-Carey C.D., Buckley E.L., Lew H.L. Stepping over obstacles to improve walking in individuals with poststroke hemiplegia. *Journal of Rehabilitation Research & Development*. 2004;41(3):283–292
53. Johansson B.B. Current trends in stroke rehabilitation. A review with focus on brain plasticity. *Acta Neurol. Scand.* 2011;123(3):147–159. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0404.2010.01417.x>
54. Malouin F., Richards C. Mental Practice for Relearning Locomotor Skills. *Physical Therapy*. 2010;90(2):240–251. <https://doi.org/10.2522/ptj.20090029>
55. Dunskey A., Dickstein R., Marcovitz E., Levy S., Deutsch J. Home-Based Motor Imagery Training for Gait Rehabilitation of People With Chronic Poststroke Hemiparesis. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2008;89(8):1580–1588. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2007.12.039>
56. Sacheli L.M., Zapparoli L., De Santis C., Preti M., Pelosi C., Ursino N. et al. Mental steps: Differential activation of internal pacemakers in motor imagery and in mental imitation of gait. *Human Brain Mapping*. 2017;38(10):5195–5216. <https://doi.org/10.1002/hbm.23725>
57. Signal N. Strength training after stroke: rationale, evidence and potential implementation barriers for physiotherapists. *New Zealand Journal of Physiotherapy*. 2014;42(2):101–107.
58. Tong R., Ng M., Li L., So E. Gait Training of Patients After Stroke Using an Electromechanical Gait Trainer Combined With Simultaneous Functional Electrical Stimulation. *Physical Therapy*. 2006;86(9):1282–1294. <https://doi.org/10.2522/ptj.20050183>
59. Saunders D., Greig C., Mead G. Physical Activity and Exercise After Stroke. *Stroke*. 2014;45(12):3742–3747. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.114.004311>
60. Duncan P., Sullivan K., Behrman A., Azen S., Wu S., Nadeau S. et al. Body-Weight — Supported Treadmill Rehabilitation after Stroke. *New England Journal of Medicine*. 2011;364(21):2026–2036. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1010790>

Поступила 15.07.2021  
Принята к печати 20.09.2021