

ЦЕЛЕВАЯ ТРЕНИРОВКА ФУНКЦИИ ХОДЬБЫ ПО ПАРАМЕТРАМ ПЕРИОДА ОПОРЫ И ОДИНОЧНОЙ ОПОРЫ У БОЛЬНЫХ В РАННЕМ ВОССТАНОВИТЕЛЬНОМ ПЕРИОДЕ ЦЕРЕБРАЛЬНОГО ИНСУЛЬТА

Д.В. Скворцов^{1, 2, 3}, С.Н. Кауркин^{1, 2, 3}, Г.Е. Иванова^{1, 3}, А.Ю. Суворов^{1, 3}

¹ Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова, Москва, Российская Федерация

² Федеральный научно-клинический центр специализированных видов медицинской помощи и медицинских технологий, Москва, Российская Федерация

³ Федеральный центр мозга и нейротехнологий, Москва, Российская Федерация

Обоснование. Значимыми базовыми параметрами ходьбы являются периоды опоры и одиночной опоры на конечность (период опоры — это все время опоры конечности, а период одиночной опоры — когда только одна конечность на опоре). Оба периода могут быть использованы в качестве целевых для тренировки с биологической обратной связью. **Цель исследования** — изучить эффективность обеих целевых параметров для тренировки функции ходьбы с биологической обратной связью у больных в раннем восстановительном периоде церебрального инсульта. **Методы.** В исследовании участвовало 40 пациентов по 20 человек в каждой группе, которым был проведен курс тренировки по гармонизации ходьбы: в первой группе — по периоду опоры, во второй — по периоду одиночной опоры. В контрольную группу вошли 20 здоровых человек. Исследовали пространственно-временные параметры ходьбы в произвольном темпе в начале и по окончании курса тренировки, а также классические клинические шкалы. Тренировка на беговой дорожке состояла из 10 сессий. **Результаты.** Клинические и биомеханические параметры ходьбы продемонстрировали достоверное улучшение показателей, при этом биомеханические показатели второй группы свидетельствовали о более тяжелом функциональном состоянии до начала лечения при одинаковых клинических параметрах по шкалам Бартел, Ривермид, Рэнкин, реабилитационной маршрутизации и мануальному мышечному тестированию. В первой группе получены косвенные данные о возможном влиянии на тренировку целевого показателя и прямые — о его влиянии на функцию здоровой конечности, что также позволяет увеличить нагрузку на паретичную конечность. Во второй группе достоверных данных о влиянии тренировки с биологической обратной связью на функциональный результат не получено. **Заключение.** Согласно результатам исследования, классическая клиническая оценка состояния пациента может не соответствовать инструментальному функциональному исследованию ходьбы. При использовании целевого параметра тренировки «период опоры» получены косвенные свидетельства того, какая тренировка эффективна.

Ключевые слова: тренировка; биологическая обратная связь; ранний восстановительный период инсульта; биомеханика ходьбы.

Для цитирования: Скворцов Д.В., Кауркин С.Н., Иванова Г.Е., Суворов А.Ю. Целевая тренировка функции ходьбы по параметрам периода опоры и одиночной опоры у больных в раннем восстановительном периоде церебрального инсульта. *Клиническая практика*. 2023;14(1):31–43. doi: <https://doi.org/10.17816/clinpract112483>

Поступила 10.11.2022

Принята 07.12.2022

Опубликована 30.12.2022

ОБОСНОВАНИЕ

Биологическая обратная связь (БОС) как метод восстановления двигательной функции и функции ходьбы в частности стала использоваться относительно недавно. В имеющихся публикациях данный метод оценивается, прежде всего, в качестве пер-

спективного [1]. Эффективность, которая отмечается большинством авторов, тем не менее остается предметом дискуссии [1–3]. Это связано с тем, что еще относительно недавно не было технической возможности использовать биомеханические параметры ходьбы в качестве целевых параметров

TARGETED TRAINING OF THE FUNCTION OF WALKING ACCORDING TO THE STANCE AND SINGLE SUPPORT PHASE IN PATIENTS IN THE EARLY RECOVERY PERIOD OF CEREBRAL STROKE

D.V. Skvortsov^{1, 2, 3}, S.N. Kaurkin^{1, 2, 3}, G.E. Ivanova^{1, 3}, A.Yu. Suvorov^{1, 3}

¹ The Russian National Research Medical University named after N.I. Pirogov, Moscow, Russian Federation

² Federal Scientific and Clinical Center for Specialized Medical Assistance and Medical Technologies of the Federal Medical Biological Agency, Moscow, Russian Federation

³ Federal Center for Brain research and neurotechnologies Neurotechnology, Moscow, Russian Federation

Background: The phases of support and single support on a limb are significant basic parameters of walking (phase of support means the whole limb support time, while the phase of single support is when only one limb is on the ground). Both can be used as targets for biofeedback training. **Aim:** to investigate the effectiveness of both target parameters for training the function of walking with biofeedback in patients in the early recovery period of cerebral stroke. **Methods:** The study involved 40 patients, 20 in each group, who underwent a training course to harmonize walking: the first group — for the period of support, and the second group — for the period of single support. The control group of healthy people also consisted of 20 people. We studied the spatiotemporal parameters of walking at an arbitrary pace at the beginning and after the end of the training course, as well as classical clinical scales. The treadmill training consisted of 10 sessions. **Results:** The clinical and biomechanical parameters of walking changed their values in the direction of a significant improvement in the performance. At the same time, the biomechanical parameters of the second group indicated a more severe functional state before the start of the treatment, with the same clinical parameters according to the Barthel scale, Rivermead Mobility Index, modified Rankin scale, rehabilitation routing scale, and manual muscle testing. In the first group, indirect data were obtained on the possible effect of the target indicator on the training and direct data on its effect on the function of a healthy limb, which also allows increasing the load on the paretic one. In the second group, there were no reliable data on the effect of biofeedback training on the functional outcome. **Conclusion:** The conducted study showed that the classical clinical assessment of the patient's condition may not correspond to the instrumental functional study of walking. When using the support period as the training target parameter, indirect evidence was obtained that such a training is effective.

Keywords: biofeedback; training early recovery; period of a stroke; gait analysis.

For citation: Skvortsov DV, Kaurkin SN, Ivanova GE, Suvorov AYu. Targeted training of the function of walking according to the stance and single support phase in patients in the early recovery period of cerebral stroke. *Journal of Clinical Practice*. 2023;14(1):31–43. doi: <https://doi.org/10.17816/clinpract112483>

Submitted 10.11.2022

Revised 07.12.2022

Published 30.12.2022

для тренировки. Данное обстоятельство связано с самой природой основных биомеханических параметров ходьбы, которые требуют специальных средств регистрации. Развитие технологий регистрации различных физиологических параметров, в том числе и биомеханических, дало техническую возможность применения именно биомеханических параметров ходьбы для тренировки с БОС. Такую тренировку стали применять при различной патологии функции движения, в том числе при церебральном инсульте.

Один из последних аналитических обзоров о применении целенаправленной тренировки с БОС по биомеханическим параметрам ходь-

бы при церебральном инсульте был выполнен J. Spencer и соавт. [1]. В работе отмечается, что предшествующие исследования демонстрируют смешанные результаты применения различных целевых параметров для тренировки ходьбы у больных после церебрального инсульта, однако такие тренировки определенно оказывают влияние на функцию ходьбы.

Одна из существенных технических трудностей осуществления БОС — это необходимость точной и быстрой регистрации параметров ходьбы в реальном режиме времени, чтобы их можно было использовать для БОС [2–5]. При этом применение портативных сенсоров для задач БОС-тренировок

может представлять определенное решение технических проблем [6]. Такие сенсоры также представляют интерес и для систем удаленной реабилитации [6].

J.J. Tate и С.Е. Milner [7] в своем исследовании определили четыре основных целевых параметра для БОС-тренировки ходьбы: по электромиограмме (целевым параметром является амплитуда активности мышцы); кинематическим параметрам (движения определенных сегментов или суставов в определенные фазы ходьбы); кинетическим параметрам (генерация определенных усилий в определенные фазы ходьбы); пространственно-временным характеристикам ходьбы.

Режимы обратной связи [1] предполагают использование визуальной, звуковой, тактильной обратной связи или их комбинации, при этом наиболее применимы визуальная и звуковая обратная связь. Тактильная обратная связь применяется чаще всего в виде носимых вибрационных устройств. Собственно, визуальная часть представляет собой виртуальную трехмерную среду, где пациент может осуществлять некоторые действия, близкие по характеру с реальными жизненными процессами [8]. При этом управляющими являются параметры функции ходьбы. Такие тренировки способны существенно увеличить скорость ходьбы по сравнению с обычной тренировкой на тредмиле [9]. В ряде исследований показано, что звуковая обратная связь для пациентов, перенесших церебральный инсульт, может давать результаты лучше, чем визуальная [10, 11]. Однако, если к основному целевому сигналу, осуществляющему БОС, прибавить дополнительный (в другой модальности), то это позволит улучшить результат БОС-воздействия [12].

По поводу использования различных типов параметров на сегодняшний день имеются следующие результаты. В обзоре [1] отмечается, что тренировки с БОС по электромиограмме не показали каких-либо существенных изменений. Вероятнее всего, потому, что имеющиеся случаи БОС в ходьбе по параметрам электромиограммы включали только воздействие на трехглавую мышцу голени, что нельзя признать достаточным. Кроме этого, сами протоколы использования электромиографии для БОС-тренировки имеют вариативность, что снижает возможность сравнения их эффективности.

БОС с использованием кинематических параметров (региструющий гониометр на коленном суставе) показала уменьшение пассивного замыка-

ния коленного сустава у больных после церебрального инсульта [13, 14].

БОС с использованием кинетических параметров применяется более часто, что обусловлено, скорее всего, достаточно большим выбором регистрирующих приборов. Это могут быть как динамометрические платформы, так и специальные педобарографические стельки, вкладываемые в обувь [15], или другие устройства. В проведенных исследованиях [15, 16] получены положительные результаты такой тренировки. Имеется положительный опыт использования в качестве целевого параметра отдельных экстремумов реакции опоры в переднезаднем направлении [17]. Такие исследования представляют значительный интерес, поскольку силы пропульсии и торможения являются одними из ведущих в кинетике ходьбы.

Использование БОС-тренировки по пространственно-временным параметрам с целевыми показателями длины или ширины шага показали противоречивые результаты у больных после церебрального инсульта [7, 18, 19]. Исследование А. Brasileiro и соавт. [20] не обнаружило увеличения длины шага при использовании этого параметра в качестве целевого. Еще меньшее распространение имеет использование ширины шага как целевого параметра [21]. В рандомизированном контролируемом исследовании высокого качества, проведенном М. Druzbecki и соавт. [18], не удалось продемонстрировать значительного улучшения качества походки после тренировки с БОС по длине шага в сравнении с обычными тренировками на беговой дорожке. Наше предшествующее исследование [22, 23] показало, что в раннем восстановительном периоде церебрального инсульта относительно короткие периоды тренировок, общей длительностью не превышающие 3 нед и состоящие в среднем из 10 тренировок, проводимых по целевому показателю «период опоры» (все время опоры конечности), не позволяют сделать однозначного заключения и требуют дальнейшего изучения. При этом временные параметры являются одними из базовых и определяющих функциональное состояние, из них два определяют, насколько конечность сохраняет свою функцию опоры: это параметры «период опоры» и «период одиночной опоры» (только одна конечность на опоре). В отношении второго параметра в доступной литературе не удалось обнаружить соответствующих исследований.

J. Spencer и соавт. [1] по поводу порядка применения БОС-тренировки, включающей длитель-

ность самих тренировок, их частоту, повторяемость и количество, отмечают в своем обзоре очень высокую вариабельность: от единичных тренировок, где сравниваются параметры до и после выполнения упражнений, до нескольких последовательных тренировок. Количество варьирует от 3 до 20 тренировок, а их время — от 11 до 30 мин. Частота тренировок изменяется от трех в неделю до двух ежедневно. Авторы приходят к заключению, что данные параметры требуют дальнейшего изучения, и оптимальные их параметры могут зависеть от многих факторов, включая стадию течения церебрального инсульта.

Цель исследования — изучить динамику восстановления функции ходьбы у больных в раннем восстановительном периоде церебрального инсульта в результате применения технологий целенаправленных БОС-тренировок с воздействием на базовые параметры ходьбы — периоды опоры.

МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Экспериментальное, проспективное, рандомизированное, интервенционное, продольное, пилотное.

Критерии соответствия

Критерии включения: пациенты с гемипарезом в раннем восстановительном периоде впервые возникшего полушарного ишемического инсульта; возраст до 75 лет; функциональная готовность к вертикализации; адекватная реакция на пробу с ортостазом; возможность держать вертикальную стойку в течение не менее минуты; ходьба без посторонних вспомогательных предметов; ясное сознание с уровнем бодрствования, достаточным для усвоения и выполнения инструкций при проведении исследования и тренировок; отсутствие когнитивных нарушений, препятствующих пониманию поставленных исследователем задач; отсутствие сенсомоторной афазии; наличие тонуса в мышцах нижней конечности выше 2 баллов по модифицированной шкале спастичности Ашфорт (Modified Ashworth Scale); отсутствие декомпенсированной соматической патологии, ишемических изменений на электрокардиограмме, сердечной недостаточности (II класс и выше по Killip); отсутствие заболеваний центральной и периферической нервной системы, помимо инсульта, сопровождающихся неврологическим дефицитом (последствия травм, опухолей, полинейропатии и т.п.); отсутствие ортопедической патологии (суставные деформации

и контрактуры, выраженный болевой синдром, ампутиации конечностей и др.).

Критерии исключения: неадекватная реакция сердечно-сосудистой системы во время проведения тренировки; страх ходьбы по тредмилу; отказ пациента от проведения лечебных мероприятий; отрицательная динамика неврологического и/или соматического статуса.

Условия проведения

Исследование проводилось в период с 2020 по 2022 г. в лаборатории Научно-исследовательского центра медицинской реабилитации ФГБУ ФЦМН ФМБА России.

Описание медицинского вмешательства

В исследовании принимали участие две группы пациентов (по 20 человек в каждой) с гемипарезом в раннем восстановительном периоде впервые возникшего полушарного ишемического инсульта и группа контроля, состоящая из 20 здоровых испытуемых. Испытуемым проводились курсы БОС-тренировок по пространственно-временным параметрам ходьбы — периоду опоры и периоду одиночной опоры.

Методика оценки функции ходьбы

Объективную диагностику функции ходьбы выполняли с помощью комплекса «Стэдис» (Нейрософт, Иваново). С помощью эластичных удерживающих лент на область крестца, верхнюю треть бедра и нижнюю треть голени с наружных сторон, тыла обеих стоп производили фиксацию семи инерционных сенсоров «Нейросенс». Каждый сенсор имеет возможность записи амплитудных параметров исследуемых суставов и функциональной электромиографии. Регистрировались электрическая активность прямой мышцы бедра, суммарная активность двуглавой и полусухожильной мышцы, передней большеберцовой мышцы и суммарная активность наружной и внутренней головок трехглавой. Использовали одноразовые поверхностные электроды Mederen (Китай).

Калибровка сенсоров осуществлялась в нейтральном положении пациента: стоя прямо, стопы на ширине плеч, руки выпрямлены вдоль тела, тазобедренные и коленные суставы выпрямлены. Регистрацию биомеханических параметров производили во время ходьбы пациента в произвольном темпе на дистанции 10 м, который разворачивался каждый раз в конце и снова продолжал движение.

Согласно базовым установкам программы, шаги с неустановившимися параметрами (разгон и торможение) программное обеспечение автоматически отбрасывает. Остальные циклы шага калькулируются. Регистрация завершается по истечении 60 сек или при достижении 40 циклов шага.

В процессе исследования нейросеть программного обеспечения определяла циклы шага (ЦШ) для каждой нижней конечности и в соответствии с ними рассчитывала другие параметры ЦШ. Для последующей оценки регистрировали пространственно-временные биомеханические параметры. К временным относились длительность ЦШ (в сек); коэффициент ритмичности (симметрии): отношение времени опоры (stance phase) меньшее к большему; частота шагов (в шагах в минуту; ш/мин). Отдельные временные периоды ЦШ (в % от ЦШ): период опоры (ПО), период одиночной опоры (ОО), суммарный период двойной опоры (ДО) и параметр начала ЦШ другой ноги (начало второй двойной опоры, НВД). Пространственные параметры — высота подъема стопы (clearance) (ВПС; в см); скорость ходьбы (V ; в км/ч); длина ЦШ (в см).

Методика БОС-тренировки

Система «Стэдис» обладает функционалом для целевой БОС-тренировки ходьбы по выбранному пространственно-временному параметру. Оценка ходьбы проводится посредством двух сенсоров «Нейросенс», закрепленных в нижней трети голени с наружной стороны эластичными лентами. Первым этапом пациент с установленными сенсорами становится на беговую дорожку, после чего дорожку включают и выбирают режим скорости, комфортный для пациента. В начале каждой тренировочной сессии на медицинском тредмиле производится двухминутная оценка пространственно-временных параметров ходьбы (temporospatial). По окончании выводится отчет с пространственно-временными параметрами ходьбы с отметками параметров, выходящих за пределы нормы.

Далее отмечается параметр, который будет использован для тренировки (для первой группы испытуемых использовали параметр «период опоры», для второй группы — параметр «одиночная опора»), после чего проводится БОС-тренировка (рис. 1), где выбранный параметр отображается в виде столбиков с отметками планируемого диапазона изменений. Выход за установленный диапазон показывается как ошибочный, при этом замедляются передвижение по виртуальной среде и выполнение

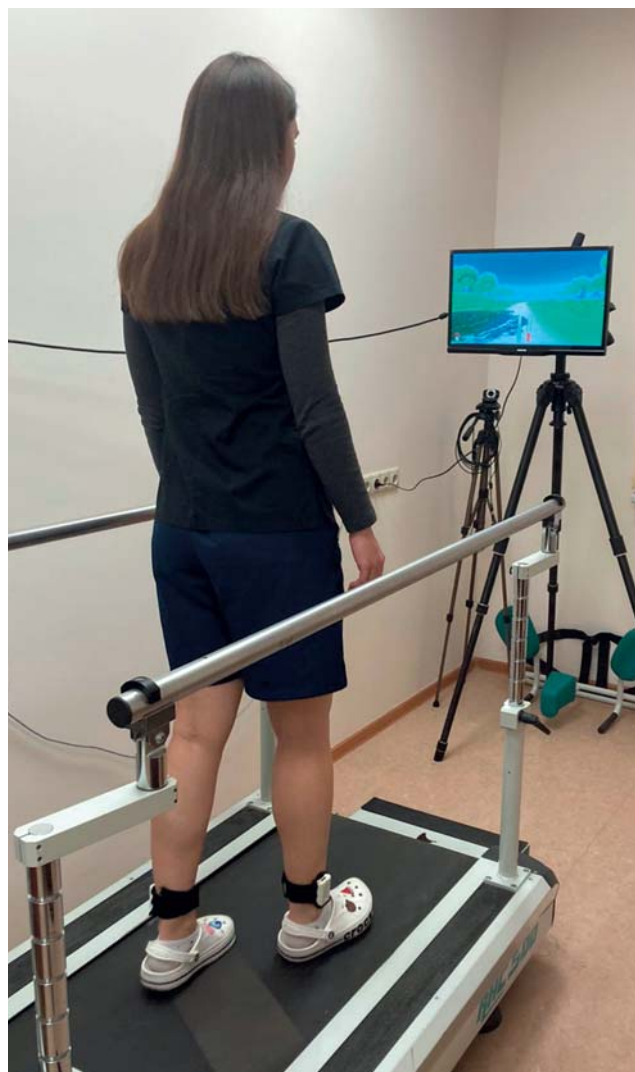


Рис. 1. Процесс тренировки.

Fig. 1. The training process.

требуемого в виртуальной среде задания. Автоматический алгоритм тренировки настроен таким образом, что при успешном выполнении диапазон изменений корректируется в сторону большей симметрии параметров.

Тренировка проводилась в автоматическом режиме до утомления пациента. При необходимости границы допустимых колебаний выбранного параметра можно было отрегулировать вручную. БОС-тренировка осуществлялась исходя из тех возможностей, которые были посильны пациентам и технически осуществимы в течение их пребывания в стационаре. Пациенты находились в стационаре разное количество дней в зависимости от канала госпитализации, что влияло на количество занятий. Таким образом, необходимо было осуществить не менее восьми тренировок. В группе тренировки по параметру «период опоры» (ГПО) коли-

чество процедур составило 8–11 ($9,2 \pm 2,12$), в группе тренировки по параметру «период одиночной опоры» (ГОО) — тоже 8–11 ($9,6 \pm 0,94$). Статистических различий не было.

Длительность тренировки при строгом соответствии всем критериям включения и исключения во многом определяется состоянием пациента на момент ее проведения. Тренировочная сессия проводилась до появления признаков утомления (жалобы пациента на усталость или визуальная картина напряжения). Кроме этого, принимали во внимание регресс параметров тренировки: отсутствие динамики изменения тренируемых параметров, снижение ритмичности движения, увеличение пределов изменения тренируемого параметра (все это отображается на мониторе оператора). В среднем длительность тренировки для ГПО составила 17,53 мин (от 15,14 и до 20,39), а для ГОО — 19,06 мин (от 13,03 и до 25,06). При сравнении параметров средней длительности тренировки исследуемых групп получено достоверное различие в виде большего времени тренировки в ГОО ($p < 0,05$).

Марка используемого тредмила — Runner RHC500 (Air Machine, Италия). Скорость ходьбы пациентов на тренировке изменялась согласно субъективным ощущениям пациентов и критериям безопасности проведения тренировки. Средняя скорость ходьбы пациентов для ГПО составила $1,06 \pm 0,47$ км/ч (от 0,35 и до 2,10 км/ч), для ГОО — $0,99 \pm 0,37$ км/ч (от 0,34 и до 1,71 км/ч). Статистических различий не было.

Для удобства применения в условиях лаборатории, когда положение монитора для БОС-среды было оптимальным позади дорожки, использовали режим скорости назад. С учетом того, что скорость ходьбы пациентов была незначительной, режима движения назад оказалось достаточным.

Этическая экспертиза

Исследование выполнено в соответствии с этическими принципами Хельсинкской декларации с получением письменного согласия пациента на участие в исследовании и одобрено локальным этическим комитетом ФГБУ ФЦМН ФМБА России (ЭК ФЦМН ФМБА № 7 от 19.07.2021).

Статистический анализ

Обработка полученных результатов проведена стандартными методами описательной вариационной статистики с расчетом средних значений и среднеквадратичного отклонения. Использован

программный пакет STATISTICA 12. Оценку достоверности различий выполняли с помощью критерия Вилкоксона–Манна–Уитни с критерием $p < 0,05$. Проводили сравнительную оценку аналогичных параметров контралатеральной и паретичной сторон с показателями группы здоровых добровольцев.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Объекты (участники) исследования

Группы пациентов с гемипарезом в раннем восстановительном периоде впервые возникшего полушарного ишемического инсульта (по 20 человек в каждой) делили слепым рандомизированным методом по способу воздействия на тренировке. Группа, получавшая тренировку по параметру «период опоры» (ГПО), состояла из 15 мужчин и 5 женщин, из них 9 с правополушарным поражением головного мозга, 11 — с левополушарным, средний возраст $49,05 \pm 12,44$ (23–65) лет, средний рост $176,35 \pm 8,52$ см (159–195), средний вес $79,50 \pm 13,34$ кг (49–102), дней после острого нарушения мозгового кровообращения $113,05 \pm 47,96$ (28–179). Группа, получавшая тренировку по параметру «одиночная опора» (ГОО), включала 10 мужчин и 10 женщин, из них 11 с правополушарным поражением головного мозга, 9 — с левополушарным, средний возраст $55,05 \pm 11,50$ (35–74) лет, средний рост $174,40 \pm 8,12$ см (159–187), средний вес $78,90 \pm 10,78$ кг (59–95), дней после острого нарушения мозгового кровообращения $100,75 \pm 58,65$ (25–179).

Группу контроля составили 20 практически здоровых женщин ($n=10$) и мужчин ($n=10$), средний возраст $28,8 \pm 3,66$ (23–35) лет, средний рост $176,8 \pm 5,53$ см (168–188), средний вес $76,25 \pm 14,09$ кг (55–100), не имеющих в анамнезе травм и заболеваний опорно-двигательного аппарата.

Основные результаты исследования

Результаты исследования динамики состояния по шкалам оценки функциональных исходов представлены в табл. 1. Наблюдается достоверное улучшение по всем используемым шкалам ($p < 0,05$).

Результаты исследования динамики по шкале оценки мышечной силы (Medical Research Council Weakness Scale, MRC) представлены в табл. 2. В результате проведенного лечения наблюдается достоверное улучшение по всем мышечным группам в обоих исследуемых коллективах ($p < 0,05$).

Данные анализа пространственно-временных параметров ходьбы представлены в табл. 3. Пара-

Таблица 1 / Table 1

Оценка по шкалам функциональных исходов /
Functional outcome assessment scales

| Группа | Шкалы | | | | | | | |
|--------|-----------|------------|----------|-----------|---------|----------|---------|----------|
| | Бартел | | Ривермид | | Рэнкин | | ШРМ | |
| | До | После | До | После | До | После | До | После |
| ГПО | 74,7±10,3 | 81,7±10,3* | 9,4±2,1 | 11,0±2,1* | 3,0±0,0 | 2,8±0,4* | 3,0±0,3 | 2,8±0,4* |
| ГОО | 73,7±8,4 | 85,5±10,5* | 8,8±1,9 | 10,8±1,7* | 3,0±0,0 | 2,6±0,7* | 3,0±0,0 | 2,6±0,7* |

Примечание. * $p < 0,05$ (по сравнению с таким же показателем до лечения). «До» — параметр до тренировки БОС; «После» — параметр после тренировки БОС. БОС — биологическая обратная связь; ГПО — группа тренировки по параметру «период опоры»; ГОО — группа тренировки по параметру «период одиночной опоры»; ШРМ — шкала реабилитационной маршрутизации.

Note: * $p < 0.05$ (compared with the same indicator before the treatment). “Before” — parameter before the biofeedback training; “After” — parameter after the biofeedback training. ГПО — training group according to the “period of support” parameter; ГОО — training group according to the “period of single support” parameter; ШРМ — scale of rehabilitation routing.

Таблица 2 / Table 2

Шкала оценки мышечной силы (MRC) /
Medical Research Council Weakness Scale (MRC)

| Группа мышц | Целевой параметр | До | После |
|--------------------------------------|------------------|-----------|------------|
| Тазобедренный, сгибатели | ГПО | 3,70±0,57 | 4,05±0,76* |
| | ГОО | 3,65±0,59 | 3,85±0,59* |
| Тазобедренный, разгибатели | ГПО | 3,75±0,64 | 4,10±0,79* |
| | ГОО | 3,70±0,57 | 3,90±0,55* |
| Коленный, разгибатели | ГПО | 3,55±0,69 | 3,90±0,91* |
| | ГОО | 3,50±0,61 | 3,70±0,57* |
| Коленный, сгибатели | ГПО | 3,60±0,60 | 3,95±0,83* |
| | ГОО | 3,50±0,61 | 3,70±0,57* |
| Голеностопный, тыльные сгибатели | ГПО | 3,00±0,86 | 3,20±0,83* |
| | ГОО | 2,95±0,83 | 3,30±0,92* |
| Голеностопный, подошвенные сгибатели | ГПО | 3,15±0,81 | 3,35±0,81* |
| | ГОО | 2,95±0,83 | 3,30±0,92* |

Примечание. * $p < 0,05$ (по сравнению с таким же показателем до лечения). ГПО — группа тренировки по параметру «период опоры»; ГОО — группа тренировки по параметру «период одиночной опоры».

Note: * $p < 0.05$ (compared with the same indicator before treatment). ГПО — training group according to the “period of support” parameter; ГОО — training group according to the “period of single support” parameter.

метр ЦШ демонстрирует достоверное увеличение в обеих исследуемых группах как до, так и после тренировки в сравнении с группой нормы ($p < 0,05$). Параметр «частота шага» демонстрирует достоверное снижение в обеих исследуемых группах как до, так и после тренировки в сравнении с группой нормы ($p < 0,05$).

Высота подъема стопы паретичной конечности достоверно меньше в обеих исследуемых группах

как до, так и после тренировки в сравнении с группой нормы ($p < 0,05$). В группе ГОО высота подъема стопы контралатеральной конечности достоверно меньше показателей группы нормы и такого же показателя в ГПО до и после проводимого лечения ($p < 0,05$). Высота подъема стопы в паретичной конечности достоверно меньше в обеих исследуемых группах по сравнению с таким же показателем контралатеральной стороны до лечения ($p < 0,05$).

Пространственно-временные параметры ходьбы /
Space-time parameters of walking

| Параметр | Целевой параметр | До | | После | | Контроль |
|--------------------------|------------------|-------------------|-------------|-------------------|--------------|--------------|
| | | Конечность | | | | |
| | | Контралатеральная | Паретичная | Контралатеральная | Паретичная | |
| Цикл шага, сек | ГПО | 1,56±0,32* | 1,56±0,33* | 1,53±0,33* | 1,53±0,32* | 1,09±0,07 |
| | ГОО | 1,76±0,50* | 1,75±0,49* | 1,76±0,42* | 1,75±0,40* | |
| Частота шага, ш/мин | ГПО | 39,85±7,34* | | 40,40±7,43* | | 54,6±3,49 |
| | ГОО | 35,40±9,86* | | 35,50±9,19* | | |
| Высота подъема стопы, см | ГПО | 12,25±1,80 | 9,90±3,11*# | 12,65±1,60 | 10,20±3,00*® | 12,55±2,06 |
| | ГОО | 10,15±2,78*® | 8,30±3,34*# | 10,60±1,93*® | 9,30±2,47*§ | |
| Скорость ходьбы, V, км/ч | ГПО | 2,10±0,77* | | 2,32±0,93*§ | | 4,42±0,56 |
| | ГОО | 1,45±0,85*® | | 1,60±0,77*® | | |
| Коэффициент ритмичности | ГПО | 0,75±0,17* | | 0,81±0,13*§ | | 0,98±0,01 |
| | ГОО | 0,73±0,22* | | 0,76±0,21* | | |
| Длина цикла шага, см | ГПО | 85,41±21,71* | | 90,60±25,40*§ | | 135,60±11,18 |
| | ГОО | 63,20±24,37*® | | 71,55±22,37*®§ | | |

Примечание. * $p < 0,05$ (по сравнению с таким же значением в группе нормы); # $p < 0,05$ (по сравнению с таким же показателем контралатеральной стороны до лечения); ® $p < 0,05$ (по сравнению с таким же показателем контралатеральной стороны после лечения); § $p < 0,05$ (по сравнению с таким же показателем до лечения); & $p < 0,05$ (по сравнению с таким же показателем в группе с параметром «период опоры»). ГПО — группа тренировки по параметру «период опоры»; ГОО — группа тренировки по параметру «период одиночной опоры».

Note: * $p < 0.05$ (compared with the same value in the control group); # $p < 0.05$ (compared with the same indicator of the contralateral side before the treatment); ® $p < 0.05$ (compared with the same indicator of the contralateral side after the treatment); § $p < 0.05$ (compared with the same indicator of the contralateral side after the treatment); & $p < 0.05$ (compared with the same indicator before the treatment); & $p < 0.05$ (compared with the same indicator in the group with the “period of support” parameter). ГПО — training group according to the “period of support” parameter; ГОО — training group according to the “period of single support” parameter.

Высота подъема стопы паретичной конечности в ГПО достоверно меньше по сравнению с таким же показателем контралатеральной стороны после лечения ($p < 0,05$). Высота подъема стопы паретичной конечности в ГОО стала достоверно больше после лечения ($p < 0,05$).

Скорость ходьбы пациентов демонстрирует достоверное снижение показателя в обеих исследуемых группах как до, так и после тренировки по сравнению с группой нормы ($p < 0,05$). Скорость ходьбы пациентов в ГОО достоверно ниже как до, так и после лечения по сравнению с таким же показателем в ГПО ($p < 0,05$). Скорость ходьбы пациентов в ГПО стала достоверно выше после лечения ($p < 0,05$).

Коэффициент ритмичности ходьбы демонстрирует достоверное снижение в обеих исследуемых группах как до, так и после тренировки по сравнению с группой нормы ($p < 0,05$). Коэффициент

ритмичности ходьбы в ГПО стал достоверно выше после лечения ($p < 0,05$).

Длина ЦШ достоверно меньше в обеих исследуемых группах как до, так и после тренировки по сравнению с группой нормы ($p < 0,05$). Длина ЦШ в ГОО достоверно меньше как до, так и после тренировки по сравнению с таким же показателем в ГПО ($p < 0,05$). Длина ЦШ в обеих исследуемых группах после тренировки достоверно увеличилась по сравнению с таким же показателем до лечения ($p < 0,05$).

Данные анализа фазовых параметров ходьбы представлены в табл. 4.

Показатель ПО контралатеральной конечности достоверно больше, чем показатель нормы, как до, так и после лечения в обеих исследуемых группах ($p < 0,05$). Показатель ПО паретичной конечности достоверно больше, чем показатель нормы, как до, так и после лечения в группе ГОО

Таблица 4 / Table 4

Фазы ходьбы /
Walking phases

| Параметр | Целевой параметр | До | | После | | Контроль |
|--------------------------------|------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------|-------------------------------|------------|
| | | Конечность | | | | |
| | | Контралатеральная | Паретичная | Контралатеральная | Паретичная | |
| Период опоры, % | ГПО | 72,78±5,63* | 63,51±4,35 [#] | 71,18±4,89* [§] | 64,46±3,63 [@] | 62,85±1,51 |
| | ГОО | 76,42±9,80* ^{&} | 69,48±7,45* ^{&#} | 74,11±9,85* [§] | 68,42±8,18* ^{&@} | |
| Период одиночной опоры, % | ГПО | 36,13±4,29 | 27,13±6,01* [#] | 35,76±3,64 | 29,12±4,66* ^{@§} | 37,21±1,40 |
| | ГОО | 31,02±6,63 ^{&} | 24,24±9,18 [#] | 32,26±8,17 | 26,50±9,32 [@] | |
| Период двойной опоры, % | ГПО | 36,66±8,33* | 36,39±8,05* | 35,42±6,76* | 35,35±6,70* | 25,63±2,75 |
| | ГОО | 44,23±14,75* ^{&} | 43,65±15,01* ^{&} | 41,89±15,95* | 42,10±16,10* | |
| Начало второй двойной опоры, % | ГПО | 54,23±4,26* | 45,49±4,38* [#] | 52,87±3,67* | 47,43±3,61* [@] | 49,91±0,41 |
| | ГОО | 55,29±6,77* | 45,67±6,19* [#] | 51,93±8,41 | 47,18±7,01 | |

Примечание. * $p < 0,05$ (по сравнению с таким же значением в группе нормы); [#] $p < 0,05$ (по сравнению с таким же показателем контралатеральной стороны до лечения); [@] $p < 0,05$ (по сравнению с таким же показателем контралатеральной стороны после лечения); [§] $p < 0,05$ (по сравнению с таким же показателем до лечения); [&] $p < 0,05$ (по сравнению с таким же показателем в группе с параметром «период опоры»). ГПО — группа тренировок по параметру «период опоры»; ГОО — группа тренировок по параметру «период одиночной опоры».

Note: * $p < 0.05$ (compared with the same value in the control group); [#] $p < 0.05$ (compared with the same indicator of the contralateral side before the treatment); [@] $p < 0.05$ (compared with the same indicator of the contralateral side after the treatment); [§] $p < 0.05$ (compared with the same before the treatment); [&] $p < 0.05$ (compared with the same indicator in the group with the “support period” parameter). ГПО — training group according to the “period of support” parameter; ГОО — training group according to the “period of single support” parameter.

($p < 0,05$). Показатель ПО контралатеральной конечности до лечения и паретичной конечности как до, так и после лечения достоверно больше, чем аналогичный показатель в ГПО ($p < 0,05$). Показатель ПО паретичной конечности в обеих исследуемых группах достоверно меньше в сравнении с таким же показателем контралатеральной стороны до лечения ($p < 0,05$). Показатель ПО контралатеральной конечности в обеих исследуемых группах стал достоверно меньше, чем до проводимого лечения ($p < 0,05$). Показатель ПО паретичной конечности в ГПО стал достоверно больше, а в группе ГОО — достоверно меньше, чем до проводимого лечения ($p < 0,05$).

Параметр ОО паретичной конечности достоверно меньше показателей группы нормы и контралатеральной стороны до и после лечения ($p < 0,05$). Параметр ОО паретичной конечности в обеих исследуемых группах меньше, чем показатель контралатеральной стороны как до, так и после лечения ($p < 0,05$). Параметр ОО контралатеральной конечности до лечения достоверно меньше, чем идентичный показатель в ГПО ($p < 0,05$). Параметр ОО

паретичной конечности в ГПО после лечения стал больше, чем до лечения ($p < 0,05$).

Период ДО демонстрирует достоверное увеличение по сравнению с группой нормы для обеих сторон до и после лечения в обеих исследуемых группах ($p < 0,05$). Период ДО демонстрирует достоверное увеличение показателя в ГОО по сравнению с ГПО для паретичной и контралатеральной сторон до лечения ($p < 0,05$).

Показатель НВД контралатеральной стороны до лечения в обеих исследуемых группах и после лечения в ГПО достоверно выше по сравнению с группой нормы ($p < 0,05$). Показатель НВД паретичной стороны до лечения в обеих исследуемых группах и после лечения в ГПО достоверно ниже по сравнению с группой нормы ($p < 0,05$). Показатель НВД паретичной стороны до лечения в обеих исследуемых группах достоверно ниже по сравнению с таким же показателем контралатеральной стороны до лечения ($p < 0,05$). Показатель НВД паретичной стороны после лечения в ГПО достоверно ниже по сравнению с таким же показателем контралатеральной стороны после лечения ($p < 0,05$).

Собственное наблюдение пациента с левосторонним гемипарезом

В качестве примера приводим наблюдение пациента Ф. 53 лет с левосторонним гемипарезом (рис. 2).

Тренировка проводилась по целевому параметру периода опоры. До курса лечения разность параметров составляла 5,7% от ЦШ, по окончании курса — 2,7% от ЦШ. Уменьшилась асимметрия длительности периода одиночной опоры с 5,1 до 2,9%. Аналогичным образом изменилось значение параметра «начало второй двойной опоры» с асимметрии (2,9%) до ее полного нивелирования (0%). Сократилось, хотя и незначительно, время цикла шага, что также является положительным симптомом, и возросла скорость ходьбы.

ОБСУЖДЕНИЕ

Клиническое состояние больных по оцениваемым параметрам до начала восстановительного лечения как в ГПО, так и в ГОО не имеет существенных отличий (см. табл. 1, 2). Таким образом, обе группы, с клинической точки зрения, являются однородными. Все исследуемые параметры достоверно изменились в результате проведенной реабилитации. Изменения в обеих группах однотипны, равно как и величины этих изменений.

Инструментальное исследование показало, что полученные нами изменения в обеих группах наблюдения по сравнению с контролем — это типичный вариант ходьбы при гемипарезе [22, 24, 25]. По ЦШ и частоте шага группы не имеют существенных отличий. Однако такие параметры, как ВПС, скорость (V) и длина ЦШ, показывают еще и то, что их значения достоверно ниже в ГОО по сравнению с ГПО. Это очевидные симптомы того, что функционально ГОО изначально имеет более тяжелые функциональные расстройства. В результате тренировки и проводимого лечения эти отличия незначительно сглаживаются (по параметру ВПС на стороне пареза), но не исчезают. В данном случае мы имеем наглядную демонстрацию того, что клинические и функциональные параметры не равны друг другу. По клиническим параметрам обе группы неотличимы друг от друга, однако по функции ходьбы они существенно отличаются, при этом больные ГОО ходят явно хуже и с меньшей скоростью, имеют большие функциональные асимметрии.

Параметр ВПС достоверно возрастает по сравнению с таковым до БОС-тренировки только в ГОО. Такие параметры, как скорость ходьбы и длина шага, достоверно возросли после тренировки в обеих группах. Все перечисленные параметры являются базовыми и, по нашему предположению,

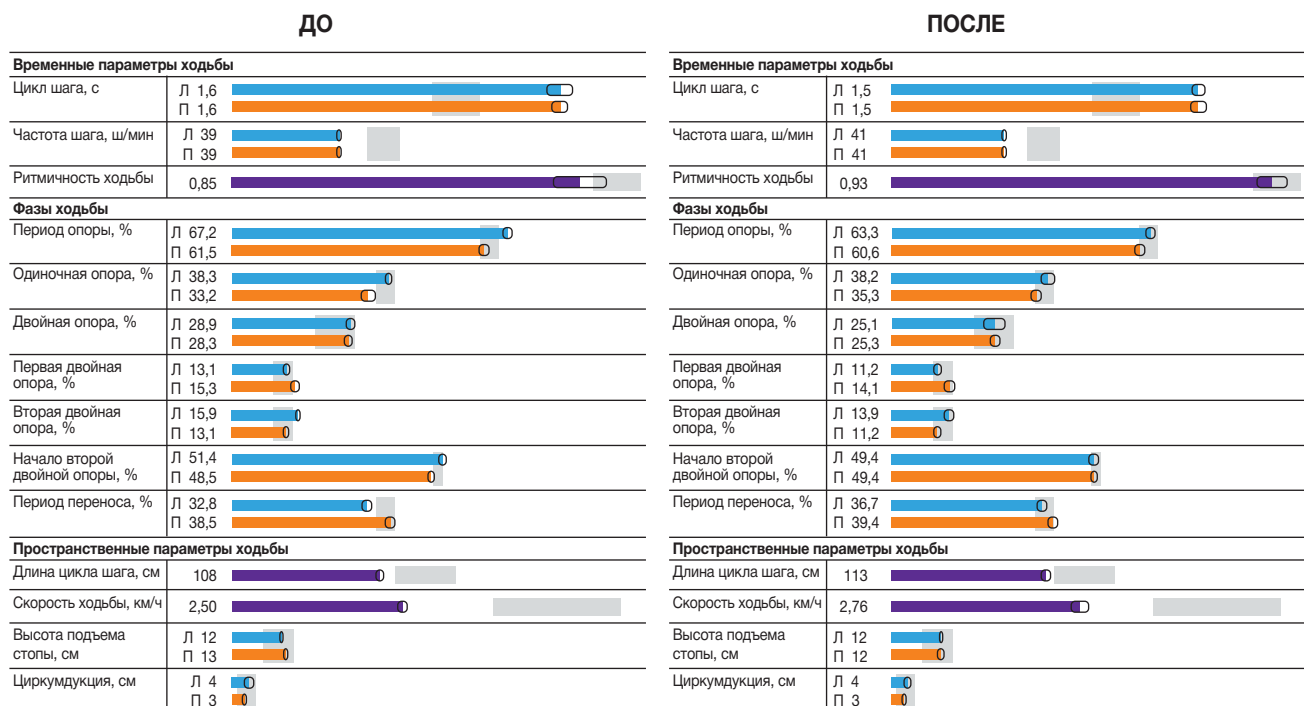


Рис. 2. Результаты контрольного исследования пациента Ф. с левосторонним гемипарезом: основные исследуемые параметры (фрагмент отчета) до и после курса лечения.

Fig. 2. The results of the control study of patient F. with left-sided hemiparesis: the main parameters studied (fragment of the report) before and after the course of treatment.

не могут отражать специфику тренировки по тому или иному параметру данной работы.

Наиболее интересен момент отличий по собственнотренируемому параметру. В ГПО обнаружено, что параметр ПО достоверно изменился после тренировки только на здоровой стороне. Аналогичное изменение мы получили и для ГОО. Параметр ОО достоверно возрастает в результате тренировки в ГПО на стороне поражения. Это очевидная положительная динамика, которая отмечается только в ГПО. Кроме этого, можно отметить, что по всем параметрам, кроме НВД, ГОО показывала и до тренировки несколько худшие результаты. Для параметров ПО и ДО отличия достоверны для обеих сторон, для ОО — только для контралатеральной стороны. Таким образом, на уровне клинической оценки группы не имеют отличий, но функция ходьбы у них отличается, и больные в ГОО показывают до тренировки результаты достоверно ниже, чем в группе ГПО.

Наибольшее количество достоверных отличий после курса тренировки нами получено по параметру ПО в обеих группах. Тренировка по параметру ОО показала меньшее количество изменений, и те преимущественно по параметру ПО. Кроме этого, можно отметить, что наиболее эффективный отклик от тренировки мы видим в обеих группах на контралатеральной стороне. Почему так? Ответ очевиден: сохранная конечность имеет полноценное управление, которое лучше поддается тренировке. Паретичная сторона, имея дефекты в реализации движения и управления им, тренируется заведомо хуже. Это позволяет предположить, что более эффективный вариант тренировки, возможно, может быть при осуществлении БОС только по параметру стороны поражения. Здоровая сторона, как можно предположить, не нуждается в дополнительной стимуляции, и ее параметры ходьбы будут меняться настолько, насколько удастся модифицировать параметры стороны гемипареза.

В доступной литературе мы встретили одно исследование, где в качестве целевого параметра использовалась БОС по параметру ПО у больных церебральным инсультом [26]. Авторы получили положительный результат. В данном исследовании применялся вибротактильный способ БОС, и тоже для обеих ног, но дизайн исследования очень существенно отличался от нашего. В нашей предшествующей работе [22, 23], где проводилась аналогичная тренировка по параметру ПО, мы не получили убедительных данных, что ПО подвергается

влиянию целевой тренировки. Новые данные представленного исследования свидетельствуют, что процесс тренировки происходит, и целевой параметр оказывает влияние. Однако из двух параметров, которые мы пробовали применить, только параметр ПО демонстрирует наиболее значимые результаты, которые гораздо более выражены для здоровой стороны. В данном случае может еще влиять и то, что группа ГОО функционально оказалась существенно более тяжелой, что никак не следовало из клинической оценки, по которой и проводился отбор пациентов. В конечном счете, именно по причине функциональных отличий вопрос о том, по какому параметру метод БОС-тренировки наиболее эффективен, остался невыясненным.

Ограничения исследования

Помимо БОС-тренировок, каждая группа пациентов получала индивидуальный план медицинской реабилитации, направленный на восстановление утраченных функций и восстановление активности больного. Программы индивидуальных занятий в обеих исследуемых группах были идентичны по составу. В представленном исследовании мы не могли исключить влияния и других видов восстановительного лечения, которые нельзя было отметить; и собственных занятий отдельных пациентов вне лечебного плана; и ряда индивидуальных особенностей, способствующих или противодействующих эффективному восстановлению.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данном исследовании мы обнаружили, что клинические и инструментальные исследования имеют различную чувствительность. По трем базовым параметрам (ВПС, V и длина ЦШ) группа ГОО оказалась функционально более тяжелой, что никак не отражается на шкалах клинической оценки и мышечной силы. Таким образом, по клинической оценке обе группы однородны, а по инструментальной — отличаются. Но первично отбор больных производился по традиционным клиническим критериям.

Применение целевой тренировки ходьбы у больных церебральным инсультом потенциально позволяет модифицировать параметры ходьбы в требуемом направлении.

У больных церебральным инсультом и гемипарезом возможна целенаправленная тренировка функции ходьбы с использованием параметров ПО и ОО. При использовании целевого параметра ПО получены косвенные свидетельства того, что такая

тренировка эффективна. Совершенно определено, что параметр ПО на здоровой стороне меняется в нужном направлении в сторону уменьшения. Таким образом, относительная нагрузка на паретичную сторону все равно возрастает.

Для целевой тренировки по параметру ОО мы не обнаружили очевидных изменений под влиянием целевой тренировки, вероятно, по причине того, что функционально эта группа была более тяжелой, тем не менее обе группы показали улучшение основных параметров ходьбы в конце курса тренировки, при этом мы не могли исключить сам фактор времени и проводимой терапии в той и другой группе.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ / ADDITIONAL INFORMATION

Вклад авторов. Д.В. Скворцов — дизайн исследования, поиск и обработка литературы, проведение исследования, обработка данных, написание текста статьи; С.Н. Кауркин — отбор и обследование больных для исследования, клиническое исследование, проведение исследования, обработка первичных данных, статистическая обработка, написание текста статьи; Г.Е. Иванова — общее руководство, дизайн исследования, написание текста статьи; А.Ю. Суворов — поиск и обработка литературы, написание текста статьи. Авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Author contribution. D.V. Skvortsov — research design, literature search and processing, research, data processing, writing the text of the article; S.N. Kaurkin — selection and examination of patients for research, clinical research, research, primary data processing, statistical processing, writing the text of the article; G.E. Ivanova — general guidance, research design, writing the text of the article; A.Yu. Suvorov — search and processing of literature, writing the text of the article. The authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

Источник финансирования. Работа выполнена в рамках государственного задания ФМБА России (НИР «Разработка новых технологий медицинской реабилитации у пациентов с пораже-

ниями и заболеваниями головного мозга») АААА-А19-119042590030-2.

Funding source. This work was supported by funding АААА-А19-119042590030-2.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Благодарности. Авторы выражают благодарность сотрудникам Федерального центра мозга и нейротехнологий, помогавшим в работе с больными, ординаторам Борзых Александре Петровне, Валлиулину Ильдару Дильшатовичу, Барановой Анне Константиновне.

Acknowledgments. The authors express their gratitude to the staff of the Federal Center for the Brain and Neurotechnologies, who helped work with patients, the residents Borzykh Alexandra Petrovna, Valliulin Ildar Dilshatovich, Baranova Anna Konstantinovna.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Spencer J, Wolf SL, Kesar TM. Biofeedback for post-stroke gait retraining: A review of current evidence and future research directions in the context of emerging technologies. *Front Neurol*. 2021;12:637199. doi: 10.3389/fneur.2021.637199
- Genthe K, Schenck C, Eicholtz S, et al. Effects of real-time gait biofeedback on paretic propulsion and gait biomechanics in individuals post-stroke. *Top Stroke Rehabil*. 2018;25(3):186–193. doi: 10.1080/10749357.2018.1436384
- Hollands KL, Pelton TA, Tyson SF, et al. Interventions for coordination of walking following stroke: systematic review. *Gait Posture*. 2012;35(3):349–359. doi: 10.1016/j.gaitpost.2011.10.355
- Nadeau S, Betschart M, Bethoux F. Gait analysis for poststroke rehabilitation: the relevance of biomechanical analysis and the impact of gait speed. *PhysMed Rehabil Clin N Am*. 2013; 24(2):265–276. doi: 10.1016/j.pmr.2012.11.007
- Harris-Love ML, Forrester LW, Macko RF, et al. Hemiparetic gait parameters in overground versus treadmill walking. *Neurorehabilitation Neural Repair*. 2001;15(2):105–112. doi: 10.1177/154596830101500204
- Horak F, King L, Mancini M. Role of body-worn movement monitor technology for balance and gait rehabilitation. *Phys Ther*. 2015;95(3):461–470. doi: 10.2522/ptj.20140253
- Tate JJ, Milner CE. Real-time kinematic, temporospatial, and kinetic biofeedback during gait retraining in patients: A systematic review. *Phys Ther*. 2010;90(8):1123–1134. doi: 10.2522/ptj.20080281
- De Rooij IJ, van de Port IG, Meijer JG. Effect of virtual reality training on balance and gait ability in patients with stroke: systematic review and meta-analysis. *Phys Ther*. 2016; 96(12):1905–1918. doi: 10.2522/ptj.20160054
- Kang HK, Kim Y, Chung Y, Hwang S. Effects of treadmill training with optic flow on balance and gait in individuals following stroke: randomized controlled trials. *Clin Rehabil*. 2012;26(3): 246–255. doi: 10.1177/0269215511419383
- Maier M, Ballester BR, Verschure P. Principles of neuro-rehabilitation after stroke based on motor learning and brain plasticity mechanisms. *Front Syst Neurosci*. 2019;13:74. doi: 10.3389/fnsys.2019.00074

11. Ronsse R, Puttemans V, Coxon JP, et al. Motor learning with augmented feedback: modality-dependent behavioral and neural consequences. *Cereb Cortex*. 2011;21(6):1283–1294. doi: 10.1093/cercor/bhq209
12. Shin J, Chung Y. Influence of visual feedback and rhythmic auditory cue on walking of chronic stroke patient induced by treadmill walking in real-time basis. *NeuroRehabilitation*. 2017;41(2):445–452. doi: 10.3233/NRE-162139
13. Morris ME, Matyas TA, Bach TM, Goldie PA. Electrogoniometric feedback: Its effect on genu recurvatum in stroke. *Arch Phys Med Rehabil*. 1992;73(12):1147–1154.
14. Basaglia N, Mazzini N, Boldrini P, et al. Biofeedback treatment of genu-recurvatum using an electrogoniometric device with an acoustic signal. One-year follow-up. *Scand J Rehabil Med*. 1989;21(3):125–130.
15. Choi YH, Kim JD, Lee JH, Cha YJ. Walking and balance ability gain from two types of gait intervention in adult patients with chronic hemiplegic stroke: a pilot study. *Assist Technol*. 2019;31(2):112–115. doi: 10.1080/10400435.2017.1387616
16. Sungkarat S, Fisher BE, Kovindha A. Efficacy of an insole shoe wedge and augmented pressure sensor for gait training in individuals with stroke: A randomized controlled trial. *Clin Rehabil*. 2011;25(4):360–369. doi: 10.1177/0269215510386125
17. Schenck C, Kesar TM. Effects of unilateral real-time biofeedback on propulsive forces during gait. *J Neuroeng Rehabil*. 2017; 14(1):52. doi: 10.1186/s12984-017-0252-z
18. Druzicki M, Przysada G, Guzik A, et al. The efficacy of gait training using a body weight support treadmill and visual biofeedback in patients with subacute stroke: A randomized controlled trial. *Biomed Res Int*. 2018;2018:3812602. doi: 10.1155/2018/3812602
19. Druzicki M, Guzik A, Przysada G, et al. Efficacy of gait training using a treadmill with and without visual biofeedback in patients after stroke: a randomized study. *J Rehabil Med*. 2015;47(5): 419–425. doi: 10.2340/16501977-1949
20. Brasileiro A, Gama G, Trigueiro L, et al. Influence of visual and auditory biofeedback on partial body weight support treadmill training of individuals with chronic hemiparesis: A randomized controlled clinical trial. *Eur J Phys Rehabil Med*. 2015;51(1):49–58.
21. Aruin AS, Hanke TA, Sharma A. Base of support feedback in gait rehabilitation. *Int J Rehabil Res*. 2003;26(4):309–312. doi: 10.1097/01.mrr.0000102059.48781.a8
22. Скворцов Д.В., Кауркин С.Н., Иванова Г.Е., и др. Целенаправленная тренировка ходьбы в раннем восстановительном периоде у больных с церебральным инсультом (предварительное исследование) // *Клиническая практика*. 2021. Т. 12, № 4. С. 12–22. [Skvortsov DV, Kaurkin SN, Ivanova GE, et al. Purposeful walking training in the early recovery period in patients with cerebral stroke (preliminary study). *Journal of Clinical Practice*. 2021;12(4):12–22. (In Russ).] doi: 10.17816/clinpract77334
23. Skvortsov DV, Kaurkin SN, Ivanova GE. A study of biofeedback gait training in cerebral stroke patients in the early recovery phase with stance phase as target parameter. *Sensors (Basel)*. 2021;21(21):7217. doi: 10.3390/s21217217
24. Balaban B, Tok F. Gait disturbances in patients with stroke. *PM R*. 2014;6(7):635–642. doi: 10.1016/j.pmrj.2013.12.017
25. Guzik A, Druzicki M. Application of the gait deviation index in the analysis of post-stroke hemiparetic gait. *J Biomech*. 2020; 99:109575. doi: 10.1016/j.jbiomech.2019.109575
26. Afzal R, Oh MK, Lee CH, et al. A portable gait asymmetry rehabilitation system for individuals with stroke using a vibrotactile feedback. *BioMed Res Int*. 2015;2015:375638. doi: 10.1155/2015/375638

ОБ АВТОРАХ

Автор, ответственный за переписку:

Скворцов Дмитрий Владимирович, д.м.н., профессор;
адрес: Россия, 117997, Москва, ул. Островитянова, д. 1;
e-mail: dskvorts63@mail.ru; eLibrary SPIN: 6274-4448;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2794-4912>

Соавторы:

Кауркин Сергей Николаевич, к.м.н.;
e-mail: kaurkins@bk.ru; eLibrary SPIN: 4986-3575;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5232-7740>

Иванова Галина Евгеньевна, д.м.н.;
e-mail: reabilivanova@mail.ru; eLibrary SPIN: 4049-4581;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3180-5525>

Суворов Андрей Юрьевич, к.м.н.;
e-mail: dr_suvorov@mail.ru; eLibrary SPIN: 1639-3135;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4901-2208>

AUTHORS' INFO

The author responsible for the correspondence:

Dmitry V. Skvortsov, MD, PhD, Professor;
address: 1 Ostrovityanova street, 117997 Moscow, Russia;
e-mail: dskvorts63@mail.ru; eLibrary SPIN: 6274-4448;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2794-4912>

Co-authors:

Sergey N. Kaurkin, MD, PhD;
e-mail: kaurkins@bk.ru; eLibrary SPIN: 4986-3575;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5232-7740>

Galina E. Ivanova, MD, PhD;
e-mail: reabilivanova@mail.ru; eLibrary SPIN: 4049-4581;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3180-5525>

Andrey Yu. Suvorov, MD, PhD;
e-mail: dr_suvorov@mail.ru; eLibrary SPIN: 1639-3135;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4901-2208>