

DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab631151>

Эффективность применения роботизированного комплекса Walkbot у пациентов с детским церебральным параличом

Д.Л. Нефедьева^{1, 2}, Л.И. Абдрахманова^{3, 4}, Р.А. Бодрова¹¹ Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования, Москва, Россия;² Филиал Казанского (Приволжского) федерального университета в городе Джизаке, Джизак, Узбекистан;³ Казанский государственный медицинский университет, Казань, Россия⁴ Городская детская поликлиника № 7, Казань, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Актуальность исследования определяется необходимостью оценки эффективности роботизированной механотерапии в реабилитации детей с церебральным параличом.

Цель исследования — оценить эффективность применения роботизированного комплекса Walkbot (Walkbot, Корея) у детей с детским церебральным параличом.

Материалы и методы. В исследование включено 35 пациентов с детским церебральным параличом, получавших курсы реабилитационной терапии на базе ГАУЗ «Городская детская поликлиника № 7». Проведён сравнительный анализ функциональных двигательных исходов заболевания у детей двух групп, в одной из которых проводилась локомоторная терапия на аппарате Walkbot, детям второй группы комплекс не назначался.

Результаты. Оценена эффективность применения роботизированного механотерапевтического комплекса Walkbot с учётом функциональных двигательных исходов у пациентов с детским церебральным параличом. В группе, где проводилась терапия, отмечена лучшая динамика уровня развития двигательных навыков по шкале GMFM-66 (на 6,8% у детей первой группы против 4,1% у детей второй группы, $p=0,006$). Определение индекса Хаузера ($p=0,05$) показало улучшение локомоторной функции, повысившей уровень независимости в повседневной жизни по шкале FIM ($p=0,044$), по сравнению с данными детей контрольной группы. Реализация эффекта прямо зависит от количества процедур и общего количества курсов реабилитации.

Заключение. Установлено, что дети с церебральным параличом, получившие комплекс роботизированной терапии на аппарате Walkbot, имеют лучшие двигательные исходы, касающиеся прежде всего локомоторной функции.

Ключевые слова: детский церебральный паралич; реабилитация; роботизированная механотерапия.

Как цитировать:

Нефедьева Д.Л., Абдрахманова Л.И., Бодрова Р.А. Эффективность применения роботизированного комплекса Walkbot у пациентов с детским церебральным параличом // Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация. 2024. Т. 6, № 3. С. 253–262.
DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab631151>

DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab631151>

Effectiveness of the Walkbot system in patients with infantile cerebral palsy

Darya L. Nefedeva^{1, 2}, Leisan I. Abdrakhmanova^{3, 4}, Rezeda A. Bodrova¹¹ Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Moscow, Russia;² Branch of the Federal State Autonomous Education Institution of Higher Education "Kazan (Volga region) Federal University" in the city of Jizzakh, Jizzakh, Republic of Uzbekistan;³ Kazan State Medical University, Kazan, Russia;⁴ City Children's Polyclinic No. 7, Kazan, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: Estimating the effectiveness of robotic mechanotherapy is crucial in the rehabilitation of children with cerebral palsy.

AIM: To evaluate the effectiveness of the Walkbot robotic complex (Walkbot, Korea) in children with cerebral palsy.

MATERIALS AND METHODS: The study included 35 patients with infantile cerebral palsy who received courses of rehabilitation therapy based on the state autonomous institution "City Children's Polyclinic No. 7." A comparative analysis of the functional motor outcomes between two groups of children with cerebral palsy was performed. Group 1 was treated with locomotor therapy on the Walkbot, whereas group 2 was not prescribed with the apparatus.

RESULTS: The effect of using the Walkbot mechanotherapeutic complex on functional motor outcomes in patients with infantile cerebral palsy was evaluated. Better dynamics of the level of motor skills development on the GMFM-66 scale was noted in group 1 (by 6.8% in group 1 and 4.1% in group 2; $p=0.006$). The Hauser index ($p=0.05$) indicated an improvement in locomotor function, which increased the level of independence in everyday life according to the FIM scale ($p=0.044$), compared to the data of children in the control group. Attaining the effect depends on the number of procedures and total number of rehabilitation courses.

CONCLUSION: Children with cerebral palsy who received the Walkbot therapy have better motor outcomes, primarily relating to locomotor function.

Keywords: cerebral palsy; rehabilitation; robotic mechanotherapy.

To cite this article:

Nefedeva DL, Abdrakhmanova LI, Bodrova RA. Effectiveness of the Walkbot system in patients with infantile cerebral palsy. *Physical and rehabilitation medicine, medical rehabilitation*. 2024;6(3):253–262. DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab631151>

Список сокращений

BBS (Berg Balance Scale) — шкала баланса Берга

FIM (Function Independence Measure) — шкала функциональной независимости

FMS (Function Measure Scale) — функциональная шкала двигательной активности

GMFCS (Gross Motor Function Classification System) — система классификации общих двигательных функций

GMFM-66 (Gross Motor Function Measure) — короткая версия теста для оценки изменений моторных

функций у детей с детским церебральным параличом (66 заданий), используется для отслеживания изменений со временем и оценки прогресса после лечения и реабилитации

HAI (Hauser Ambulation Index) — индекс ходьбы Хаузера

MACS (Manual Ability Classification System) — система классификации мануальных способностей

MRC (Medical Research Council) — шкала Комитета медицинских исследований

ОБОСНОВАНИЕ

Детский церебральный паралич представляет собой хроническое инвалидизирующее заболевание нервной системы [1]. Клиническая картина церебрального паралича складывается из двигательных, сенсорных, когнитивных и поведенческих нарушений с преобладанием в большей части случаев моторных расстройств, связанных с развитием спастичности, мышечной слабости, нарушением баланса и постурального контроля, а также вторичных ортопедических осложнений, которые могут включать в себя мышечные контрактуры, вывихи и подвывихи суставов, изменения костей и связочного аппарата [1–3].

Нейрофизиологической основой двигательной реабилитации является нейропластичность, отражающая способность мозга к структурно-функциональной перестройке, которая включает в себя миелинизацию, дендритное ветвление, синаптогенез с формированием нейрональных связей, составляющих основу клеточной части коннектома мозга, что обеспечивает его интегративное функционирование в норме и при патологии [4–6].

Методы реабилитации, влияющие на пластичность, связаны прежде всего с активностью ребёнка, зависящей от решения когнитивно-опосредованных двигательных задач, структурирования окружающей среды, развития детско-родительского партнёрства, а также от количества повторов одного и того же движения, что успешно реализуется при применении роботизированной механотерапии [2, 7, 8]. Имеется также мнение, что различные виды роботизированной механотерапии с использованием локомоторных систем стимулируют генераторы локомоторной активности спинного мозга, которые обеспечивают координированную мышечную активность конечностей и активируют афферентацию по соматосенсорным путям за счёт модулирования гравитационной нагрузки [9, 10]. Роботизированная локомоторная терапия ориентирована в первую очередь на формирование паттерна ходьбы [11]. Интерактивный компонент тренировок усиливает эффект взаимодействия ребёнка с объектами среды, создаёт

иллюзию погружения в среду, в какой-то степени представляет возможность управлять реальностью и, соответственно, собственными движениями [12].

В работе О.А. Ключковой и соавт. [2], включающей данные систематического обзора эффективности реабилитационных методов на основе научных публикаций I. Novak (2020), роботизированная локомоторная механотерапия вошла в группу методов, которые потенциально эффективны в профилактике контрактур и увеличении объёма пассивных движений в голеностопном суставе, но не рекомендованы для решения иных реабилитационных задач. Комплекс Walkbot включает в себя настраиваемый экзоскелет со съёмными ортезами, тредмил и компьютерную систему, обеспечивающую точность установления режима тренировки и её интерактивный характер. Комплекс отличается от других роботов подобного типа, в первую очередь от наиболее распространённой в мире системы Lokomat, поскольку приводятся в действие все крупные суставы нижних конечностей, включая голеностопные, которые не задействованы в Lokomat, однако существенных отличий в эффектах в отношении равновесия и способности передвигаться не найдено [13].

Таким образом, исследование перспектив включения локомоторных роботов в реабилитационные программы у детей с церебральным параличом имеет высокую актуальность в связи с относительной новизной метода и отсутствием многоцентровых исследований и надёжной доказательной базы клинических рекомендаций.

Цель исследования — оценить эффективность применения роботизированного комплекса Walkbot (Walkbot, Корея) у детей с церебральным параличом.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Интервенционное контролируемое рандомизированное неослепленное одноцентровое проспективное выборочное.

В исследование включено 35 пациентов с установленным диагнозом «Детский церебральный паралич». Все пациенты были разделены на две группы случайным образом.

Критерии соответствия

Критерии включения: возраст от 5 до 17 лет; I–III уровень двигательного развития по Системе классификации больших моторных функций (Gross Motor Function Classification System, GMFCS); сохранность когнитивных функций.

Критерии исключения: IV–V уровень двигательного развития по GMFCS; подвывихи и вывихи тазобедренных суставов; спастичность более 4 баллов; остеопороз; эпилепсия с текущими приступами; кожные поражения в местах крепления элементов локомоторного робота; отказ пациента или родителей от участия в исследовании.

Условия проведения

Дети наблюдались амбулаторно в условиях дневного стационара на базе ГАУЗ «Городская детская поликлиника № 7» в период с 2021 по 2023 год.

Продолжительность исследования

Запланированная продолжительность периода включения в исследование ребёнка — с первого поступления на курс реабилитации.

Описание медицинского вмешательства

При поступлении в дневной стационар поликлиники проводилось полное обследование в динамике, включающее клиническую оценку неврологического и реабилитационного статуса; учитывались данные электроэнцефалографии и томографии головного мозга. Детям основной группы назначался курс роботизированной механотерапии на аппарате Walkbot (от 1 до 5 курсов). Кроме того, дети обеих групп получали реабилитационную терапию (кинезитерапию, массаж, физиотерапию синусоидально-модулированными токами, хромотерапию, теплотечение), психолого-педагогическую коррекцию, при наличии показаний (у 25 детей) — ботулинотерапию (ботулинический токсин типа А).

Протокол вмешательства включал роботизированную механотерапию на аппарате Walkbot. Система представляет из себя роботизированное устройство для тренировки опорно-двигательного аппарата, который моделирует и воспроизводит естественную человеческую походку. При этом на нижние конечности пациента надевались роботизированные ортезы (для тазобедренного, коленного и голеностопного сустава), которые моделировали ходьбу с полным биомеханическим воспроизведением. Для обеспечения наилучших условий ходьбы перед помещением пациента в роботизированный комплекс в систему управления вводили данные о параметрах тела пациента. Весь процесс контролировался системой высокочувствительных датчиков, находящихся в роботизированных ортезах, а также в стабиллоплатформе, интегрированной в беговую дорожку. Таким образом отслеживались скорость и сила сгибания

суставов, осуществлялась обратная связь. При ходьбе по беговой дорожке, пациент получал необходимую информацию от рецепторов нижних конечностей, что облегчало формирование навыков моторной активности.

Процедуру механотерапии проводили после физиотерапевтических процедур. Режим тренировки: интерактивный с 10% поддержки веса. Продолжительность проведения: от 30 до 45 минут (без учёта времени установки ортезов). Длительность курса: от 8 до 15 процедур в режиме 1 раз в день за одну госпитализацию. Всего было включено от 1 до 5 курсов реабилитации. Для проведения анализа рассчитывалось общее количество процедур.

Оценка результатов проводилась до и после каждого курса реабилитационной терапии на основании показателей ряда шкал и тестов, для анализа использовалась оценка перед первым и после последнего курса терапии. Кроме того, учитывались возраст ребёнка на момент первого курса реабилитации с использованием локомоторной терапии и факт проведения оперативного лечения ортопедических осложнений до начала терапии.

Основной исход исследования

Основной исход исследования предполагал оценку способности к передвижению пациента, его способности удерживать баланс, а также состояние суставов нижних конечностей на основании данных шкалы баланса Берга (Berg Balance Scale, BBS), индекса ходьбы Хаузера (Hauser Ambulation Index, HAI), шкалы измерения глобальных моторных функций (Gross Motor Function Measure 66, GMFM-66). Кроме того, оценивалась независимость в повседневной жизни по шкале функциональной независимости (Function Independence Measure, FIM) [3, 14, 15].

Дополнительные исходы исследования

Дополнительными оцениваемыми с помощью функциональной шкалы двигательной активности (Function Measure Scale, FMS) показателями у пациентов были их функциональные движения с использованием или без применения технических средств реабилитации при перемещении на различные дистанции [3].

Методы регистрации исходов

Для регистрации исходов использовалась шкала измерения глобальных моторных функций (Gross Motor Function Measure 66, GMFM), оценивающая уровень развития основных двигательных навыков. Функцию руки оценивали с помощью классификации мануальных навыков (Manual Ability Classification System, MACS), мобильность — по индексу ходьбы Хаузера (HAI). Уровень спастичности определяли по модифицированной шкале Эшворта (Ashworth Scale), мышечную силу — по шкале Комитета медицинских исследований (Medical Research Council Scale, MRC). Нарушения равновесия определяли по шкале баланса Берга (BBS). Независимость ребёнка в повседневной жизни оценивали по данным шкалы функциональной

независимости (FIM). Функциональные движения на различных дистанциях оценивали с помощью функциональной шкалы двигательной активности (FMS).

Этическая экспертиза

Пациенты включались в исследование после подписания родителями информированного согласия, согласно приложению № 2 к Приказу Минздрава России от 12 ноября 2021 года № 1051н¹. Согласие законных представителей пациентов на проведение роботизированной механотерапии получено в период включения в исследование (2021–2023 гг.).

Статистический анализ

Размер выборки предварительно не рассчитывался.

Статистический анализ полученных результатов проводили при помощи программы STRINF (Россия) [16]. Рассчитывались средние величины, среднее квадратичное отклонение, ошибки средних; данные в тексте представлены в виде $M \pm SD$ (M — среднее арифметическое, SD — среднеквадратичное отклонение). За критический уровень значимости принимали $p < 0,05$. Для сравнения двух групп использовали критерий Стьюдента. Для выявления связи между параметрами рассчитывали коэффициент ранговой корреляции Спирмена (r).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Объекты (участники) исследования

У всех детей, поступивших на III этап реабилитации, был установлен диагноз «Детский церебральный паралич» (G80 по Международной классификации болезней 10-го пересмотра, МКБ-10). Отмечалось преобладание спастических форм детского церебрального паралича: у 28 (80%) — спастическая диплегия, у 1 (2,9%) — спастический тетрапарез, у 2 (5,7%) — гемипаретическая форма церебрального паралича, у 3 (8,6%) — смешанная спастико-гиперкинетическая форма, у 1 (2,9%) — атонически-астатическая форма.

Исследование проходило в три этапа. На первом этапе осуществлялся отбор пациентов, поступающих на реабилитацию. Согласно критериям включения, в исследование вошли 35 пациентов с церебральным параличом; согласно критериям исключения, 11 пациентов было исключено.

На втором этапе пациенты были разделены на группы случайным образом. Первую группу составили 19 пациентов, из них 6 (31,6%) девочек и 13 (68,4%) мальчиков, которым при переводе на III этап реабилитации

был назначен курс локомоторной терапии на комплексе Walkbot, при этом 14 (73,7%) пациентам было проведено более двух курсов. Во вторую (контрольную) группу вошли 16 пациентов, из них 5 (31,3%) девочек и 11 (68,6%) мальчиков, которые получали реабилитационную помощь согласно стандарту [17]. Инъекции ботулинического токсина типа А получили 12/19 (63,2%) детей первой группы и 11/16 (68,8%) детей второй группы ($p > 0,05$).

Всем пациентам была проведена оценка исходного неврологического и реабилитационного статуса, в том числе оценивались мышечная сила, мышечный тонус, а также уровень развития основных двигательных навыков (GMFM-66), риск падений (BBS), мобильность (HAI), функциональная независимость (FIM), функциональная двигательная активность (FMS).

На третьем этапе проводилась контрольная оценка динамики неврологического и реабилитационного статуса по данным тех же тестов и шкал: GMFM-66, BBS, FIM, FMS, HAI, MRC, Эшфорта.

Средний срок гестации у пациентов первой группы составил $30,1 \pm 3,5$ недель, средний вес при рождении — $1540,5 \pm 633,4$ г, у пациентов второй группы — $28,3 \pm 2,3$ недели и $1842,3 \pm 853,7$ г соответственно ($p > 0,05$). Только два ребёнка родились доношенными — один вошёл в первую группу, второй — во вторую. На момент включения в исследование средний возраст пациентов первой группы составил $10,6 \pm 3,8$ года, пациентов второй группы — $8,6 \pm 3,4$ года ($p > 0,05$).

Как следует из табл. 1, по уровню двигательного развития (по системе GMFCS) статистически значимых различий между группами не выявлено. Данные оценки функции рук по шкале MACS, приведённые в табл. 2, демонстрируют сопоставимость уровней мануальных навыков у пациентов обеих групп. По данным анамнеза, у 9 (47,4%) детей первой группы и у 4 (25%) детей второй группы проводилось ортопедическое хирургическое вмешательство на конечностях ($p > 0,05$).

Таким образом, группы детей были сопоставимы по полу, возрасту и уровню двигательного развития.

Основные результаты исследования

У всех детей оценивалось состояние двигательных функций в динамике. Проведено исследование степени снижения мышечной силы и уровня спастичности по шкалам Эшфорта и MRC (табл. 3, 4). Как следует из табл. 3, различия в динамике мышечного тонуса до и после реабилитации между группами не выявлено. В то же время в обеих группах отмечалась положительная динамика, связанная с уменьшением спастичности, при этом ботулинотерапия проводилась у 12 (63,1%) пациентов первой группы и у 11 (68,8%) — второй. Как следует из табл. 4, различия в динамике мышечной силы до и после реабилитации между группами не выявлено, в то же время наблюдалось уменьшение степени пареза в нижних конечностях у пациентов первой группы.

¹ Приказ Министерства здравоохранения Российской Федерации от 12.11.2021 № 1051н «Об утверждении Порядка дачи информированного добровольного согласия на медицинское вмешательство и отказа от медицинского вмешательства, формы информированного добровольного согласия на медицинское вмешательство и формы отказа от медицинского вмешательства». Приложение 2. Информированное добровольное согласие на медицинское вмешательство. Режим доступа: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/403011701/?ysclid=lwzgw9arbg516180065>.

Таблица 1. Оценка уровня двигательного развития по Системе классификации больших моторных функций (GMFCS)
Table 1. Level of motor development according to the Gross Motor Function Classification System

Уровень двигательного развития / Level of motor development	Группа / Group, n (%)		p
	1 (n=19)	2 (n=16)	
I	-	-	
II	4 (21,1)	8 (50)	>0,05
III	13 (68,4)	5 (50)	

Таблица 2. Оценка функции рук по Классификации мануальных навыков (MACS)
Table 2. Assessment of hand function by Manual Ability Classification System

Уровень двигательного развития / Level of motor development	Группа / Group, n (%)		p
	1 (n=19)	2 (n=16)	
I	4 (21,1)	4 (25)	
II	11 (57,9)	8 (50)	>0,05
III	4 (21,1)	4 (25)	

Таблица 3. Оценка мышечного тонуса по шкале Эшворта в динамике у детей с церебральным параличом
Table 3. Assessment of muscle tone on the Ashworth scale in dynamics in children with cerebral palsy

Шкала Эшворта, балл / Ashworth scale, score	До начала реабилитации / Before the start of rehabilitation		После реабилитации / After rehabilitation	
	Группа / Group, n (%)			
	1 (n=19)	2 (n=16)	1 (n=19)	2 (n=16)
Правая рука / Right hand	1,4±0,7	1,4±0,9*	0,9±0,5	0,8±0,8
Левая рука / Left hand	1,4±0,8	1,4±0,9	1,0±0,7	0,9±0,9
Правая нога / Right foot	2,7±0,7	2,7±1,1**	1,7±0,8	1,8±0,9°
Левая нога / Left foot	2,7±0,9	2,6±1,2**	1,7±0,7	1,7±1,1

Примечание. Критические значения коэффициента Стьюдента при сравнительном анализе динамики данных (p): в группе 1 — * 0,046, ** 0,006; в группе 2 — ° 0,033.
Note. Critical values of Student's coefficient in comparative analysis of data dynamics (p): group 1, * 0.046, ** 0.006; group 2, ° 0.033.

Таблица 4. Оценка уровня мышечной силы по данным шкалы Комитета медицинских исследований в динамике (MRC)
Table 4. Assessment of muscle strength level according to the scale of the Medical Research Council (MRC) in dynamics

Шкала MRC, балл / MRC scale, score	До начала реабилитации / Before the start of rehabilitation		После реабилитации / After rehabilitation	
	Группа / Group, n (%)			
	1 (n=19)	2 (n=16)	1 (n=19)	2 (n=16)
Рука / Hand	4±0,3	4,3±0,4	3,8±0,6	4,1±0,6
Нога / Leg	2,8±0,5	3,3±0,5*	3,0±0,6	3,3±0,7

Примечание. Критические значения коэффициента Стьюдента при сравнительном анализе динамики данных в группе 1 (p): * 0,018.
Note. Critical values of Student's coefficient in comparative analysis of data dynamics in group 1 (p): * 0.018.

Оценка динамики нарушений баланса, качества ходьбы и моторных функций приведена в табл. 5. Как видно из таблицы, в результате проведённых реабилитационных мероприятий прирост баллов по шкале GMFM-66 составил 6,8% у детей первой группы и 4,1% — во второй.

Способность ребёнка к удерживанию статического и динамического равновесия определялась по шкале баланса Берга (BBS), при этом у пациентов первой группы отмечалась лучшая динамика в поддержании баланса, чем у детей второй группы, не достигающая при этом степени статистической значимости. Оценка локомоторной функции (HAI) показала практически полное отсутствие положительной динамики у детей второй группы. Динамика баллов до и после реабилитации в каждой из групп не достигала степени статистической значимости.

Оценивалась независимость ребёнка в повседневной жизни по данным шкалы FIM. У пациентов первой группы до начала реабилитации функциональная независимость составила $73,2 \pm 21,3$ балла, у пациентов второй группы — $70,6 \pm 24,6$ ($p > 0,05$), после окончания реабилитации у пациентов первой группы независимость возросла до $79,2 \pm 21,5$ балла, у детей второй группы — до $76,1 \pm 25,5$ ($p > 0,05$).

Корреляционный анализ, проведённый по окончании реабилитации, выявил статистически значимые связи между общим количеством процедур на комплексе

Walkbot, динамикой баллов по шкале GMFM-66 ($r=0,65$, $p=0,001$), динамикой индекса Хаузера ($r=0,39$, $p=0,022$), динамикой баллов по шкале баланса Берга ($r=0,35$, $p=0,039$) и динамикой баллов по шкале функциональной независимости FIM ($r=0,34$, $p=0,044$). Кроме того, данные шкалы FIM, полученные после реабилитации, как и степень спастичности, по данным шкалы Эшворта, коррелировали с фактом применения ботулинотерапии ($r=-0,34$, $p=0,044$; $r=0,38$, $p=0,020$). Полученные результаты указывают на то, что применение комплекса Walkbot ассоциировано с лучшими двигательными исходами пациента, а также с уровнем функциональной независимости ребёнка.

Дополнительные результаты исследования

Функциональные движения на различных дистанциях (5, 50 и 500 м) оценивались у детей обеих групп с помощью шкалы FMS. Как видно из табл. 6, у детей обеих групп не наблюдалось статистически значимой динамики после реабилитации (по данным шкалы FMS). При этом выявлены корреляционные связи между возрастом ребёнка и его функциональной мобильностью при передвижении на 50 м ($r=-0,38$, $p=0,026$) и 500 м ($r=-0,36$, $p=0,035$), фактом хирургического ортопедического вмешательства на конечностях ($r=0,78$, $p=0,001$) и уровнем развития двигательных навыков по шкале GMFM-66 ($r=-0,38$, $p=0,026$).

Таблица 5. Оценка двигательных функций в динамике

Table 5. Assessment of motor functions in dynamics

Шкалы / Scales	До начала реабилитации / Before the start of rehabilitation		После реабилитации / After rehabilitation		Динамика данных / Data dynamics	
	Группа / Group, n (%)					
	1 (n=19)	2 (n=16)	1 (n=19)	2 (n=16)	1 (n=19)	2 (n=16)
GMFM-66	104,2±37,2	116,5±60,4	111,3±38,5	121,3±15,5	7,1±2,6*	4,4±0,5
Шкала баланса Берга / Berg Balance Scale	18,2±3,8	21,7±4,1	20,7±3,9	23,6±4,4	2,5±1,4	1,9±1,2
Индекс ходьбы Хаузера / Hauser's Walking Index	4,5±1,7	4±2,2	3,9±1,4	4±2,3	0,63±0,6**	0,25±0,4

Примечание. Критические значения коэффициента Стьюдента при сравнительном анализе данных групп 1 и 2 (p): * 0,006; ** 0,05.

Note. Gross Motor Function Classification System Critical values of Student's coefficient when comparing data of groups 1 and 2 (p): * 0.006; ** 0.05.

Таблица 6. Данные функциональной шкалы двигательной активности (FMS) в динамике у детей с церебральным параличом

Table 6. Data on the functional scale of motor activity (FMS) in dynamics in children with cerebral palsy

Шкала FMS при передвижении на различные дистанции, м / FMS scale when travelling different distances, metre	До начала реабилитации / Before the start of rehabilitation		После реабилитации / After rehabilitation	
	Группа / Group, n (%)			
	1 (n=19)	2 (n=16)	1 (n=19)	2 (n=16)
5	3,3±1,6	3,8±2,0	3,6±1,6	4,3±2,2
50	2,6±1,5	3,5±1,9	2,9±1,6	3,7±1,9
500	2,2±1,4	2,9±1,6	2,5±1,6	3,1±1,7

Таким образом, возраст был ассоциирован с функциональной мобильностью ребёнка при передвижении на дальние расстояния, уровнем развития двигательных навыков в целом и количеством ортопедических осложнений в анамнезе.

Нежелательные явления

Нежелательные явления не зарегистрированы.

ОБСУЖДЕНИЕ

Проведено исследование эффективности применения роботизированного комплекса Walkbot на двигательные исходы у детей с детским церебральным параличом. Достоинством исследования является комплексный анализ двигательной функции у двух групп пациентов, не имеющих статистически значимых различий по обстоятельствам рождения и диагнозу, в зависимости от факта применения роботизированной локомоторной терапии; возможным недостатком — небольшое количество пациентов, включённых в исследование, что снижает его статистическую точность.

Резюме основного результата исследования

У детей с церебральным параличом, получивших комплекс механотерапии на аппарате Walkbot, выявлена лучшая динамика двигательных исходов после окончания реабилитации по сравнению с пациентами, которые не получали локомоторную терапию.

Обсуждение основного результата исследования

Формирование двигательного стереотипа ребёнка с церебральным параличом искажено с самого начала. Самоорганизация нейронных систем при их повреждении, отсутствии опыта нормального движения может привести к появлению как оптимальных, так и неоптимальных паттернов движения [18]. У ребёнка с церебральным параличом открыты, скорее, определённые возможности двигательного развития, приобретения компетенций и адаптации на основе опыта, чем восстановление функции. В этом контексте задачей реабилитации является создание предпосылок для выработки именно оптимального двигательного паттерна и минимизация ортопедических осложнений, которые существенно ограничивают любые двигательные перспективы ребёнка. В настоящем исследовании выявлено, что чем выше был возраст ребёнка, тем больше у него выявлялось двигательных ограничений, в том числе ортопедических осложнений, потребовавших хирургического вмешательства, что определяло как уровень двигательного развития ребёнка, так и его способности к самостоятельному перемещению, что подтверждает необходимость как можно более раннего начала реабилитационных мероприятий у данной категории детей.

В последние годы всё больше локомоторных роботов используется в реабилитации детей с двигательными

нарушениями. Практика повторяющихся движений является одним из условий для улучшения двигательной активности и моторного обучения. Полученные в настоящем исследовании результаты показали некоторое улучшение баланса и снижение риска падений в обеих группах пациентов с церебральным параличом, более выраженное у детей, получавших локомоторную терапию, и зависящее от количества проведённых процедур. При этом достоверно отмечалось улучшение локомоции у детей, получивших курс терапии на аппарате Walkbot, тогда как у детей контрольной группы какая-либо динамика отсутствовала. Часть пациентов смогла передвигаться без посторонней помощи, у отдельных пациентов увеличилась скорость ходьбы, что позитивно влияло на степень их функциональной независимости. Наблюдалось также улучшение общей двигательной функции, которое может считаться существенным (6,8%). Это согласуется с данными ряда предыдущих исследований, которые показали, что после проведения локомоторной терапии отмечается улучшение выполнения функциональных двигательных задач, способности стоять и скорости ходьбы [19, 20]. В то же время метаанализ нескольких исследований не подтвердил этот вывод, поэтому данные остаются противоречивыми [21]. Уменьшение степени пареза в динамике, выявленное у пациентов первой группы, не может быть объяснено эффектом от локомоторной терапии в связи с недостатком данных.

Исследования терапии непосредственно с использованием Walkbot у взрослых пациентов показали его эффективность в отношении улучшения кинематики колена и тазобедренного сустава и снижения спастичности [22]. В данном исследовании выявлено отсутствие эффектов локомоторной терапии, связанных с изменением мышечного тонуса и функцией суставов нижних конечностей, тогда как терапия ботулинического токсина типа А достоверно приводила к снижению локальной спастичности у пациентов обеих групп, что облегчало приобретение необходимых компетенций в повседневной жизни и увеличивало функциональную независимость ребёнка.

Имеется необходимость проведения дальнейших исследований оценки эффективности роботизированной механотерапии в зависимости от факта применения ботулинотерапии, в том числе для разных возрастных категорий пациентов.

Ограничения исследования

На выводы исследования могли повлиять следующие факторы: на этапе планирования исследования — большой диапазон возраста пациентов в группах, различное количество реабилитационных курсов (от 1 до 5), применение ботулинотерапии, наличие ортопедических вмешательств у части пациентов, отсутствие учёта влияния социальных и средовых факторов, которые могли повлиять как на двигательные исходы основного заболевания (например, функциональную мобильность), так и на уровень независимости пациента в повседневной жизни,

а также отсутствие учёта изменений психической сферы ребёнка и его когнитивных функций в результате проведения локомоторной терапии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ранее проведённые исследования показали противоречивые результаты относительно эффективности применения методов локомоторной терапии у детей с церебральным параличом. В настоящем исследовании выявлено, что в группе детей, получивших комплекс терапии на аппарате Walkbot, в сравнении с пациентами контрольной группы наблюдалось улучшение статодинамических и локомоторных функций, снижение риска падений и увеличение независимости в повседневной жизни.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Физическая и реабилитационная медицина при детском параличе у детей. Национальное руководство. Часть 1 / под ред. Т.Т. Батышевой. Москва, 2021. 260 с.
2. Ключкова О.А., Куренков А.Л. Ботулинотерапия при детском церебральном параличе. Москва: МЕДпресс-информ, 2020. 248 с.
3. Семенова Е.В., Ключкова Е.В., Коршикова-Морозова А.Е., и др. Реабилитация детей с ДЦП: обзор современных подходов в помощь реабилитационным центрам. Москва: Лепта Книга, 2018. 584 с.
4. Carlson H.L., Craig B.T., Hilderley A.J., et al. Structural and functional connectivity of motor circuits after perinatal stroke: A machine learning study // *Neuroimage Clin.* 2020. Т. 28. P. 102508. doi: 10.1016/j.nicl.2020.102508
5. Johnston M.V. Plasticity in the developing brain: Implications for rehabilitation // *Developmental Dis Res Rev.* 2009. Vol. 15, N 2. P. 94–101. EDN: MMTPPV doi: 10.1002/ddrr.64
6. Гуляева Н.В. Пластичность мозга и коннектопатии: механизмы коморбидности неврологических заболеваний и депрессии // *Журнал неврологии и психиатрии.* 2016. № 11. С. 157–162. EDN: XVOZBF doi: 10.17116/jnevro201611611157-162
7. Физическая и реабилитационная медицина при детском параличе у детей. Национальное руководство. Часть 2 / под ред. Т.Т. Батышевой. Москва, 2021. 308 с.
8. Novak I., Morgan K. High-risk follow-up: Early intervention and rehabilitation // *Handb Clin Neurol.* 2019. Vol. 162. P. 484–510. EDN: XBSIJN doi: 10.1016/B978-0-444-64029-1.00023-0
9. Войтенков В.Б., Скрипченко Н.В., Иванова М.В., и др. Роботизированная механотерапия у детей с двигательными нарушениями различного генеза // *Гений ортопедии.* 2014. № 2. С. 95–99. EDN: SGMPHL
10. Даминов В.Д. Роботизированная механотерапия в нейрореабилитации // *Вестник АГИУВ. Спецвыпуск.* 2013. С. 83–88. EDN: WWBMGL
11. Мосина М.О., Тихонов С.В., Селиванова Е.А., Батышева Т.Т. Экзоскелеты в комплексной реабилитации детей с нарушени-

Вклад авторов. Д.Л. Нефедьева — обзор литературы, сбор и анализ литературных источников, подготовка и написание текста; Л.И. Абдрахманова — отбор пациентов, наблюдение и лечение пациентов; Р.А. Бодрова — общее руководство, редактирование статьи. Все 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).

ADDITIONAL INFORMATION

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

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

Author contribution. D.L. Nefedeva — literature review, collection and analysis of literary sources, preparation and writing of the text; L.I. Abdrakhmanova — selection of patients, observation and treatment of patients; R.A. Bodrova — general guidance, editing of the article. All 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.

ями функции ходьбы // *Детская и подростковая реабилитация.* 2022. № 1. С. 27–38. EDN: DWFYZU

12. Sveistrup H. Motor rehabilitation using virtual reality // *J Neuro Engineering Rehab.* 2004. Vol. 1, N 1. P. 10. doi: 10.1186/1743-0003-1-10

13. Lee H.Y., Park J.H., Kim T.W. Comparisons between Locomat and Walkbot robotic gait training regarding balance and lower extremity function among nonambulatory chronic acquired brain injury survivors // *Medicine.* 2021. Vol. 100, N 18. P. e25125. doi: 10.1097/MD.00000000000025125

14. Баранов А.А., Намазова-Баранова Л.С., Куренков А.П., и др. Комплексная оценка двигательных функций у пациентов с детским церебральным параличом. Учебно-методическое пособие. Москва: ПедиатрЪ, 2014. 84 с.

15. Белова А.Н. Шкалы, тесты и опросники в неврологии и нейрохирургии. Москва, 2004. 432 с.

16. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2010617487 от 1 декабря 2010. [Сведения обновлены 30.06.2021]. Режим доступа: <https://reestr.digital.gov.ru/reestr/368878/>. Дата обращения: 15.04.2024.

17. Клинические рекомендации по реабилитации детей с детским церебральным параличом (ДЦП). Москва: Союз педиатров России, Всероссийское общество неврологов и др., 2017. 62 с.

18. Cramer S.C., Sur M., Dobkin B.H., et al. Harnessing neuroplasticity for clinical applications // *Brain.* 2011. Vol. 34, № 6. P. 1591–1609. EDN: ONFNNL doi: 10.1093/brain/awr039

19. Borggraefe I., Schaefer J.S., Klaiber M., et al. Robotic-assisted treadmill therapy improves walking and standing performance in children and adolescents with cerebral palsy // *Eur J Paediatric Neurology.* 2010. Vol. 14, N 6. P. 496–502. doi: 10.1016/j.ejpn.2010.01.002

20. Carvalho I., Pinto S.M., Chagas D., et al. Robotic gait training for individuals with cerebral palsy: A systematic review and meta-analysis // *Arch Physical Med Rehabil.* 2017. Vol. 98, N 11. P. 2332–2344. doi: 10.1016/j.apmr.2017.06.018

21. Lefmann S., Russo R., Hillier S. The effectiveness of robotic-assisted gait training for paediatric gait disorders: Systematic review // *J NeuroEngineering Rehab*. 2017. Vol. 14, N 1. P. 1. EDN: YWILFT doi: 10.1186/s12984-016-0214-x

22. Hwang J., Shin Y., Park J., et al. Effects of Walkbot gait training on kinematics, kinetics, and clinical gait function in paraplegia and quadriplegia // *NeuroRehab*. 2018. Vol. 42, N 4. P. 481–489. doi: 10.3233/nre-172226

REFERENCES

1. *Physical and rehabilitation medicine for infantile paralysis in children*. National leadership. Part 1. Ed. by T.T. Batysheva. Moscow; 2021. 260 p. (In Russ).
2. Klochkova OA, Kurenkov AL. *Botulinum therapy for cerebral palsy*. Moscow: MEDpress-inform; 2020. 248 p. (In Russ).
3. Semenova EV, Klochkova EV, Korshikova-Morozova AE, et al. *Rehabilitation of children with cerebral palsy: An overview of modern approaches to help rehabilitation centers*. Moscow: Lepta Kniga; 2018. 584 p. (In Russ).
4. Carlson HL, Craig BT, Hilderley AJ, et al. Structural and functional connectivity of motor circuits after perinatal stroke: A machine learning study. *Neuroimage Clin*. 2020;28:102508. doi: 10.1016/j.nicl.2020.102508
5. Johnston MV. Plasticity in the developing brain: Implications for rehabilitation. *Developmental Dis Res Rev*. 2009;15(2):94–101. EDN: MMTTPV doi: 10.1002/ddrr.64
6. Gulyaeva NV. Cerebral plasticity and connectopathies: Mechanisms of comorbidity of neurological diseases and depression. *S.S. Korsakov J Neurol Psychiatry*. 2016;11:157–162. EDN: XVOZBF doi: 10.17116/jnevro2016116111157-162
7. *Physical and rehabilitation medicine for infantile paralysis in children*. National leadership. Part 2. Ed. by T.T. Batysheva. Moscow; 2021. 308 p. (In Russ).
8. Novak I., Morgan K. High-risk follow-up: Early intervention and rehabilitation. *Handb Clin Neurol*. 2019;162:484–510. EDN: XBSIJN doi: 10.1016/B978-0-444-64029-1.00023-0
9. Voitenkov VB, Skripchenko NV, Ivanova MV, et al. Robotic mechanotherapy in children with motor disorders of different genesis. *Genii Ortopedii*. 2014;(2):95–99. EDN: SGMPHL
10. Daminov VD. Robotic mechanotherapy in neurorehabilitation. *Vestnik AGIUV*. Special issue. 2013;(S3):83–88. EDN: WWBMGL
11. Mosina MO, Tikhonov SV, Selivanova EA, Batysheva TT. Exoskeletons in the complex rehabilitation of children with movement disorder. *Detskaya i podrostkovaya reabilitatsiya*. 2022;(1):27–38. EDN: DWFYZU
12. Sveistrup H. Motor rehabilitation using virtual reality. *J NeuroEngineering Rehab*. 2004;1(1):10. doi: 10.1186/1743-0003-1-10

13. Lee HY, Park JH, Kim TW. Comparisons between Locomat and Walkbot robotic gait training regarding balance and lower extremity function among nonambulatory chronic acquired brain injury survivors. *Medicine*. 2021;100(18):e25125. doi: 10.1097/MD.00000000000025125
14. Baranov AA, Namazova-Baranova LS, Kurenkov AP, et al. *Comprehensive assessment of motor functions in patients with cerebral palsy*. Educational and methodical manual. Moscow: Pediatr"; 2014. 84 p. (In Russ).
15. Belova AN. *Scales, tests and questionnaires in neurology and neurosurgery*. Moscow; 2004. 432 p. (In Russ).
16. Certificate of state registration of the computer program No. 2010617487. 2010. (In Russ). dated December 01, 2010 [information updated on 30.06.2021]. Available from: <https://reestr.digital.gov.ru/reestr/368878/>. Accessed: 15.04.2024.
17. *Clinical recommendations for the rehabilitation of children with infantile cerebral palsy (ICP)*. Moscow: Union of Paediatricians of Russia, All-Russian Society of Neurologists et al.; 2017. 62 p. (In Russ).
18. Cramer SC, Sur M, Dobkin BH, et al. Harnessing neuroplasticity for clinical applications. *Brain*. 2011;134(6):1591–1609. EDN: ONFNNL doi: 10.1093/brain/awr039
19. Borggraefe I, Schaefer JS, Klaiber M, et al. Robotic-assisted treadmill therapy improves walking and standing performance in children and adolescents with cerebral palsy. *Eur J Paediatric Neurology*. 2010;14(6):496–502. doi: 10.1016/j.ejpn.2010.01.002
20. Carvalho I, Pinto SM, Chagas D, et al. Robotic gait training for individuals with cerebral palsy: A systematic review and meta-analysis. *Arch Physical Med Rehab*. 2017;98(11):2332–2344. doi: 10.1016/j.apmr.2017.06.018
21. Lefmann S, Russo R, Hillier S. The effectiveness of robotic-assisted gait training for paediatric gait disorders: Systematic review. *J NeuroEngineering Rehab*. 2017;14(1):1. EDN: YWILFT doi: 10.1186/s12984-016-0214-x
22. Hwang J, Shin Y, Park J, et al. Effects of Walkbot gait training on kinematics, kinetics, and clinical gait function in paraplegia and quadriplegia. *NeuroRehab*. 2018;42(4):481–489. doi: 10.3233/nre-172226

ОБ АВТОРАХ

* **Нефедьева Дарья Леонидовна**, канд. мед. наук, доцент;
адрес: Россия, 125993, Москва, ул. Баррикадная, д. 2/1, стр. 1;
ORCID: 0000-0002-0609-3178;
eLibrary SPIN: 8088-2744;
e-mail: DLNefedeva@mail.ru

Абдрахманова Лейсан Ильдусовна;
ORCID: 0009-0001-4176-4803;
e-mail: Leisan.abdr@gmail.com

Бодрова Резеда Ахметовна, д-р мед. наук, доцент;
ORCID: 0000-0003-3540-0162;
eLibrary SPIN: 1201-5698;
e-mail: Rezeda.Bodrova@tatar.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

AUTHORS' INFO

* **Darya L. Nefedeva**, MD, Cand. Sci. (Medicine), Associate Professor;
address: 2/1, building 1, Barricadnaya street, 125993 Moscow, Russia;
ORCID: 0000-0002-0609-3178;
eLibrary SPIN: 8088-2744;
e-mail: DLNefedeva@mail.ru

Leisan I. Abdrakhmanova;
ORCID: 0009-0001-4176-4803;
e-mail: Leisan.abdr@gmail.com

Rezeda A. Bodrova, MD, Dr. Sci. (Medicine), Associate Professor;
ORCID: 0000-0003-3540-0162;
eLibrary SPIN: 1201-5698;
e-mail: Rezeda.Bodrova@tatar.ru