

У.Ш. Ашрафова, А.М. Мамедъяров, Е.К. Кармазина, О.А. Клочкова

НИИ педиатрии и охраны здоровья детей НКЦ №2 ФГБНУ «РНЦХ им. акад. Б.В. Петровского»,
Москва, Российская Федерация

Динамика статокинетических показателей походки у детей преддошкольного и дошкольного возраста с церебральным параличом на фоне экзоскелет-ассистированной реабилитации

Автор, ответственный за переписку:

Ашрафова Ульвия Шахиновна, младший научный сотрудник отдела разработки научных подходов к ведению детей с двигательными нарушениями НИИ педиатрии и охраны здоровья детей НКЦ №2 ФГБНУ «РНЦХ им. акад. Б.В. Петровского»

Адрес: 119333, Москва, ул. Фотиевой, д. 10, стр. 1., тел.: +7 (968) 492-44-56, e-mail: doc.ashrafova@gmail.com

Обоснование. Роботизированная механотерапия — одно из актуальных и перспективных направлений в современной нейрореабилитации. Возможности применения экзоскелетов в реабилитации детей раннего и дошкольного возраста в настоящее время недостаточно изучены. **Цель исследования.** Оценить эффективность применения экзоскелетов для коррекции двигательного стереотипа и формирования паттернов ходьбы у детей раннего и дошкольного возраста с двигательными нарушениями. **Материалы и методы.** Пациенты были разделены на 3 группы: группу I составили 29 пациентов с ДЦП дошкольного возраста, получавшие традиционные реабилитационные процедуры, группу II — 29 детей дошкольного возраста с ДЦП, в реабилитационный комплекс которых входили тренинги с экзоскелетом ExoAtlet Bambini, и группу III — 14 детей младшего дошкольного возраста, в реабилитационную программу которых были включены тренировки с маленьким экзоскелетом ExoAtlet Sofia. Для анализа данных использовали современные шкалы, тесты, данные аппаратно-программного обеспечения, позволяющие оценить изменение биомеханических параметров и показателей работоспособности той или иной группы мышц. **Результаты.** Клиническая оценка на фоне комплекса реабилитационных мероприятий с применением экзоскелета к концу реабилитации показала достоверное улучшение вертикальной позы, ходьбы и постурального контроля в целом. Корреляционный анализ, проведенный по окончании реабилитации, выявил статистически значимые связи между общим количеством тренингов в экзоскелете, динамикой индекса Хаузера ($p = 0,033$ у группы II, $p = 0,045$ у группы III), динамикой по тесту «Встань и иди» ($p = 0,038$ у группы II, $p = 0,49$ у группы III). **Заключение.** Применение экзоскелета приводит к статистически значимому улучшению постурального контроля пациентов в исследовании, получивших полный курс индивидуализированной комплексной реабилитации с применением экзоскелета. Результаты сравнительного анализа не только продемонстрировали более высокую эффективность экзоскелет-ассистированной реабилитации у детей младшего и дошкольного возраста по сравнению с традиционными методами, но и позволили определить ключевые факторы, прогнозирующие успех данной технологии для этой категории пациентов.

Ключевые слова: роботизированная механотерапия, детская реабилитация, детский церебральный паралич, младший дошкольный возраст, двигательные нарушения, биомеханика ходьбы, экзоскелет

Для цитирования: Ашрафова У.Ш., Мамедъяров А.М., Кармазина Е.К., Клочкова О.А. Динамика статокинетических показателей походки у детей преддошкольного и дошкольного возраста с церебральным параличом на фоне экзоскелет-ассистированной реабилитации. Педиатрическая фармакология. 2025;22(6):679–689. doi: <https://doi.org/10.15690/pf.v22i6.2993>

ОБОСНОВАНИЕ

Среди неврологических заболеваний детский церебральный паралич (ДЦП) по-прежнему остается одной из ведущих причин детской инвалидизации. Основными клиническими проявлениями ДЦП являются нарушения локомоторных функций и постурального контроля, препятствующие росту, развитию и полноценной социальной адаптации. Отсутствие должного постурального контроля у детей с ДЦП связано с формированием патологических двигательных стереотипов вследствие нарушения развития «здоровых» двигательных навыков с самого начала.

Двигательная активность относится к числу ключевых физиологических детерминант, необходимых для нормальных процессов формирования и функционирования человеческого организма на всех этапах онтогенеза — как в детском, так и в зрелом возрасте. Снижение объема двигательной активности запускает целый каскад патологических изменений: патология костно-мышечной системы провоцирует расстройство вегетативно-сосудистой регуляции и респираторной функции, что влечет за собой нарушения метаболических процессов и стойкое снижение работоспособности [1]. Для оптимальной работы не только опорно-двигательной, но и других систем организма необходима достаточная двигательная активность.

тельного аппарата, но и внутренних органов и нервной системы в целом человеку необходимо находиться в вертикальном положении — стоя или двигаясь [2]. В процессе пассивной и активной вертикализации (тренинга ходьбы) достигается несколько целей: формируется правильная поза тела, увеличиваются мобильность суставов и коммуникативная активность, в том числе психоэмоциональное состояние ребенка, осуществляется профилактика развития соматических сопутствующих заболеваний [3, 4]. Филогенетические и онтогенетические аргументы в пользу значимости вертикализации человека очевидны [5].

Ходьба — это сложный скоординированный акт, которым управляет нервная система. Согласно исследованием, регулярные локомоторные тренировки способствуют формированию новых нейронных связей, тем самым воздействуя на механизмы нейропластичности [6, 7]. Принципы нейрональной пластичности обосновывают необходимость ранней и активной стимуляции пораженных конечностей у детей с тяжелой неврологической и ортопедической патологией. Процесс вертикализации у данной группы пациентов не только способствует существенным позитивным сдвигам в физическом и функциональном состоянии, но и мотивирует их к ходьбе, помогая освоить новые двигательные навыки [8]. Поэтому раннее начало комплексной реабилитации детей с ДЦП в раннем периоде жизни позволит повысить шансы эффективности абилитации и реабилитации, тем самым снижая риск поздних осложнений, в частности формирования ранних контрактур и деформации суставов [9, 10].

На сегодняшний день в реабилитационной практике механотерапия утвердилась в качестве ключевого

направления, основанного на аппаратном выполнении дозированных упражнений на специализированных медицинских аппаратах, обеспечивающих активную нагрузку при совершении движений [9].

Возможности современной педиатрической реабилитации расширились благодаря появлению метода биологической обратной связи (БОС), при котором выполнение повторяющихся двигательных актов в формате компьютерной игры, сопровождаемое визуальной и акустической информацией в реальном времени, позволяет ребенку осуществлять осознанную коррекцию движений [11]. Согласно результатам проведенных авторским коллективом исследований и обзору международного опыта, применение параметров видеоигр в качестве элемента обратной связи ассоциировано не только с прогрессом в развитии моторных навыков у детей, но и с повышением уровня их мотивации, а также с формированием благоприятного эмоционального фона, что обеспечивает более эффективную мультисенсорную интеграцию, необходимую для планирования и исполнения двигательного акта [12–14].

Особое внимание в спектре восстановительных методик сейчас уделено роботизированной механотерапии, представляющей одно из самых актуальных направлений в двигательной реабилитации. Получен значительный объем доказательств, подтверждающих эффективность реабилитационных воздействий с использованием роботизированных тренажеров у подростков и взрослых. Особенно перспективны и восребованы такие механизированные реабилитационные комплексы, как система медицинских экзоскелетов, интерес к которым неуклонно растет в последнее

Ulviya Sh. Ashrafova, Ayaz M. Mamedyarov, Elena K. Karmazina, Olga A. Klochkova

Pediatrics and Child Health Research Institute in Petrovsky National Research Centre of Surgery,
Moscow, Russian Federation

Dynamics of Statokinetic Gait Parameters in Toddlers and Children of Preschool Age with Cerebral Palsy on the Background of Exoskeleton-assisted Rehabilitation

Background. Robotic mechanotherapy is one of the most relevant and promising areas in modern neurorehabilitation. The possibilities of using exoskeletons in the rehabilitation of children of early and preschool age are currently insufficiently studied. **The aim of the study is** to evaluate the effectiveness of using exoskeletons to correct motor stereotypes and form walking patterns in children of early and preschool age with motor disorders. **Materials and methods.** The patients were divided into 3 groups: group I consisted of 29 patients with cerebral palsy of preschool age who received traditional rehabilitation procedures, group II — 29 preschool children with cerebral palsy, whose rehabilitation complex included trainings with the ExoAtlet Bambini exoskeleton, and group III — 14 toddlers, whose rehabilitation program included training with a small ExoAtlet Sofia exoskeleton. To analyze the data, modern scales, tests, and hardware and software data were used to assess changes in biomechanical parameters and performance indicators of a particular muscle group. **Results.** A clinical assessment against the background of a complex of rehabilitation measures using an exoskeleton by the end of rehabilitation showed a significant improvement in vertical posture, walking, and postural control in general. Correlation analysis conducted at the end of rehabilitation revealed statistically significant relationships between the total number of exoskeleton training sessions, the dynamics of the Hauser index ($p = 0.033$ in group II, $p = 0.045$ in group III), and the dynamics of the timed "Up and Go" test ($p = 0.038$ in group II, $p = 0.49$ in group III). **Conclusion.** The usage of an exoskeleton leads to a statistically significant improvement in the postural control of patients in the study who received a full course of individualized comprehensive rehabilitation using an exoskeleton. The results of the comparative analysis demonstrated not only the higher efficiency of exoskeleton-assisted rehabilitation in toddlers and preschool children compared with traditional methods, but also allowed us to identify key factors predicting the success of this technology for this category of patients.

Keywords: robotic mechanotherapy, pediatric rehabilitation, cerebral palsy, toddlers, motor disorders, biomechanics of walking, exoskeleton

For citation: Ashrafova Ulviya Sh., Mamedyarov Ayaz M., Karmazina Elena K., Klochkova Olga A. Dynamics of Statokinetic Gait Parameters in Toddlers and Children of Preschool Age with Cerebral Palsy on the Background of Exoskeleton-assisted Rehabilitation. *Pediatricheskaya farmakologiya — Pediatric pharmacology*. 2025;22(6):679–689. (In Russ.). doi: <https://doi.org/10.15690/pf.v22i6.2993>

время [15]. С целью формирования физиологического паттерна ходьбы и реализации принципа ранней вертикализации для пациентов с локомоторными нарушениями по всему миру разрабатываются реабилитационные экзоскелеты. Экзоскелет — роботизированное устройство, настраиваемое под антропометрические параметры человека, предусмотренное для тренировки ходьбы за счет внешнего каркаса и приводов. Современные функциональные модели экзоскелетов разрабатываются, совершенствуются и производятся параллельно как ведущими зарубежными странами (США, Япония, Израиль, Испания), так и в Российской Федерации, что свидетельствует о глобальном характере данной технологической гонки [16–18].

Перспективной российской моделью является медицинский экзоскелет нового поколения ExoAtlet Albert — роботизированный тренажер с БОС для восстановления навыков ходьбы со встроенной системой синхронизированной электростимуляции, рекомендованный для использования людьми с полной или частичной утратой движений нижних конечностей [19]. В 2021 г. появилась детская версия аппарата — ExoAtlet Bambini, специально разработанная для детей с нарушениями опорно-двигательной системы, оснащенная более мягкими материалами и упругими элементами для уменьшения нагрузки на тело ребенка (предназначена для детей дошкольного возраста). Движения в таком экзоскелете осуществляются за счет расположенных в коленных, бедренных и голеных модулях электрических двигателей, управляющий сигнал на которые подается с центральной платы робота, расположенной в «спинке» робота в виде планшета.

К настоящему времени изобретено только несколько экзоскелетов, адаптированных для детей-инвалидов разных возрастов, поэтому возможности использования и степень эффективности реабилитации с применением экзоскелетов у детей раннего возраста на сегодняшний день изучены недостаточно. В процессе разработки экзоскелет, предназначенный для пациентов ростом от 73 до 120 см. Эта уникальная модель станет первым и единственным в своем классе тренажером-экзоскелетом, предназначенным для самых маленьких пациентов — детей раннего возраста (рис. 1).

Несмотря на широкий спектр существующих методик и тренажеров в области механотерапии, их эффективность напрямую зависит от персонализированного подхода к выбору и стратегии дальнейшего применения.



Рис. 1. Пациент раннего возраста в детском экзоскелете (ExoAtlet Sofia)
Fig. 1. An early-age patient in a children's exoskeleton (ExoAtlet Sofia)

Оптимальный лечебный эффект достичим лишь при условии, что решение об индивидуальном наборе оптимальных методик принимается мультидисциплинарной командой, учитывающей весь комплекс параметров конкретного пациента: специфику заболевания, возраст, характер двигательных нарушений, сопутствующие (в том числе ортопедические) патологические состояния и реабилитационные цели.

Анализ данных зарубежной и отечественной литературы показывает, что в настоящее время повышается интерес к применению роботизированных устройств в реабилитации пациентов с ДЦП, в том числе детского возраста. Результаты исследований, проведенных зарубежными [20] и отечественными [21, 22] авторами, показывают высокую эффективность использования робототехники в реабилитационных программах.

Однако результаты применения реабилитационного лечения, включающего использование экзоскелетов у детей младшего и дошкольного возраста с ДЦП, в доступной научной литературе не представлены.

Цель исследования

Изучить возможность и эффективность использования механизированной робототерапии у детей раннего и дошкольного возраста с ДЦП.

МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Простое когортноеmonoцентровое проспективное исследование.

Условия проведения исследования

У всех пациентов собирался анамнез, оценивались основные антропометрические показатели (рост, масса), проводился неврологический и ортопедический осмотр.

В программу реабилитации на основании индивидуальных показаний включались следующие методики: общий массаж, лечебная физкультура с применением пассивных упражнений с инструктором ЛФК по индивидуальной программе, коррекция нарушения двигательной функции с использованием компьютерных технологий (БОС), сухие иммерсионные ванны (кровать «Сатурн»), электрофорез синусоидальными модулированными токами (СМТ-форез; 2 поля), тренинг коррекции нарушений двигательной функции при помощи БОС-стабилоплатформы.

Персонализированно в реабилитационную программу пациента на основании возраста, показаний и показателей нейропсихического статуса назначалась тренировка с применением маленького или среднего экзоскелета (согласно возрастным и антропометрическим данным).

Средняя длительность сеанса тренировки с применением экзоскелета не превышала 1 ч, непосредственно время ходьбы в экзоскелете (то есть ходьбы без учета отдыха) составляло 15–25 мин (с постепенным увеличением длительности от сеанса к сеансу на основании индивидуальной переносимости пациентом). Учитывая возможные сопутствующие ортопедические ограничения, перед первой сессией с экзоскелетом у пациента проверяли отсутствие противопоказаний к тренировке, анализировали возможность применения экзоскелета по индивидуальным антропометрическим параметрам. Для применения тренажера в исследовании были разработаны антропометрические показатели для детей от 2 до 7 лет (табл. 1) для линейной и пространственной коррекции параметров медицинского аппарата и воз-

Таблица 1. Антропометрические данные группы детей с ДЦП возраста от 2 до 7 лет

Table 1. Anthropometric data of a group of children with cerebral palsy aged 2 to 7 years

Рост, см	110,4 ± 13,5
Ширина таза, см	24,2 ± 7,8
Длина от тазобедренного сустава до колена, см	31,3 ± 9,7
Длина от колена до пола, см	36,6 ± 11,2
Длина стопы, см	17,4 ± 6,3
Обхват бедра, см	38,2 ± 8,7
Обхват икроножной мышцы, см	24,3 ± 6,8
Обхват по голеностопу, см	15,6 ± 6,5

можности его использования в данной возрастной группе детей с ДЦП.

Перед инициацией тренировки пациента в экзоскелете инструктор осуществлял фиксацию костей таза, коленей и стоп ребенка в положении, близком к физиологическому, в самом тренажере. Далее из этого положения создавалась возможность отрабатывать паттерны ходьбы [23]. Тренировка — ходьба пациента в экзоскелете — проводилась в сопровождении инструктора, который, в свою очередь, управлял экзоскелетом, находясь позади пациента и придерживая аппарат.

Критерии соответствия

Описание критериев соответствия (диагностические критерии)

Учитывая клиническую картину детей с ДЦП в виде сниженных интеллектуальных способностей и тяжелых двигательных нарушений, в том числе с костно-суставными изменениями и невозможностью выполнения того или иного упражнения, в работу были включены интеллектуально сохранные дети, способные передвигаться в пространстве без или с минимальной поддержкой (использование тростей, ходунков).

Критерии включения:

- диагноз ДЦП, установленный согласно действующим клиническим рекомендациям;
- возраст от 2 лет до 7 лет включительно;
- наличие двигательных нарушений уровня I–III согласно классификации Gross Motor Function Classification System (GMFCS) [11].

Критерии невключения:

- наличие противопоказаний к проведению реабилитации;
- наличие тяжелых деформаций конечностей (контрактуры, вывихи бедра);
- тяжелая интеллектуальная недостаточность.

Критерии исключения:

- серьезные нежелательные явления на фоне реабилитации;
- отказ пациента и/или его законного представителя от проводимой терапии.

Подбор участников в группы

В исследование включены 72 ребенка, из которых 37 (56%) мальчиков и 35 (44%) девочек, с установленным диагнозом ДЦП. Пациенты со спастической диплегией составили 86% (62 ребенка), со спастической

гемиплегией — 8% (6 детей), со смешанной формой — 5% (4 случая). Средний возраст пациентов составил $4,68 \pm 1,97$ года.

Для достижения поставленной цели — анализа эффективности различных методик роботизированной механотерапии у детей раннего и дошкольного возраста с двигательными нарушениями — все пациенты были разделены на 3 группы:

- группу I составили 29 пациентов с ДЦП дошкольного возраста (от 5 до 7 лет), которым был сформирован персонализированный комплекс реабилитационных воздействий;
- группу II — 29 детей с ДЦП дошкольного возраста (от 5 до 7 лет), которым в персонализированный комплекс реабилитационных воздействий на основании показателей нейропсихического статуса были дополнительно включены тренинги с экзоскелетом Bambini (согласно антропометрическим показателям, в том числе длины голени, высоты стопы пациента в обуви, индексу массы тела пациента), ориентированным на пациентов ростом от 115 до 160 см (рис. 2);
- в группу III вошли 14 пациентов с ДЦП младшего возраста (2–4 лет), в реабилитационную программу которых были также включены дополнительные персонализированные тренировки с экзоскелетом Sofia (согласно антропометрическим показателям, в том числе индексу массы тела пациента), так как данный экзоскелет ориентирован на детей ростом от 73 до 120 см.

Целевые показатели исследования

В ходе проспективного когортного исследования была проведена оценка влияния применяемой терапии (персонализированного реабилитационного комплекса мероприятий) на весь спектр патофизиологических проявлений ДЦП, включая спастичность, мышечную слабость, нарушение селективного моторного контроля и удержания позы.

Для измерения временных и пространственных параметров шага применялась компьютерная подография, по которой анализировали длину шага, ширину шага, время опоры на одну ногу, время переноса ноги во время шагового движения.

Методы измерения целевых показателей

Контрольная оценка динамики неврологических и реабилитационных показателей осуществлялась



Рис. 2. Пациент дошкольного возраста в экзоскелете (ExoAtlet Bambini)

Fig. 2. A preschool-age patient in an exoskeleton (ExoAtlet Bambini)

по результатам следующих стандартизованных инструментов (тестов и шкал): модифицированной шкалы Эшворта [24], шкалы оценки мышечной силы (Medical Research Council (MRC) Weakness Scale) [25], индекса ходьбы Хаузера, теста «Встань и иди», шкалы клинического наблюдения ходьбы, а также данных аппаратных измерений.

Для оценки функции ходьбы использовались индекс ходьбы Хаузера [26] и тест «Встань и иди».

Индекс ходьбы Хаузера (Hauser Ambulation Index; HAI) отражает общую мобильность больного, включает классификацию пациентов по 10 градациям в зависимости от необходимости посторонней помощи, времени прохождения тестового расстояния, использования средств опоры или инвалидной коляски. Особенностью индекса является простота выполнения тестов при относительно невысокой его чувствительности.

Тест «Встань и иди» (timed “Up and Go” test; TUG) позволяет оценить возможность испытуемого переходить из позы сидя в позу стоя, проанализировать ходьбу и динамику эффективности этих задач с течением времени. Кроме того, данный тест позволяет оценить функциональную мобильность испытуемого и является одним из стандартизованных тестов для оценки риска падения [27]. В исследовании использовали модифицированную версию теста для детей [28]. Задание заключается в том, что испытуемый встает со стула, проходит дистанцию 3 метра (до стены с зеркалом, ребенок шел навстречу себе) самостоятельно или с использованием технических средств реабилитации (трость, трости или ходунки), касается своей руки в зеркале, поворачивается на 180 градусов, возвращается обратно и садится на стул. По команде «Марш!» начинается время отсчета, после возвращения испытуемого в исходное положение таймер останавливается. Для этого инструмента оценки по объективным причинам не существует нормальных значений, на которые можно ориентироваться. Поэтому оценивали прогресс ребенка за период реабилитации, сравнивая с исходным показателем.

Особенности биомеханических характеристик ходьбы и устойчивости (положение тела в пространстве) вертикальной позы во время ходьбы оценивались с помощью подографии, а для оценки нарушения ходьбы использовалась шкала наблюдения походки.

Переменные (предикторы, конфаундеры, модификаторы эффекта)

Не использовались.

Статистические процедуры

Принципы расчета размера выборки

Необходимый размер выборки предварительно не рассчитывался.

Таблица 2. Показатели мышечного тонуса по шкале Эшворта в динамике у пациентов в исследовании
Table 2. Indicators of muscle tone on the Ashworth scale in dynamics in patients in the study

Шкала Эшворта, балл	До начала реабилитации			После курса реабилитации			Динамика		
	Группа								
	I (n = 29)	II (n = 29)	III (n = 14)	I (n = 29)	II (n = 29)	III (n = 14)	I (n = 29)	II (n = 29)	III (n = 14)
Правая рука	1,6 ± 0,6	1,6 ± 0,5	0,9 ± 0,5	0,9 ± 0,8	0,9 ± 0,5	0,5 ± 0,7	0,7 ± 0,4	0,7 ± 0,1	0,4 ± 0,5
Левая рука	1,5 ± 0,8	1,5 ± 0,9	0,8 ± 0,3	1,0 ± 0,8	1,0 ± 0,9	0,5 ± 0,8	0,5 ± 0,3	0,5 ± 0,2	0,4 ± 0,6
Правая нога	2,8 ± 0,9	2,7 ± 0,9	2,1 ± 1,1	1,8 ± 0,7	1,9 ± 0,7	1,9 ± 1,8	1,0 ± 0,4	0,8 ± 0,4	1,1 ± 0,7
Левая нога	2,8 ± 0,8	2,8 ± 1,3	2,2 ± 1,7	1,8 ± 0,8	1,9 ± 0,6	1,8 ± 1,9	1,0 ± 0,2	0,9 ± 0,7	0,9 ± 0,8

Статистические методы

Полученные в ходе исследования данные проанализированы с использованием методов описательной статистики. Для обработки данных использовался пакет программ Microsoft Office Excel (США). Данные представлены в виде среднего (M) и стандартного отклонения (SD). Результаты за период наблюдения сравнивались между собой с использованием T -критерия Уилкоксона и считались статистически значимыми при $p \leq 0,05$.

Этическая экспертиза

Все данные пациентов были анонимизированы, доступ к исходным табличным данным ограничен (полный доступ к этой информации имеют соавторы публикации). Исследование проведено в рамках ПНИ «Разработка технологии применения роботизированной механотерапии у детей-инвалидов раннего возраста для формирования правильного паттерна самостоятельных движений», регистрационный номер № 123030700080-0.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Изменение показателей двигательных функций — эффективность персонализированного реабилитационного комплекса — анализировали в динамике, до начала мероприятий и после полного курса лечения.

По результатам проведенной реабилитации на фоне тренировок у всех детей (100%, $n = 72$) отмечалось уменьшение спастичности (табл. 2) и увеличение мышечной силы (табл. 3), значимо лучшие показатели — по нижним конечностям ($p < 0,05$). Однако достоверных различий в динамике мышечного тонуса и мышечной силы до и после реабилитации между группами не выявлено.

По результатам гониометрии прослеживалась положительная динамика у детей всех групп в виде увеличения объема движений в тазобедренных, коленных и голеностопных суставах. Однако статистически значимая разница изменений амплитуды движений в голеностопных суставах прослеживалась у детей, получавших в комплексе реабилитационных воздействий индивидуализированные занятия с применением экзоскелета, — как дошкольного (группа II, рис. 3) ($p = 0,047$), так и раннего (или преддошкольного) (группа III) возраста (рис. 4) ($p = 0,035$), в отличие от детей группы I, которым тренировки с экзоскелетом вследствие наличия противопоказаний не проводились (рис. 5) ($p = 0,059$).

Оценка динамики качества походки, равновесия и функциональной мобильности у детей в исследовании приведена в табл. 4. Изменения походки пациентов, зафиксированные по шкале клинического наблюдения походки (Observational Gait Scale; OGS), показали положительный двигательный паттерн. Правая и левая нижние конечности оценивались отдельно, среднее значение максимального балла одной нижней конечности до нач-

Таблица 3. Показатели мышечной силы по шкале MRC в динамике
Table 3. Indicators of muscle strength on the MRC scale in dynamics

Шкала MRC, балл	1-й день реабилитации $M \pm SD$			10-й день реабилитации $M \pm SD$			Динамика		
	Группа								
	I (n = 29)	II (n = 29)	III (n = 14)	I (n = 29)	II (n = 29)	III (n = 14)	I (n = 29)	II (n = 29)	III (n = 14)
Правая рука	4,6 ± 0,5	4,4 ± 0,6	4,8 ± 0,4	4,7 ± 0,6	4,6 ± 0,7	4,9 ± 0,1	0,1 ± 0,4	0,2 ± 0,3	0,2 ± 0,7
Левая рука	4,3 ± 0,9	4,5 ± 0,7	4,9 ± 0,3	4,6 ± 0,6	4,7 ± 0,4	4,9 ± 0,1	0,3 ± 0,6	0,2 ± 0,7	0,1 ± 0,2
Правая нога	2,4 ± 0,5	2,5 ± 0,8	3,6 ± 0,8	2,8 ± 0,9	2,7 ± 0,7	3,8 ± 0,7	0,4 ± 0,5	0,2 ± 0,3	0,2 ± 0,4
Левая нога	2,5 ± 0,8	2,6 ± 0,9	3,8 ± 0,4	2,8 ± 0,6	2,8 ± 0,8	4,0 ± 0,9	0,3 ± 0,3	0,2 ± 0,2	0,2 ± 0,2

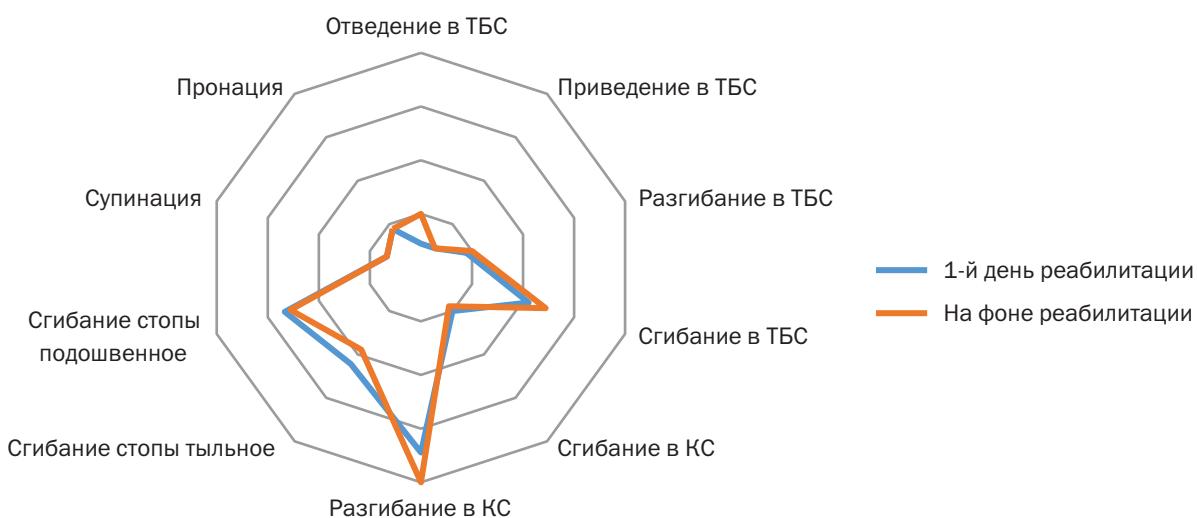


Рис. 3. Динамические показатели измерения амплитуды движений в тазобедренных, коленных и голеностопных суставах в процентном соотношении по гониометрии у пациентов группы II на фоне реабилитации
Примечание. ТБС — тазобедренный сустав; КС — коленный сустав.

Fig. 3. Dynamic indicators of measuring the amplitude of movements in the hip, knee and ankle joints as a percentage of goniometry in group II patients during rehabilitation
Note. HJ (TBC) — hip joint; KJ (KC) — knee joint.

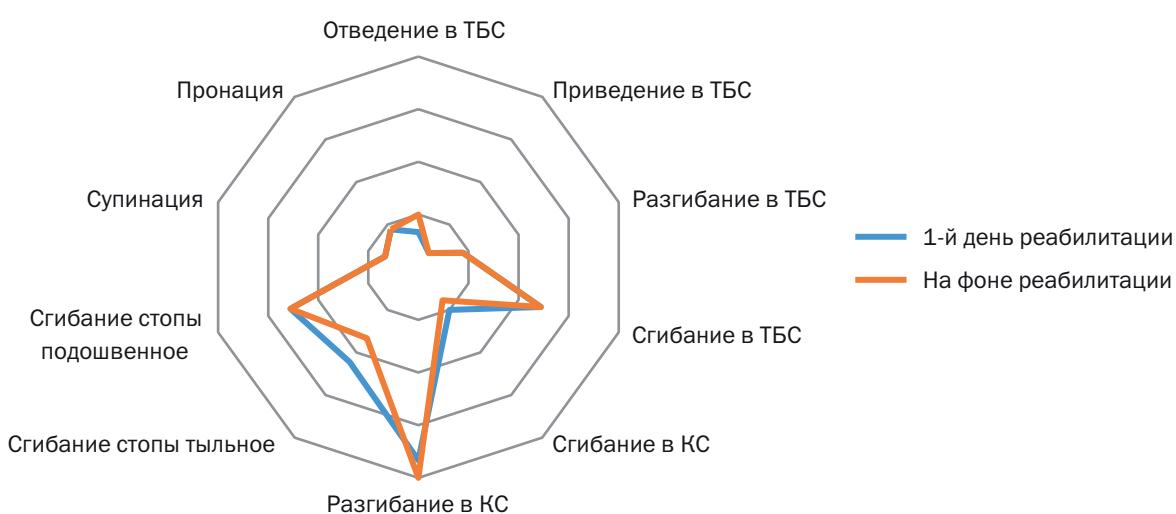


Рис. 4. Динамические показатели измерения амплитуды движений в тазобедренных, коленных и голеностопных суставах в процентном соотношении по гониометрии у пациентов группы III на фоне реабилитации
Примечание. ТБС — тазобедренный сустав; КС — коленный сустав.

Fig. 4. Dynamic indicators of measuring the amplitude of movements in the hip, knee and ankle joints as a percentage of goniometry in group III patients during rehabilitation
Note. HJ (TBC) — hip joint; KJ (KC) — knee joint.

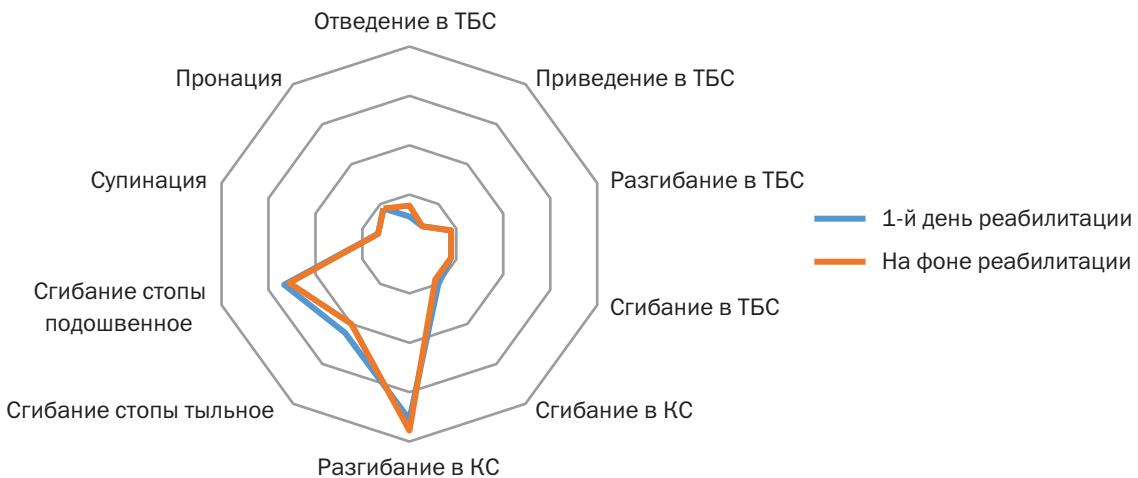


Рис. 5. Динамические показатели измерения амплитуды движений в тазобедренных, коленных и голеностопных суставах в процентном соотношении по гониометрии у пациентов группы I на фоне реабилитации
Примечание. ТБС — тазобедренный сустав; КС — коленный сустав.

Fig. 5. Dynamic indicators of measuring the amplitude of movements in the hip, knee and ankle joints as a percentage of goniometry in group I patients during rehabilitation
Note. HJ (TBC) — hip joint; KJ (KC) — knee joint.

Таблица 4. Оценка функциональной мобильности по шкалам в динамике по трем группам
Table 4. Assessment of functional mobility by scales in dynamics in three groups

Шкалы	1-й день реабилитации $M \pm SD$			10-й день реабилитации $M \pm SD$		
	Группа					
	I (n = 29)	II (n = 29)	III (n = 14)	I (n = 29)	II (n = 29)	III (n = 14)
HAI	4,4 ± 0,9	4,3 ± 0,8	4,0 ± 0,8	4,3 ± 1,6	3,9 ± 0,7	3,2 ± 0,6
TUG, с	22,34 ± 15,78	21,04 ± 16,12	23 ± 16,12	18,78 ± 15,54	16,06 ± 15,04	20 ± 16,12
OGS (для одной конечности)	12,8 ± 0,8	13,2 ± 0,7	13,1 ± 0,6	13,6 ± 0,7 ($p = 0,012$)	15,8 ± 0,9	16,3 ± 0,6

ла терапии составило у группы I 10,9 балла, у группы II — 9,4, у группы III — 8,9 балла; динамика изменений после 10-дневного курса реабилитации составила 12,4 ± 0,7 ($p = 0,012$), 13,8 ± 0,9 ($p = 0,008$), 13,7 ± 0,8 ($p = 0,007$) соответственно. Качество ходьбы и способность к удержанию равновесия определялись по тесту TUG (рис. 6). У пациентов группы II наблюдалась лучшая динамика по показателям, чем у детей групп I и III, что можно объяснить лучшей переносимостью индивидуализированных тренировок с экзоскелетом именно в этой возрастной категории. Оценка локомоторной функции по индексу HAI демонстрирует практически отсутствие положительной динамики у детей группы I.

Полученные в ходе подографического исследования показатели (табл. 5–7) свидетельствуют о статистически значимом улучшении походки у детей групп II и III в сравнении с детьми группы I, не получавшими занятий с экзоскелетом. Динамика зафиксирована в виде увеличения длины шага, уменьшения времени опоры на правую и левую ногу, снижения ширины шага и частоты шагов, улучшения равновесия и уменьшения асимметрии вертикальной позы и шага.

Также была прослежена биомеханическая динамика по параметрическим показателям непосредственно используемых экзоскелетов (табл. 8). Полученные изме-



Рис. 6. Пациент во время выполнения теста «Встань и иди»
Fig. 6. A patient during the timed “Up and Go” test

Таблица 5. Подографические показатели детей группы I (без применения экзоскелета)
Table 5. Podographic indicators of group I children (without the use of an exoskeleton)

Показатели		1-й день реабилитации <i>M ± SD</i>	10-й день реабилитации <i>M ± SD</i>	Значение <i>P</i>
Длина шага, м	Левая	0,318 ± 0,06	0,336 ± 0,08	0,050
	Правая	0,316 ± 0,07	0,349 ± 0,07	0,058
Ширина шага, м	–	0,18 ± 0,03	0,16 ± 0,05	0,049
Время опоры, мин	Левая	1,40 ± 0,18	1,39 ± 0,09	0,053
	Правая	1,41 ± 0,12	1,40 ± 0,1	0,055
Дистанция, м	–	345 ± 1,33	980 ± 1,99	0,025
Распределение веса, %	Левая	88,5 ± 0,38	96,4 ± 0,43	0,046
	Правая	91,6 ± 0,52	97,8 ± 0,52	0,051
Частота шагов, в мин	–	97 ± 0,85	78,5 ± 0,78	0,036

Таблица 6. Подографические измерения пациентов группы II

Table 6. Podographic measurements of group II patients

Показатели		1-й день реабилитации <i>M ± SD</i>	10-й день реабилитации <i>M ± SD</i>	Значение <i>P</i>
Длина шага, м	Левая	0,319 ± 0,04	0,397 ± 0,05	0,025
	Правая	0,315 ± 0,05	0,406 ± 0,04	0,028
Ширина шага, м	–	0,18 ± 0,04	0,27 ± 0,03	0,046
	Левая	1,36 ± 0,12	1,02 ± 0,15	0,0520
Время опоры, мин	Правая	1,41 ± 0,04	1,05 ± 0,03	0,051
	–	388 ± 1,24	1130 ± 1,98	0,028
Распределение веса, %	Левая	86,6 ± 0,42	98,7 ± 0,56	0,046
	Правая	93,4 ± 0,48	99,8 ± 0,77	0,044
Частота шагов, в мин	–	81 ± 0,08	67,6 ± 0,08	0,007

Таблица 7. Подографические измерения пациентов группы III (дети младшего возраста, получавшие индивидуализированные тренировки с экзоскелетом)

Table 7. Podographic measurements of group III patients (toddlers who received individualized exoskeleton training)

Показатели		1-й день реабилитации <i>M ± SD</i>	10-й день реабилитации <i>M ± SD</i>	Значение <i>P</i>
Длина шага, м	Левая	0,319 ± 0,04	0,397 ± 0,05	0,026
	Правая	0,315 ± 0,05	0,406 ± 0,04	0,028
Ширина шага, м	–	0,18 ± 0,04	0,27 ± 0,03	0,021
	Левая	1,36 ± 0,12	1,02 ± 0,15	0,031
Время опоры, мин	Правая	1,41 ± 0,04	1,05 ± 0,03	0,039
	–	388 ± 1,24	1130 ± 1,98	0,009
Распределение веса, %	Левая	86,6 ± 0,42	98,7 ± 0,56	0,039
	Правая	93,4 ± 0,48	99,8 ± 0,77	0,028
Частота шагов, в мин	–	81 ± 0,08	67,6 ± 0,08	0,008

нения были статистически значимы ($p < 0,05$) у детей групп II и III.

Сравнительная оценка биомеханических параметров показала, что интеграция экзоскелетного тренинга в реабилитационную программу позволяет достичь значительно лучших показателей; в то же время эффективность такой роботизированной механотерапии выше у пациентов дошкольной возрастной подгруппы (группа II) в сравнении с детьми самой младшей возрастной

категории (группа III). Данный результат может быть объяснен наличием у таких пациентов предварительного адаптационного опыта, связанного с вертикализацией. Значимая положительная динамика была отмечена по ключевым параметрам моторного развития: времени, которое пациент способен проводить в вертикальном положении, общей продолжительности и дистанции ходьбы, а также количеству совершаемых шагов.

Таблица 8. Биомеханика ходьбы в группах II и III (по показателям экзоскелетов)
Table 8. Biomechanics of walking in groups II and III (according to exoskeletons)

Параметры	1-й день реабилитации <i>M ± SD</i>		10-й день реабилитации <i>M ± SD</i>		Значение <i>P</i>	
	II (<i>n</i> = 29)	III (<i>n</i> = 14)	II (<i>n</i> = 29)	III (<i>n</i> = 14)	II (<i>n</i> = 29)	III (<i>n</i> = 14)
Время тренировки, мин	19,02 ± 0,05	17,02 ± 0,25	39,05 ± 0,06	23,12 ± 0,18	0,021	0,04
Активность, %	44,21 ± 0,09	42,05 ± 0,21	81,1 ± 0,04	54,10 ± 0,81	0,019	0,06
Скорость, км/ч	0,10 ± 0,03	0,08 ± 0,04	0,16 ± 0,02	0,1 ± 0,08	0,062	0,06
Время вертикализации, мин	15,3 ± 0,22	12,8 ± 0,19	31,1 ± 0,15	23,5 ± 0,45	0,014	0,05
Расстояние, м	90,2 ± 0,04	50,5 ± 0,12	184,6 ± 0,03	74,5 ± 0,25	0,012	0,49
Время ходьбы, мин	13,2 ± 1,24	10,8 ± 1,34	27,4 ± 1,98	18,5 ± 1,18	0,025	0,54
Шаги	348,2 ± 0,42	95 ± 0,68	696,3 ± 0,56	118,4 ± 0,52	0,023	0,06

Полученные данные позволяют предположить, что реабилитационный потенциал пациентов с ДЦП в период преддошкольного и дошкольного возраста может достигать наилучшего уровня, дети демонстрируют наибольшую адаптационную способность и выносливость в сравнении с младшей возрастной категорией пациентов, находящихся в периоде активного роста. Отдельно следует отметить тот факт, что дети самого младшего возраста, несмотря на индивидуализацию параметров и режимов, испытывали объективные трудности при проведении тренингов с экзоскелетом. Процесс освоения экзоскелета проходил сложнее и занимал более длительный период, в том числе вследствие потребности в адаптации, а также вследствие наличия значимых психологических факторов (пациенты самого младшего возраста демонстрировали симптомы страха, тревожности, для купирования которых требовались дополнительные «ознакомительные» и пробные тренировки).

ОБСУЖДЕНИЕ

Важным результатом проведенной научной работы является достижение улучшения динамических показателей движений в суставах конечностей у пациентов с ДЦП. Согласно результатам исследования, у пациентов с ДЦП после курса реабилитационных мероприятий с тренингами в экзоскелете наблюдалось существенное ($p < 0,05$) увеличение объемов движений в голеностопных суставах в тыльном сгибании, что свидетельствует об улучшении устойчивости тела в пространстве за счет большей площади опоры в связи с купированием эквивалентной установки стоп. Выявлена тенденция к коррекции стереотипа ходьбы — улучшение скоростных и временных показателей шагового цикла при оценке по шкале OGS с последующим ремоделированием фаз ходьбы. При норме 62% от всей продолжительности цикла шага на стороне более значительного поражения обнаружены значимое сокращение периода опоры (до 40% и менее) и, соответственно, возрастание на другой стороне. Корреляционный анализ, проведенный по окончании реабилитации, выявил статистически значимые связи между общим количеством тренингов в экзоскелете, динамикой индекса Хаузера ($p = 0,033$ у группы II, $p = 0,045$ у группы III), динамикой по тесту «Встань иди» ($p = 0,038$ у группы II, $p = 0,49$ у группы III). При оценке данных подографического исследования отмечено статистически значимое улучшение походки в виде увеличения длины шага, уменьшения времени опоры на правую и левую ногу, уменьшения

ширины шага и частоты шагов, улучшения равновесия за счет уменьшения асимметрии вертикальной позы и шага, при этом у пациентов групп II и III (получавших тренинги с экзоскелетом) отмечена лучшая динамика практически по всем показателям ($p < 0,05$) в сравнении с детьми, получавшими только комплекс стандартных реабилитационных воздействий. К концу реабилитации наблюдалась положительная динамика баланса при вертикализации за счет повышения синхронизации функций нижних конечностей и более симметричного распределения нагрузки на них.

Таким образом, у всех пациентов после локомоторного тренинга повысилась так называемая упорядоченность временных характеристик шагового цикла и произошли изменения устойчивости их вертикализации в положении стоя и в момент походки в сторону нормализации. На основании динамических показателей можно сделать заключение и об улучшении постурального контроля пациентов в исследовании, получивших полный курс индивидуализированной комплексной реабилитации с применением экзоскелета.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

До настоящего момента нет единого унифицированного способа — стандартизованной методики для лечения и реабилитации детей с ДЦП, продолжаются исследования как отдельных методик, так и возможности применения и оценки преимуществ комплексных восстановительных программ.

Уникальность полученных в работе результатов обеспечена тем, что впервые в качестве объекта выделены и изучены когорты детей раннего и дошкольного возраста, проведена оценка реабилитационного потенциала экзоскелетных технологий у детей данных групп.

Полученные данные раскрывают двухуровневую картину адаптации: если организм в более старшем возрасте демонстрирует большую устойчивость и адаптацию к стандартным нагрузкам, то растущий организм (дети младшего возраста) обладает уникальным преимуществом — повышенным потенциалом нейропластичности. Это подтверждается объективными данными: у детей младшего возраста динамические показатели гониометрии и шкал оценки походки улучшались значительно, что свидетельствует о более гибких механизмах восстановления двигательного контроля, несмотря на общую меньшую выносливость.

Именно эта особенность растущего организма диктует необходимость повышенного внимания к детям младшей возрастной группы, реабилитационные программы

которых должны быть основаны на инициальной и динамической оценке антропометрических, соматических и нейропсихических параметров пациента и требуют особенно тщательного дозирования и контроля физиологических возможностей.

Таким образом, работа восполняет дефицит данных не только о специфике восстановительной терапии с применением экзоскелета для этой наиболее сложной и ранее не изучавшейся в подобном контексте категории пациентов, но и в целом о возможностях роботизированной механотерапии для детей с двигательными нарушениями.

Проведенный анализ эффективности экзоскелет-ассистированной реабилитации у детей младшего и дошкольного возраста в сравнении с традиционными методами восстановительного лечения, в том числе индивидуализированными, комплексными, позволил не только констатировать эффект, но и выявить вероятные предикторы успешной реабилитации с использованием экзоскелета для данной категории пациентов (возраст инициации вмешательств и положительный опыт ранней вертикализации пациента). Ранее подобные системные исследования в данной возрастной когорте не проводились. Масштабирование разработанной мультидисциплинарной реабилитационной программы, включающей персонализированный выбор методик роботизированной механотерапии для детей раннего и дошкольного возраста с двигательными нарушениями, позволит значительно улучшить возможности абилитации и реабилитации таких пациентов и их качество жизни.

ВКЛАД АВТОРОВ

У.Ш. Ашрафова — определение концепции, анализ данных, написание черновика рукописи, редактирование.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Быкова О.В., Платонова А.Н., Баланская С.В., Батышева Т.Т. Детский церебральный паралич и эпилепсия: подходы к лечению и реабилитации // Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. Спецвыпуски. — 2014. — Т. 112. — № 7-2. — С. 25–34. [Bykova OV, Platonova AN, Balkanskaia SV, Batysheva TT. Children cerebral palsy and epilepsy: approaches to treatment and rehabilitation. S.S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry. 2012;112(7-2):64–70. (In Russ.)]
- Щербак С.Г., Терешин А.Е., Голота А.С., Крассий А.Б. Вертикализация: обоснование ключевой роли в общей системе реабилитации // Медицинский алфавит. — 2010. — Т. 1. — № 4. — С. 32–34. [Shcherbak SG, Tereshin AE, Golota AS, Krassii AB. Vertikalizatsiya: obosnovanie klyuchevoy roli v obshchei sisteme reabilitatsii. Medical alphabet. 2010;1(4):32–34. (In Russ.)]
- Schindl MR, Forstner C, Kern H, Hesse S. Treadmill training with partial body weight support in nonambulatory patients with cerebral palsy. *Arch Phys Med Rehabil.* 2000;81(3):301–306. doi: [https://doi.org/10.1016/s0003-9993\(00\)90075-3](https://doi.org/10.1016/s0003-9993(00)90075-3)
- Angulo-Barroso R, Burghardt AR, Lloyd M, Ulrich DA. Physical activity in infants with Down syndrome receiving a treadmill intervention. *Infant Behav Dev.* 2008;31(2):255–269. doi: <https://doi.org/10.1016/j.infbeh.2007.10.003>
- Bryce M. Muscles Alive: Their Functions Revealed by Electromyography. APTA. 1963;43(4):306–307. doi: <https://doi.org/10.1093/ptj/43.4.306a>
- Даминов В.Д., Ткаченко П.В. Экзоскелеты в медицине: мировой опыт и клиническая практика Пироговского Центра // Вестник Национального медико-хирургического Центра им. Н.И. Пирогова. — 2017. — Т. 12. — № 4-2. — С. 17–22. [Daminov VD, Tkachenko PV. Exoskeletons in medicine: world experience and clinical practice of the Pyrogov Center. Bulletin of Pyrogov National Medical & Surgical Center. 2017;12(4-2):17–22. (In Russ.)]
- Straudi S, Fanciullacci C, Martinuzzi C, et al. The effects of robot-assisted gait training in progressive multiple sclerosis: A randomized controlled trial. *Mult Scler.* 2016;22(3):373–384. doi: <https://doi.org/10.1177/1352458515620933>
- Angulo-Barroso R, Burghardt AR, Lloyd M, Ulrich DA. Physical activity in infants with Down syndrome receiving a treadmill intervention. *Infant Behav Dev.* 2008;31(2):255–269. doi: <https://doi.org/10.1016/j.infbeh.2007.10.003>
- Ашрафова У.Ш., Куприянова О.С., Кармазина Е.К. и др. Персонализированный подход к применению методов роботизированной механотерапии у детей с церебральным параличом разных возрастных групп: обзор литературы // Педиатрическая фармакология. — 2023. — Т. 20. — № 6. — С. 588–596. — doi: <https://doi.org/10.15690/pf.v20i6.2668> [Ashraphova USh, Kupriianova OS, Karmazina EK, et al. A personalized approach to application of robotic mechanotherapy methods in children with cerebral palsy of different age groups (review). *Pediatric pharmacology. farmakologiya* — Pediatric pharmacology. 2023;20(6):588–596. (In Russ.). doi: <https://doi.org/10.15690/pf.v20i6.2668>]
- Beretta E, Storm FA, Strazzer S, et al. Effect of Robot-Assisted Gait Training in a Large Population of Children With Motor Impairment Due to Cerebral Palsy or Acquired Brain Injury. *Arch Phys Med Rehabil.* 2020;101(1):106–112. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2019.08.479>
- Герцик Ю.Г., Иванова Г.А., Суворов А.Ю. Методики и аппаратура для активно-пассивной механотерапии в здоровье сберегающих технологиях // Гуманитарный вестник. — 2013. — Вып. 4. — С. 1–6. [Gertsik YuG, Ivanova GE, Suvorov AYu. Methods and instruments for active-passive mechanotherapy in health-saving technologies. *Humanities bulletin of BMSTU.* 2013;(4):1–6. (In Russ.).] Доступно по: <https://hmbul.bmstu.ru/catalog/prmed/hidden/57.html>. Ссылка активна на 15.12.2025.

А.М. Мамедьяров — изучение и анализ данных, пересмотр и редактирование рукописи.

Е.К. Кармазина — работа с данными, редактирование рукописи.

О.А. Клочкова — анализ данных, пересмотр и редактирование рукописи.

AUTHORS' CONTRIBUTION

Ulviya Sh. Ashrafova — definition of the concept, data analysis, writing a draft manuscripts, editing.

Ayaz M. Mamedyarov — study and analysis of data, revision and editing of the manuscript.

Elena K. Karmazina — working with data, editing the manuscript.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Отсутствует.

FINANCING SOURCE

Not specified.

РАСКРЫТИЕ ИНТЕРЕСОВ

Авторы статьи подтвердили отсутствие конфликта интересов, о котором необходимо сообщить.

DISCLOSURE OF INTEREST

Not declared.

ORCID

У.Ш. Ашрафова

<https://orcid.org/0000-0003-1721-5609>

А.М. Мамедьяров

<https://orcid.org/0000-0003-0818-6906>

Е.К. Кармазина

<https://orcid.org/0000-0003-1849-0979>

О.А. Клочкова

<https://orcid.org/0000-0002-4079-3450>

12. Ашрафова У.Ш., Мамедьяров А.М., Кармазина Е.К. и др. Эффективность применения ручного тренажера HandTutor и стабилометрического постурального контроля с использованием метода биологической обратной связи у детей дошкольного и младшего школьного возраста с церебральным параличом // *Педиатрическая фармакология*. — 2024. — Т. 21. — № 6. — С. 481–491. — doi: <https://doi.org/10.15690/pf.v21i6.2839> [Ashrafova USh, Mamedyarov AM, Karmazina EK, et al. The Effectiveness of Using the HandTutor Hand Simulator and Stabilometric Postural Control Using the Biofeedback Tear in Preschool and Primary School Children with Cerebral Palsy. *Pediatriccheskaya farmakologiya — Pediatric pharmacology*. 2024;21(6):481–491. (In Russ). doi: <https://doi.org/10.15690/pf.v21i6.2839>]
13. Yoo JW, Lee DR, Cha YJ, You SH. Augmented effects of EMG biofeedback interfaced with virtual reality on neuromuscular control and movement coordination during reaching in children with cerebral palsy. *NeuroRehabilitation*. 2017;40(2):175–185. doi: <https://doi.org/10.3233/NRE-161402>
14. Ларина Н.В., Павленко В.Б., Корсунская Л.Л. и др. Возможности реабилитации детей с синдромом ДЦП с применением роботизированных устройств и биологической обратной связи // *Бюллетень сибирской медицины*. — 2020. — Т. 19. — № 3. — С. 156–165. — doi: <https://doi.org/10.20538/1682-0363-2020-3-156-165> [Larina NV, Pavlenko VB, Korsunskaya LL, et al. Rehabilitation possibilities for children with cerebral palsy through the use of robotic devices and biofeedback. *Bulletin of Siberian Medicine*. 2020;19(3):156–165. (In Russ). doi: <https://doi.org/10.20538/1682-03632020-3-156-165>]
15. Воробьев А.А., Засыпкина О.А., Кривоножкина П.С. и др. Экзоскелет — состояние проблемы и перспективы внедрения в систему абилитации и реабилитации инвалидов (аналитический обзор) // *Вестник Волгоградского государственного медицинского университета*. — 2015. — № 2. — С. 9–17. [Vorobiev AA, Zasypkina OA, Krivonozhkina PS, et al. Current use of exoskeleton and prospects of its implementation in habilitation and rehabilitation of disabled people (analytical review). *Journal of Volgograd State Medical University*. 2015;(2):9–17. (In Russ).]
16. Delgado E, Cumplido C, Ramos J, et al. ATLAS2030 Pediatric Gait Exoskeleton: Changes on Range of Motion, Strength and Spasticity in Children With Cerebral Palsy. A Case Series Study. *Front Pediatr*. 2021;9:753226. doi: <https://doi.org/10.3389/fped.2021.753226>
17. Cumplido-Trasmonte C, Ramos-Rojas J, Delgado-Castillejo E, et al. Effects of ATLAS 2030 gait exoskeleton on strength and range of motion in children with spinal muscular atrophy II: a case series. *J Neuroeng Rehabil*. 2022;19(1):75. doi: <https://doi.org/10.1186/s12984-022-01055-x>
18. Palisano R, Rosenbaum P, Walter S, et al. Development and reliability of a system to classify gross motor function in children with cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol*. 1997;39(4):214–223. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.1997.tb07414.x>
19. Федоров А.В. Краткая история создания экзоскелетов // *Наука, техника и образование*. — 2017. — № 3. — С. 71–73. [Fedorov AV. Brief history of exoskeletons. *Nauka, tekhnika i obrazovanie*. 2017;(3):71–73. (In Russ).]
20. Moon BH, Kim JiW. Effects of WALKBOT Robotic Locomotor Training on Balance, Gait in Chronic Stroke. *Asia-pacific Journal of Convergent Research Interchange*. 2023;9(12):391–400. doi: <https://doi.org/10.47116/apcri.2023.12.32>
21. Петрова Л.Н., Шевцов А.В., Петров А.А., Яхин Д.Х. Опыт разработки пассивного экзоскелета для реабилитации нижних конечностей у детей с ДЦП // *Человек. Спорт. Медицина*. — 2019. — Т. 19. — № S2. — С. 103–109. — doi: <https://doi.org/10.14529/hsm19s214> [Petrova LN, Shevtsov AV, Petrov AA, Yakhin DKh. The Development of a Passive Exoskeleton for Rehabilitation of the Lower Extremities in Children with Cerebral Palsy. *Human. Sport. Medicine*. 2019;19(S2):103–109. (In Russ). doi: <https://doi.org/10.14529/hsm19s214>]
22. 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> [Nefedeva DL, Abdراхманова 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. (In Russ). doi: <https://doi.org/10.36425/rehab631151>]
23. Sukal-Moulton T, Krosschell KJ, GaeblerSpira DJ, Dewald JP. Motor Impairment Factors Related to Brain Injury Timing in Early Hemiparesis. Part I: Expression of Upper-Extremity Weakness. *Neurorehab Neural Repair*. 2014;28(1):13–23. doi: <https://doi.org/10.1177/1545968313500564>
24. Супонева Н.А., Юсупова Д.Г., Ильина К.А. и др. Валидация Модифицированной шкалы Эшвортса (Modified Ashworth Scale) в России // *Анналы клинической и экспериментальной неврологии*. — 2020. — Т. 14. — № 1. — С. 89–96. — doi: <https://doi.org/10.25692/ACEN.2020.1.10> [Suponeva NA, Yusupova DG, Illyina KA, et al. Validation of the Modified Ashworth scale in Russia. *Annals of clinical and experimental neurology*. 2020;14(1):89–96. (In Russ). doi: <https://doi.org/10.25692/ACEN.2020.1.10>]
25. John J. Grading of muscle power: comparison of MRC and analogue scales by physiotherapists. *Medical Research Council. Int J Rehabil Res*. 1984;7(2):173–181.
26. Pfeiffer G, Wicklein EM, Ratusinski T, et al. Disability and quality of life in Charcot-Marie-Tooth disease type 1. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 2001;70(4):548–550. doi: <https://doi.org/10.1136/jnnp.70.4.548>
27. Podsiadlo D, Richardson S. The timed “Up & Go”: a test of basic functional mobility for frail elderly persons. *J Am Geriatr Soc*. 1991;39(2):142–148. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.1991.tb01616.x>
28. Dhote SN, Khatri PA, Ganvir SS. Reliability of “Modified timed up and go” test in children with cerebral palsy. *J Pediatr Neurosci*. 2012;7(2):96–100. doi: <https://doi.org/10.4103/1817-1745.102564>

Статья поступила: 15.10.2025, **принята к печати:** 16.12.2025

The article was submitted 15.10.2025, accepted for publication 16.12.2025

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / ABOUT THE AUTHORS

Ашрафова Ульвия Шахиновна [Ulviia Sh. Ashraphova, MD]; **адрес:** 119333, г. Москва, ул. Фотиевой, д. 10, стр. 1.

[address: 10, Fotievoi Str., building 1, Moscow, 119333, Russian Federation]; **телефон:** +7 (968) 492-44-56;

e-mail: doc.ashrafova@gmail.com; **e-Library SPIN:** 1711-8463

Мамедьяров Аяз Магеррамович, к.м.н. [Aiaz M. Mamedieiarov, MD, PhD]; **e-mail:** ayaz.mamedyarov@yandex.ru

Кармазина Елена Константиновна [Elena K. Karmazina, MD]; **e-mail:** lekarma@mail.ru

Ключкова Ольга Андреевна, к.м.н. [Olga A. Klochkova, MD, PhD]; **e-mail:** dc.klochkova@gmail.com;

e-Library SPIN: 2999-4404