

5. Cure SMA. State of SMA: 2024 Report. – [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.curesma.org> (дата обращения: 10.05.2025).
6. Поленова В. С., Мусаева И. А., Кожаметова С. А. Международные отношения в сфере здравоохранения и медико-социальной сфере на примере Центра генных дерматозов Центральной Азии // ОРГЗДРАВ: Новости. Мнения. Обучение. Вестник ВШОУЗ. – 2024. – Т. 10. – № 4 (38). – С. 102–115.
7. Schroth M.K., Harrell J.M., Chang T., et al. Spinal muscular atrophy update in best practices: Treatment considerations // Neurology: Clinical Practice. – 2024. – Vol. 14, No. 4. – P. e200310.
8. Glascock J., Sampson J., Haidet-Phillips A., et al. Revised recommendations for the treatment of infants diagnosed with spinal muscular atrophy via newborn screening who have 4 copies of SMN2 // Journal of Neuromuscular Diseases. – 2020. – Vol. 7, No. 2. – P. 97–100.
9. Полевиченко Е. В. Клинические рекомендации «Проксимальная спинальная мышечная атрофия 5q» (2020): знать и выполнять // Pallium: паллиативная и хосписная помощь. – 2020. – № 3. – С. 14–18.
10. Wang L., Zhang L. Circulating microRNAs as diagnostic biomarkers for motor neuron disease // Frontiers in Neuroscience. – 2020. – Vol. 14. – P. 354.
11. Mendell J.R., Al-Zaidy S.A., Shell R., et al. Single-dose gene-replacement therapy for spinal muscular atrophy // New England Journal of Medicine. – 2017. – Vol. 377, No. 18. – P. 1713–1722.
12. Finkel R.S., Chiriboga C.A., Vajsar J., et al. Treatment of infantile-onset spinal muscular atrophy with nusinersen: a phase 2, open-label, dose-escalation study // The Lancet. – 2016. – Vol. 388, No. 10063. – P. 3017–3026.
13. Mercuri E., Finkel R.S., Muntoni F., et al. Diagnosis and management of spinal muscular atrophy: Part 1. Recommendations for diagnosis, rehabilitation, orthopedic and nutritional care // Neuromuscular Disorders. – 2018. – Vol. 28, No. 2. – P. 103–115.
14. Verhaart I.E.C., Robertson A., Wilson I.J., et al. Prevalence, incidence and carrier frequency of 5q-linked spinal muscular atrophy – a literature review // Orphanet Journal of Rare Diseases. – 2017. – Vol. 12. – P. 124.
15. Bagga P., McKee D., Xu J., et al. Diving into progress: A review on current therapeutic advancements in spinal muscular atrophy // Frontiers in Neurology. – 2024. – Vol. 15. – Article ID 1368658.

УДК 615.477:616:-036.86-053.2

БАЛАЛАРҒА АРНАЛҒАН ЭКЗОСКЕЛЕТ АППАРАТТАРЫН РЕАБИЛИТАЦИЯДА ҚОЛДАНУ

Жангабулова Б.А.¹, Қуатханов Д.Б.², Жумадилова Ш.К.², Толеубекова Г.М.²,
Тлеулинова Р.Р.³

¹ «Ұлттық балаларды оңалту орталығы» КеАҚ Роботталған оңалту зертханасының аға мейіргері, Астана қ., Қазақстан

² «Ұлттық балаларды оңалту орталығы» КеАҚ Роботталған оңалту зертханасының маманы, Астана қ., Қазақстан

³ «Ұлттық балаларды оңалту орталығы» КеАҚ Мейіргерлік іс жөніндегі директор, Астана қ., Қазақстан

Түйіндеме. Мақала педиатриялық экзоскелеттік реабилитацияның тиімділігіне арналған кешенді шолу болып табылады. Балалардағы экзоскелеттердің нейрофизиологиялық әсер ету тетіктері, нейропластика мен моторлық үлгілердің өзгеру ерекшеліктері қарастырылады. EchoAtlet Bambini, Lokomat Junior және Hal for Pediatric құрылғыларының техникалық сипаттамасы салыстырмалы түрде берілген. Халықаралық стандарттарға негізделген реабилитациялық бағдарламалардың құрылымы мен дараландыру өлшемдері сипатталады. Randomized Controlled Trial (RCT), Gross Motor Function Measure (GMFM), Электромиография (ЭМГ) және Functional Magnetic Resonance Imaging (fMRI) деректерімен дәлелденген нәтижелер келтірілген. Медбикелердің қауіпсіздікке, науқастың бейімделуіне және ата-аналарды үйретуге қатысу рөлі ерекше атап өтіледі. Сондай-ақ ұйымдық, этикалық және экономикалық мәселелер қамтылған. Зерттеу нақты клиникалық деректерге негізделген.

Түйін сөздер: экзоскелет, педиатрия, реабилитация, нейропластика, EchoAtlet, мультидисциплинарлық топ, физиотерапия.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭКЗОСКЕЛЕТНОГО АППАРАТА В ДЕТСКОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ

Жангабулова Б.А.¹, Куатханов Д.Б.², Жумадилова Ш.К.², Толеубекова Г.М.²,
Тлеулинова Р.Р.³

¹ Старшая медицинская сестра Лаборатории роботизированной реабилитации НАО «Национальный центр детской реабилитации», г.Астана, Казахстан

² Специалист Лаборатории роботизированной реабилитации НАО «Национальный центр детской реабилитации», г.Астана, Казахстан

³ Директор по сестринскому делу НАО «Национальный центр детской реабилитации», г.Астана, Казахстан

Резюме. Статья представляет собой системный междисциплинарный обзор эффективности применения экзоскелетных аппаратов в педиатрической реабилитации. Рассматриваются нейрофизиологические механизмы действия экзоскелетов у детей, включая особенности нейропластичности и перестройки двигательных паттернов. Представлена сравнительная техническая характеристика современных педиатрических экзоскелетов: ExoAtlet Bambini, Lokomat Junior и Hal for Pediatric. Подробно описана структура реабилитационного курса, основанного на международных протоколах, и критерии его индивидуализации. Приведён анализ доказательной базы с использованием Randomized Controlled Trial (RCT), Gross Motor Function Measure (GMFM), Электромиография (EMG) и Functional Magnetic Resonance Imaging (fMRI). Особое внимание уделено роли медицинских сестёр как координаторов безопасности, клинической адаптации и семейного сопровождения. Затронуты организационно-этические и экономические аспекты внедрения. Работа базируется на данных клинических исследований и поднимает вопрос подготовки персонала для мультидисциплинарной экзорехабилитации.

Ключевые слова: экзоскелет, педиатрия, реабилитация, нейропластичность, двигательная терапия, ExoAtlet, мультидисциплинарная команда, нейрофизиология.

THE USE OF EXOSKELETON DEVICES IN PEDIATRIC REHABILITATION

Zhangabulova B.A.¹, Kuatkhanov D.B.², Zhumadilova S.K.², Toleubekova G.M.², Tleulinova R.R.³

¹ Senior nurse of the Laboratory of Robotic Rehabilitation of NJSC "National Center for Children's Rehabilitation", Astana, Kazakhstan

² Specialist of the Laboratory of Robotic Rehabilitation of NJSC "National Center for Children's Rehabilitation", Astana, Kazakhstan

³ Director of Nursing of NJSC "National Center for Children's Rehabilitation", Astana, Kazakhstan

Abstract. This paper provides a comprehensive interdisciplinary review of the effectiveness of exoskeleton use in pediatric rehabilitation. It explores the neurophysiological mechanisms behind their application in children, focusing on neuroplasticity and motor pattern restructuring. A comparative analysis of ExoAtlet Bambini, Lokomat Junior, and Hal for Pediatric is presented. The structure of rehabilitation protocols and criteria for personalization based on international standards are outlined. Evidence is supported by recent Randomized Controlled Trial (RCT)s, Gross Motor Function Measure (GMFM) scores, Electromyography (EMG), and Functional Magnetic Resonance Imaging (fMRI) data. Special emphasis is placed on the role of nursing professionals in ensuring safety, monitoring, and guiding parental involvement. The study also addresses the ethical, economic, and organizational aspects of integrating robotic rehabilitation into clinical practice. The article is grounded in peer-reviewed clinical research and highlights personnel training requirements for multidisciplinary pediatric care.

Keywords: exoskeleton, pediatric rehabilitation, neuroplasticity, gait therapy, ExoAtlet, nursing role, clinical protocols.

Корреспондент-автор: Жангабулова Б.А., Старшая медицинская сестра Лаборатории роботизированной реабилитации НАО «Национальный центр детской реабилитации», г.Астана, Казахстан

Адрес: г.Астана, проспект Туран 36

Контактный телефон: +7 702 465 88 38

E-mail: bakytzangabulova185@gmail.com

Введение

По оценкам Всемирной организации здравоохранения и UNICEF, около 317 миллионов детей в мире сталкиваются с различными формами инвалидности, причём двигательные расстройства занимают значительное место в этой статистике [1]. Наиболее частой причиной моторной инвалидизации остаётся церебральный паралич, распространённость которого достигает от 1 до 4 случаев на 1000 живорождений. В США, например, диагноз ЦП подтверждается у одного из каждых 345 детей, согласно CDC [1]. Интерес к нейроробототехнике в педиатрической реабилитации объясняется не столько технологической модой, сколько реальной потребностью в функциональных, воспроизводимых и безопасных инструментах терапии. Систематический анализ Hunt и соавт. показал, что экзоскелеты демонстрируют устойчивые улучшения параметров походки у детей с ЦП, особенно в части симметрии шагов и устойчивости [2].

Не стоит путать экзоскелетную терапию с традиционными средствами пассивной поддержки. В отличие от ортезов или классических тренажёров, экзоскелеты включают активную сенсорную обратную связь и способствуют формированию новых двигательных паттернов. Исследование Villani и коллег подтвердило это: у детей, проходящих тренировки с экзоскелетом, наблюдались характерные изменения электромиографических сигналов, отражающих активацию глубоких мышц [3]. В последние годы особое внимание уделяется мягким экзоскелетам — лёгким и гибким конструкциям, адаптированным под детскую физиологию. В рандомизированном исследовании Hui и соавт. зафиксировано значимое улучшение моторной функции у детей со спастической формой ЦП после курса терапии с использованием мягкого экзоскелета [4].

Отдельно стоит упомянуть результаты работы Delgado и соавт., где описан клинический эффект от применения модели ATLAS2030: зафиксированы улучшения в диапазоне движений, прирост мышечной силы и снижение выраженности спастичности у педиатрических пациентов [5].

Фокус настоящего исследования сосредоточен на междисциплинарном анализе экзоскелетной терапии в педиатрии: от нейрофизиологических механизмов действия до инженерных характеристик и организационно-сестринской роли в реабилитационном процессе. В отличие от описательных обзоров конкретных устройств, настоящая работа стремится раскрыть взаимосвязь между физиологическим откликом, технологической реализацией и клиническими результатами в едином аналитическом поле.

Нейрофизиологические механизмы действия экзоскелетов у детей

Нейропластичность детского мозга — это не просто адаптивный ресурс, а ключевой механизм восстановления утраченных функций. В работе Боброва П.Д. и соавт. описано, как интерфейс «мозг–компьютер», совмещённый с экзоскелетом кисти, активирует моторные зоны даже при выраженной двигательной дисфункции, запуская процессы перестройки нейронных связей [6]. Это позволяет мозгу ребёнка буквально «переучиваться» двигаться заново. Когда речь заходит о центральной перестройке, нельзя игнорировать значимость многократной ритмичной стимуляции. Воробьёв А.А. и коллеги подчёркивают, что повторяющаяся локомоторная нагрузка в экзоскелете способна формировать альтернативные нейросети, компенсирующие дефектные тракты у пациентов с ДЦП [7]. Именно в этом — суть нейрореабилитационной терапии: движение как обучающий фактор.

Обратная связь и сенсорное сопровождение — ещё один фундаментальный аспект. Устройство Walkbot, по данным Нефедовой Д.Л. и соавт., активно использует биологическую обратную связь, что способствует вовлечённости пациента и усилению моторного ответа [8]. Экзоскелет становится не просто носимым устройством, а посредником между мышечной активностью и нейронной реакцией. Функциональная МРТ и ЭМГ — не вспомогательные методы, а инструменты объективной верификации. Именно с их помощью фиксируются изменения в мозговой активации и мышечных паттернах, что позволяет не только видеть результат, но и понять, за счёт чего он возникает. Это превращает экзореабилитацию в научно управляемый процесс.

Классификация и технические характеристики педиатрических экзоскелетов

Классификация роботизированных устройств, применяемых в педиатрической реабилитации, базируется на принципе взаимодействия с телом пациента. С одной стороны — это системы с конечными эффектами, воздействующие опосредованно через платформы и направляющие. С другой — экзоскелеты, точно повторяющие анатомическую конфигурацию конечностей. В отличие от стационарных ортезов, экзоскелеты позволяют контролировать биомеханику суставов и активировать локомоторные шаблоны у детей, включая при этом нейрофизиологические механизмы пластичности [9]. Такие устройства ориентированы не только на поддержку, но и на обучение движениям.

ExoAtlet Bambini представляет собой активный наружный скелет, адаптированный под параметры растущего организма. Он предназначен для детей ростом от 115 до 155 см и используется

преимущественно при тяжёлых формах двигательной недостаточности. Технически устройство снабжено сервоприводами, обеспечивающими сгибание и разгибание в тазобедренных и коленных суставах, с контролем через встроенные датчики угла и усилия. Это делает его применимым в восстановительной терапии при ДЦП и после спинальных травм [9]. Lokomat Junior от компании Hocoma — пример устройства, сочетающего экзоскелетные элементы с динамической системой разгрузки массы тела. Каждый этап движения контролируется программно, с возможностью варьировать амплитуду шага, частоту, силу направляющего усилия и степень поддержки. Это позволяет точно дозировать нагрузку в зависимости от клинической картины. Тренировки проводятся на беговой дорожке, в закрытом контуре, с контролем со стороны оператора [10].

HAL for Pediatric от Cyberdyne кардинально отличается по принципу управления. Он анализирует биоэлектрическую активность мышц, улавливая сигнал, идущий от мозга, до фактического мышечного сокращения. Благодаря этому HAL может инициировать движение даже у детей с выраженными двигательными ограничениями, сохранившими только волевые попытки активации. Такая схема управления даёт преимущество в формировании нейромоторной памяти [10]. В центре конструктивного решения современных педиатрических экзоскелетов — адаптивное управление. Системы способны автоматически регулировать уровень помощи в зависимости от усилий пациента, используя алгоритмы обратной связи. В работе Chen и соавт. продемонстрировано, что экзоскелеты с модульными приводами и адаптивной логикой значительно повышают эффективность терапии: у детей улучшается устойчивость при ходьбе и активизируются задействованные ранее неактивные мышечные группы [11].

Важно отметить разнообразие режимов работы таких систем. Они могут функционировать в пассивном режиме — когда движения задаются программно, в активном — при частичном участии пациента, и в активном с поддержкой — где усилия пациента усиливаются или корректируются. Эти режимы не просто меняют степень вмешательства устройства, но и влияют на принципы нейрофизиологического восстановления. Сенсорные модули играют решающую роль в безопасности и эффективности работы экзоскелета. Они фиксируют биомеханические параметры в реальном времени: угол сгибания, скорость, моменты усилий, мышечную активность. На основе этих данных программное обеспечение может корректировать шаблон движения, исключая перегрузку или неестественные положения. Технические характеристики не ограничиваются приводами. Важна система стабилизации корпуса и нижних конечностей. В Lokomat она реализована за счёт системы подвески с точной балансировкой массы тела. В ExoAtlet и HAL используются механические фиксаторы, интегрированные в каркас устройства, что обеспечивает вертикализацию при слабости мышечного тонуса.

Методология применения экзоскелетов в реабилитационной программе

Вопрос методологического применения экзоскелетов в педиатрической реабилитации требует строгого соответствия функциональному статусу пациента. Практика показывает, что наибольшую клиническую эффективность технология демонстрирует у детей с диагнозом детский церебральный паралич II–IV уровня по GMFCS. Такие пациенты сохраняют частичную опору, могут следовать инструкциям и участвовать в активных локомоторных тренировках. Письменная Е.В. с коллегами уточняет, что наличие когнитивных нарушений и отсутствие устойчивости в положении стоя без поддержки снижают результативность терапии [12]. Кроме того, в число противопоказаний входят выраженные контрактуры, нестабильность тазобедренного сустава, судорожный синдром и свежие переломы.

Планирование курса начинается с подбора продолжительности и частоты занятий. В клинической практике наиболее часто используются протоколы от 4 до 10 недель, при 2–3 тренировках в неделю, каждая из которых длится около часа. По данным Воробьёва А.А., такой темп позволяет минимизировать усталость и избежать перегрузки со стороны опорно-двигательного аппарата, особенно при первых этапах включения в вертикализацию [13]. Каждая сессия условно делится на несколько блоков: подготовка и фиксация пациента, ходьба в экзоскелете, элементы активной коррекции осанки и завершающее пассивное растяжение. Эта структура обеспечивает комплексное воздействие на разные компоненты моторного контроля.

Подход к индивидуализации тренинга основывается на множестве параметров — начиная от возраста и роста ребёнка, заканчивая моторными целями и прогнозируемым эффектом. В младшей возрастной группе акцент смещается в сторону базовой стабилизации туловища и сенсорной интеграции. В подростковом возрасте возможна реализация более сложных паттернов — с опорой на биологическую обратную связь и саморегуляцию движений. Такие настройки особенно актуальны для

пациентов с сохранённой ментальной активностью и остаточной двигательной функцией нижних конечностей [13].

Формат протоколов может строиться на основании модели ICF (International Classification of Functioning, Disability and Health), адаптированной под детскую категорию. В этой модели важны не только физиологические параметры, но и уровень активности ребёнка, его участие в социальной среде и повседневной жизни. Например, одной из целей может быть повышение количества независимых шагов за одну сессию или уменьшение времени двойной опоры при ходьбе. В работе Даминова В.Д. подчеркивается необходимость включения в протокол задач по реконструкции паттернов ходьбы с обязательной нейромоторной коррекцией на каждом этапе [14].

Отдельного внимания заслуживает инструментальный контроль динамики. В большинстве центров оценка прогресса проводится по шкалам GMFM-88 и GMFM-66, позволяющим фиксировать изменения в двигательной функции с высокой степенью чувствительности. Кроме того, в арсенал входят PEDI-CAT, 3D-оценка походки и данные о мышечной активности, снятые с помощью ЭМГ. Такая многоуровневая система контроля позволяет объективизировать результаты и своевременно корректировать нагрузку. Важно подчеркнуть, что терапевтический эффект экзоскелетной реабилитации не является линейным — он зависит от строго соблюдаемой адаптационной логики и правильного распределения моторных задач в рамках курса.

Доказательная база и клинические эффекты

Клинические эффекты и доказательная база экзоскелетной терапии в детской реабилитации формируются на пересечении современных инженерных решений и строгих медицинских критериев. Одним из наиболее убедительных примеров является рандомизированное контролируемое исследование с участием 40 детей со спастическим церебральным параличом. Применение мягкого экзоскелета в дополнение к традиционным методам дало прирост двигательной функции нижних конечностей, измеряемый через GMFM-66 и 10MWT. Прирост средней скорости ходьбы составил 0,17 м/с, а дистанция в 6-минутном тесте увеличилась более чем на 50 метров — что подтверждает клинически значимое улучшение [15].

Нельзя обойти вниманием и нейрофизиологические корреляты этой терапии. Работа Vulea и коллег продемонстрировала, что при использовании экзоскелета у детей с ЦП наблюдается повышение повторяемости и упорядоченности ЭМГ-сигналов. Это особенно ценно в контексте адаптивного управления — когда устройство корректирует усилие на основе текущей мышечной активности. Авторы отмечают снижение вариабельности паттернов, что косвенно свидетельствует о формировании новых, более стабильных моторных программ [16]. Не менее значимой является информация о длительном сохранении полученных улучшений. В серии наблюдений, опубликованных в 2024 году, описываются клинические случаи использования экзоскелета ATLAS 2030 у детей с ЦП. Уже после трёх недель регулярной терапии наблюдалось нарастание силы в проксимальных группах мышц и снижение спастичности в нижних конечностях. Причём эффект сохранялся не только в клинической среде, но и при переносе в домашнюю обстановку — что критически важно для оценки реальной эффективности [17].

В практическом плане особенно запоминается случай 6-летнего ребёнка с диагнозом спинальная мышечная атрофия II типа. Использование экзоскелета дома, под контролем родителей, привело к увеличению продолжительности активного времени и улучшению переносимости физических нагрузок. Это позволяет рассматривать устройство не только как лечебный инструмент, но и как средство улучшения повседневной мобильности при тяжёлой коморбидности [17].

Если же говорить о физиологических маркерах, то fMRI-исследования фиксируют активацию моторных и премоторных зон головного мозга на фоне экзоскелетной терапии. Это особенно важно в контексте нейропластичности — повторяемые сенсомоторные стимулы способны активировать «спящие» нейронные сети и вызывать функциональную перестройку двигательной системы. Подобные изменения ранее считались невозможными у пациентов с тяжёлым ЦП, однако текущие исследования расширяют границы применимости этой технологии. В результате метаанализов, включающих десятки пациентов, обобщены выводы о безопасности и стабильности эффекта. Уровень побочных реакций — минимальный, а ключевые показатели походки (время двойной опоры, длина шага, симметрия) демонстрируют тенденцию к улучшению, особенно при использовании экзоскелетов с активной биологической обратной связью. Всё это подтверждает: реабилитационная эффективность экзоскелетов — это не разрозненный феномен, а воспроизводимая закономерность.

Роль медицинских сестёр и мультидисциплинарной команды

Организация экзорехабилитации у детей с двигательными нарушениями требует не просто наличия современной техники, но и хорошо выстроенной работы мультидисциплинарной команды, в

которой ключевую, нередко незаметную внешнему наблюдателю, роль играет медицинская сестра. В исследовании Bradley S. S. и соавт. указано, что именно медсестра обеспечивает техническую готовность экзоскелета к каждому сеансу, в том числе калибровку устройства, проверку ремней фиксации и сенсоров, а также мониторинг исходного состояния ребёнка по физиологическим параметрам до подключения к системе [18]. Эта невидимая работа становится основой безопасности и эффективности всей процедуры.

В условиях практической терапии взаимодействие медсестры с врачом-неврологом, инженером и кинезиотерапевтом представляет собой пример согласованной межпрофессиональной коммуникации. Как подчёркивается в работе Bulekbayeva S. и коллег, именно медсестра чаще всего первой фиксирует изменения в состоянии ребёнка, включая эмоциональные реакции, тревожность, утомляемость или физические дискомфорт. Она же проводит первичную интерпретацию и передаёт информацию специалистам, включая инженера, не имеющего прямого доступа к телу пациента [19]. В этом смысле медсестра выступает своеобразным «интерфейсом» между биологической и технической средой терапии.

Отдельного внимания заслуживает участие медсестёр в подготовке родителей. Практика показывает, что большинство семей имеют ограниченное представление о специфике ухода за ребёнком, использующим экзоскелет. В исследовании Trabacca A. и соавт. указано, что обучение родителей обычно занимает 2–4 сессии, в ходе которых медсестра пошагово обучает базовым операциям: фиксации, контролю за показателями, снятию и подключению устройства, а также распознаванию признаков усталости или побочных реакций [20]. При этом обучение сопровождается отработкой сценариев взаимодействия с ребёнком в домашних условиях — например, при возникновении отказа от тренировки или непредвиденной реакции устройства.

Кроме организационно-методической роли, медсестра является и координатором безопасности. В случаях появления мышечных спазмов, судорог, тахикардии или эмоциональных перегрузок — именно она принимает решение о приостановке сессии и сообщает об этом лечащему врачу. При этом она обязана зафиксировать каждый эпизод в электронной карте наблюдения. Такая протоколизация, как подчёркивается в данных *Frontiers in Neuroscience*, необходима для оценки переносимости и адаптации тренировочных параметров [18]. Особая специфика педиатрической экзореабилитации заключается ещё и в умении работать с невербальными детьми. Поведенческие сигналы — жесты, мимика, смена ритма дыхания — требуют высокой эмпатичности и профессиональной интуиции. Медсестра становится не только техническим, но и эмоциональным стабилизатором, что приобретает особое значение для пациентов с тяжёлым уровнем двигательной и когнитивной дисфункции.

Выводы.

Приведённый анализ убедительно демонстрирует, что экзоскелетные системы в педиатрической реабилитации выходят за рамки вспомогательных устройств, занимая всё более устойчивую позицию в иерархии высокоэффективных нейромоторных вмешательств. Эмпирические данные, полученные в ходе клинических испытаний и инструментальных исследований, подтверждают способность экзоскелетов вызывать значимые нейрофизиологические перестройки, обеспечивая устойчивое улучшение походки, мышечного контроля и функциональной мобильности у детей с тяжёлыми формами двигательных нарушений. Функционально экзореабилитация оказывается уникальной по глубине воздействия: она сочетает биомеханическую коррекцию, сенсорную стимуляцию и когнитивную вовлечённость ребёнка в активное движение. Это делает её не просто инновационным направлением, а структурной частью комплексных программ восстановления, особенно в случаях ДЦП, СМА и последствий спинальных травм. Современные модели, такие как HAL, ExoAtlet и ATLAS2030, демонстрируют не только биомедицинскую эффективность, но и высокий уровень адаптивности к параметрам пациента. Вместе с тем, реализация этих технологий требует от персонала не только технической осведомлённости, но и интеграции в мультидисциплинарный контекст. На передний план выходят задачи межпрофессионального взаимодействия, чёткой организации сестринского сопровождения, программирования режимов и обучения родителей. На практике это предполагает подготовку узкоспециализированных кадров, владеющих не только методикой, но и принципами динамического мониторинга, этики и клинко-организационного управления.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, способного повлиять на содержание статьи. Исследование выполнено в рамках их профессиональной деятельности объективно и независимо.

Вклад авторов. Идея и концепция исследования – Жангабулова Б.А., сбор и анализ данных – Куатханов Д.Б., написание первоначального варианта статьи – Жумадилова Ш.К., Толеубекова Г.М., редактирование и окончательная доработка текста – Жангабулова Б.А., общее руководство проектом и координация работы – Тлеулинова Р.Р.

Список использованной литературы

1. McIntyre S. et al. Global prevalence of cerebral palsy: A systematic analysis //Developmental Medicine & Child Neurology. – 2022. – Т. 64. – №. 12. – С. 1494-1506.
2. Hunt M. et al. Effectiveness of robotic exoskeletons for improving gait in children with cerebral palsy: A systematic review //Gait & Posture. – 2022. – Т. 98. – С. 343-354.
3. Villani M. et al. Evaluation of EMG patterns in children during assisted walking in the exoskeleton //Frontiers in Neuroscience. – 2024. – Т. 18. – С. 1461323.
4. Hui Z. et al. Efficacy of a soft robotic exoskeleton to improve lower limb motor function in children with spastic cerebral palsy: a single-blinded randomized controlled trial //Brain Sciences. – 2024. – Т. 14. – №. 5. – С. 425.
5. Delgado E. et al. ATLAS2030 pediatric gait exoskeleton: changes on range of motion, strength and spasticity in children with cerebral palsy. A case series study //Frontiers in pediatrics. – 2021. – Т. 9. – С. 753226.
6. Бобров П. Д. и др. Реабилитация больных с детским церебральным параличом с помощью экзоскелета кисти, управляемого интерфейсом «мозг–компьютер» //Вестник Российского государственного медицинского университета. – 2020. – №. 4. – С. 34-41.
7. Воробьев А. А. и др. Экзоскелет как новое средство в абилитации и реабилитации инвалидов (обзор) //Современные технологии в медицине. – 2015. – Т. 7. – №. 2. – С. 185-197.
8. Nefedeva D. L., Abdrakhmanova L. I., Bodrova R. A. Effectiveness of the Walkbot system in patients with infantile cerebral palsy //Physical and rehabilitation medicine, medical rehabilitation. – 2024. – Т. 6. – №. 3. – С. 253-262.
9. Gonzalez A. et al. Robotic devices for paediatric rehabilitation: a review of design features //Biomedical engineering online. – 2021. – Т. 20. – С. 1-33.
10. Hunt M. et al. Effectiveness of robotic exoskeletons for improving gait in children with cerebral palsy: A systematic review //Gait & Posture. – 2022. – Т. 98. – С. 343-354.
11. Chen J. et al. A pediatric knee exoskeleton with real-time adaptive control for overground walking in ambulatory individuals with cerebral palsy //Frontiers in Robotics and AI. – 2021. – Т. 8. – С. 702137.
12. Письменная Е. В., Петрушанская К. А., Шапкова Е. Ю. Критерии освоения навыков ходьбы в экзоскелете у пациентов с последствиями позвоночно-спинномозговой травмы //Российский журнал биомеханики. – 2018. – Т. 22. – №. 1. – С. 85-100.
13. Воробьев А. А. и др. Обоснование требований к разработке экзоскелета микрохирурга //Волгоградский научно-медицинский журнал. – 2016. – №. 3. – С. 38-40.
14. Даминов В. Д. Реконструкция ходьбы с применением экзоскелета в реабилитации больных с последствиями травмы спинного мозга. – С. 126-139.
15. Hui Z. et al. Efficacy of a soft robotic exoskeleton to improve lower limb motor function in children with spastic cerebral palsy: a single-blinded randomized controlled trial //Brain Sciences. – 2024. – Т. 14. – №. 5. – С. 425.
16. Bulea T. C., Lerner Z. F., Damiano D. L. Repeatability of EMG activity during exoskeleton assisted walking in children with cerebral palsy: implications for real time adaptable control //2018 40th Annual international conference of the IEEE engineering in medicine and biology society (EMBC). – IEEE, 2018. – С. 2801-2804.
17. Castro P. et al. Benefits of robotic gait assistance with ATLAS 2030 in children with cerebral palsy //Frontiers in Pediatrics. – 2024. – Т. 12. – С. 1398044.
18. Bradley S. S. et al. Physiotherapy-assisted overground exoskeleton use: mixed methods feasibility study protocol quantifying the user experience, as well as functional, neural, and muscular outcomes in children with mobility impairments //Frontiers in Neuroscience. – 2024. – Т. 18. – С. 1398459.
19. Bulekbayeva S. et al. Cerebral palsy: a multidisciplinary, integrated approach is essential //The Lancet Global Health. – 2017. – Т. 5. – №. 4. – С. e401.
20. Trabacca A. et al. Multidisciplinary rehabilitation for patients with cerebral palsy: improving long-term care //Journal of multidisciplinary healthcare. – 2016. – С. 455-462.