

# Эффективность комплекса с биологической обратной связью в лечении детей с детским церебральным параличом: рандомизированное контролируемое исследование

Егоров А.В.<sup>1,2,\*</sup>, Яковлева С.К.<sup>1</sup>, Петрова Р.В.<sup>1,2</sup>, Преображенская Е.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Федеральный центр травматологии, ортопедии и эндопротезирования Минздрава (г. Чебоксары), Чебоксары, Россия

<sup>2</sup> Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, Чебоксары, Россия

## РЕЗЮМЕ

**ВВЕДЕНИЕ.** Последствия перинатальных поражений центральной нервной системы (ЦНС) — одна из ведущих причин детской инвалидности. Спастичность является одной из основных причин в формировании двигательных расстройств. Важное значение при осуществлении медицинской реабилитации детей с перинатальными поражениями ЦНС имеет минимальное использование лекарственной терапии. По этой причине разработка и научное обоснование новых немедикаментозных технологий медицинской реабилитации крайне актуальны.

**ЦЕЛЬ.** Исследование динамики двигательной активности пациентов с детским церебральным параличом в послеоперационном периоде с применением роботизированного комплекса на основе функциональных шкал.

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ.** Основную 1-ю группу ( $n = 30$ ) составили 20 мальчиков и 10 девочек, контрольную 2-ю группу ( $n = 30$ ) — 17 мальчиков, 13 девочек. Пациенты получали комплексную терапию: процедуры роботизированной механотерапии на комплексе «Локомат», индивидуальные процедуры лечебной гимнастики, физиотерапию, массаж, дополнительно часть пациентов получали ботулинотерапию на нижние конечности. В основной группе в дополнение к стандартной программе реабилитации проводились занятия на комплексе DIEGO. Для оценки эффективности лечения использовали шкалы мышечной силы (MRC), функционирования верхних конечностей (MACS) и Эшворта.

**РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ.** По шкале MRC доля пациентов с увеличением показателя на 1 балл составила среди пациентов основной группы 40 %, контрольной группы — 3,3 %; по шкале Эшворта — со снижением показателя на 2 балла — 20 % и 10 % соответственно. Амплитуда движений в пораженной верхней конечности после лечения с использованием тренировок на комплексе DIEGO в основной группе статистически значимо увеличилась в плечевом суставе при разгибании ( $p = 0,0197$ ), отведении ( $p = 0,0216$ ) и приведении ( $p = 0,0232$ ).

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ.** Включение в программу лечения пациентов с детским церебральным параличом (GMFCS II–III ст.) дополнительных занятий на роботизированном комплексе DIEGO показало положительную динамику моторных навыков по шкалам мышечной силы и Эшворта, в связи с чем возможно рекомендовать данный метод как вспомогательный для использования в индивидуальной программе реабилитации таких пациентов.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** детский церебральный паралич, биологическая обратная связь, DIEGO, шкала мышечной силы, MRC, шкала функционирования верхних конечностей, MACS, шкала Эшворта, GMFCS

**Для цитирования / For citation:** Егоров А.В., Яковлева С.К., Петрова Р.В., Преображенская Е.В. Эффективность комплекса с биологической обратной связью в лечении детей с детским церебральным параличом: рандомизированное контролируемое исследование. Вестник восстановительной медицины. 2025; 24(2):8–19. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2025-24-2-8-19>. [Egorov A.V., Yakovleva S.K., Petrova R.V., Preobrazhenskaya E.V. The Effectiveness of the Biofeedback Complex in the Treatment of Children with Cerebral Palsy: a Randomized Controlled Study. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2025; 24(2):8–19. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2025-24-2-8-19> (In Russ.).]

\*Для корреспонденции: Егоров Александр Витальевич, E-mail: [aegorov@orthoscheb.ru](mailto:aegorov@orthoscheb.ru)

Статья получена: 17.07.2024  
Статья принята к печати: 14.11.2024  
Статья опубликована: 16.04.2025

# The Effectiveness of the Biofeedback Complex in the Treatment of Children with Cerebral Palsy: a Randomized Controlled Study

 Aleksandr V. Egorov<sup>1,2,\*</sup>,  Svetlana K. Yakovleva<sup>1</sup>,  Roza V. Petrova<sup>1,2</sup>,  
 Elena V. Preobrazhenskaya<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Federal Center for Traumatology, Orthopedics and Arthroplasty (Cheboksary), Cheboksary, Russia

<sup>2</sup> Chuvash State University named after I.N. Ulyanov, Cheboksary, Russia

## ABSTRACT

**INTRODUCTION.** The consequences of perinatal lesions of the central nervous system (CNS) are one of the leading causes of childhood disability. Spasticity plays a leading role in the formation of motor disorders. An important aspect of the medical rehabilitation of children with perinatal CNS lesions, including premature infants, remains the minimal use of drug therapy, in this regard, the main task is to develop and scientifically substantiate new non-drug technologies for medical rehabilitation.

**AIM.** To study the dynamics of motor activity of patients with cerebral palsy in the postoperative period using a robotic complex based on functional scales.

**MATERIALS AND METHODS.** The main 1 group ( $n = 30$ ) consisted of 20 boys and 10 girls, the control 2 group ( $n = 30$ ) consisted of 17 boys and 13 girls. The patients received comprehensive rehabilitation treatment: robotic mechanotherapy procedures at the Lokomat complex, individual therapeutic gymnastics procedures, physiotherapy, massage, in addition, some patients received botulinum therapy for the lower extremities. In the main group, in addition to the standard rehabilitation program, classes were held at the DIEGO complex. The functional scales of muscle strength scale (MRC), Manual Ability Classification System (MACS), and the Ashworth scale were used to assess the effectiveness of treatment.

**RESULTS AND DISCUSSION.** On the scale of muscle strength, the proportion of patients with an increase of 1 point was 40 % among the patients of the main group, 3.3 % among the control group; on the Ashworth scale, with a decrease of 2 points — 20 % and 10 %, respectively. The volume of movements in the affected limb after a course of treatment using DIEGO complex training in the main group increased statistically significantly in the shoulder joint during extension ( $p = 0.0197$ ), retraction ( $p = 0.0216$ ) and reduction ( $p = 0.0232$ ).

**CONCLUSION.** The inclusion of additional classes on the DIEGO robotic complex in the treatment program for patients with cerebral palsy (GMFCS II–III art.) due to the positive dynamics of motor skills on the muscle strength and Ashworth scales allows us to recommend this method as an auxiliary for use in an individual rehabilitation program for such patients.

**KEYWORDS:** cerebral palsy, biofeedback, DIEGO, muscle Strength scale, MRC, Manual Ability Classification System, MACS, Ashworth scale, GMFCS

**For citation:** Egorov A.V., Yakovleva S.K., Petrova R.V., Preobrazhenskaya E.V. The Effectiveness of the Biofeedback Complex in the Treatment of Children with Cerebral Palsy: a Randomized Controlled Study. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2025; 24(2):8–19. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2025-24-2-8-19> (In Russ.).

\***For correspondence:** Aleksandr V. Egorov, E-mail: aegorov@orthoscheb.ru

**Received:** 17.07.2024

**Accepted:** 14.11.2024

**Published:** 16.04.2025

## ВВЕДЕНИЕ

На современном этапе развития медицины радикального способа лечения детей с детским церебральным параличом (ДЦП) не существует, в связи с чем исследования в этом направлении можно считать обоснованными и перспективными [1]. ДЦП — группа стабильных нарушений развития моторики, поддержания позы, ведущих к двигательным дефектам, обусловленным не прогрессирующим повреждением и/или аномалией развивающегося головного мозга у ребенка [2]. ДЦП, по данным разных авторов, встречается в популяции с частотой от 2,5–5,6 до 8,9 на 1000 живорожденных в мире, в России — 2,2–3,3 случая на 1000 детей [3].

У детей с перинатальным поражением центральной нервной системы (ЦНС) вероятность появления неврологических нарушений составляет 20–50 % [4]. Перинатальные поражения ЦНС, проявляющиеся в виде неврологических нарушений, являются одной из основ-

ных причин детской инвалидности [5]. Доля пациентов с ДЦП, сопровождающихся спастичностью, достигает 80 % [2, 6]. Спастичность способствует формированию двигательных расстройств, приводящих к ограничению функциональных возможностей и развитию двигательного дефицита, затруднению самообслуживания и другим ортопедическим осложнениям (развитию патологических установок, контрактур, подвывихов и вывихов суставов) [2, 6]. При ДЦП спастичность в мышцах рук наблюдается не реже, чем в мышцах ног. Спастичности в ногах, как правило, уделяется больше внимания, так как она влияет на большие моторные функции ребенка. Однако спастичность в руках оказывает ничуть не меньшее влияние на жизнь пациента, способность к самостоятельному питанию, самообслуживанию, трудоустройству и передвижению, особенно при значимых двигательных нарушениях в ногах и необходимости использовать вспомогательные технические

средства [2, 6]. Для пациентов с тяжелыми ограничениями к самостоятельному передвижению сохранение даже минимального контроля за функцией рук — это возможность использования высокотехнологичных средств для реализации бытовых потребностей [2, 6].

Имеющиеся на современном этапе развития медицины методики лечения продолжают совершенствоваться, увеличивается их число, однако целью лечения остается своевременная компенсация функциональных нарушений, а также минимизация вторичных контрактур и социальная адаптация пациентов с ДЦП [2].

При лечении пациентов с ДЦП важными задачами являются развитие новых двигательных навыков; работа с контрактурами и иными вторичными ортопедическими осложнениями; снижение их выраженности; совершенствование мероприятий по уходу за ребенком [7], а также уменьшение ограничения объема движений в суставах, недостаточной координации движений сегментов конечностей и патологического мышечного тонуса [8].

Реабилитационный потенциал при ДЦП определяется как комплекс биологических и психофизиологических характеристик человека, а также социально-средовых факторов, позволяющих в той или иной степени реализовать его потенциальные возможности [7].

Прогноз реабилитационного потенциала помогает оценить предложенная Palisano R. et al. шкала моторных функций GMFCS (Gross Motor Function Classification System)<sup>1</sup> [9]:

- GMFCS I — имеет шанс 100 % овладения самостоятельной ходьбой;
- GMFCS II — имеет шанс самостоятельной ходьбы до 4 лет;
- GMFCS III — имеет шанс самостоятельной ходьбы с дополнительными средствами реабилитации;
- GMFCS IV — может сидеть с поддержкой;
- GMFCS V — «лежачие» (паллиативные) больные, которым подвластно только удержание головы [10].

Основным нормативным документом по организации реабилитационной помощи детскому населению является Приказ Минздрава России от 23.10.2019 № 878н<sup>2</sup>, который определяет 3 этапа медицинской реабилитации и 5 уровней курации пациентов.

Важное значение при медицинской реабилитации детей с перинатальными поражениями ЦНС, в том числе недоношенных, имеют немедикаментозные методы лечения, что обуславливает необходимость разработки и научного обоснования новых реабилитационных технологий [4].

В настоящее время в реабилитации пациентов с ДЦП используются высокотехнологичные методы лечения: ортопедическое, неврологическое, нейрохирургическое лечение с последующей нейрореабилитацией (активные упражнения, пассивное растяжение мышц, эрготерапия, механотерапия, роботизированная механотерапия с биологически обратной связью) [11–16].

Использование роботизированных комплексов с биологической обратной связью (БОС) для нижних конечностей получило широкое распространение, для верхних конечностей использование ограничено.

## ЦЕЛЬ

Исследование динамики двигательной активности пациентов с ДЦП в послеоперационном периоде с применением роботизированного комплекса на основе функциональных шкал.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Открытое нерандомизированное проспективное сравнительное контролируемое исследование проведено в условиях детского травматолого-ортопедического отделения ФГБУ «Федеральный центр травматологии, ортопедии и эндопротезирования» Минздрава России (г. Чебоксары), далее — Центр, в течение 2021–2023 гг.

В задачи исследования входили тренировка и реабилитация верхних конечностей пациентов с функцией сопротивления движениям, ведение медицинских протоколов с формированием электронной базы данных, использование БОС в реальном времени и проведение занятий в игровой форме, направленных на достижение цели.

В обеих группах пациентам проводилось ортопедо-хирургическое (тенотомии, сухожильно-мышечные пластики, операции при нестабильности тазобедренных суставов, корригирующие остеотомии, операции на стопах, корригирующие операции на позвоночнике) на первом (V и IV уровни курации) и консервативное лечение с использованием роботизированной механотерапии на втором (IV и III уровни курации) этапах медицинской реабилитации.

Система для улучшения функций верхних конечностей DIEGO — современное устройство механотерапии для реабилитации пациентов с нарушением функций верхних конечностей — позволяла регистрировать и оценивать амплитуду движений и использовать различные программы занятий в игровой форме с активными и пассивными тренировками для верхних конечностей с активной разгрузкой веса конечности. Механизм подвешивания облегчал движения руки, обеспечивая лишь частичную нагрузку. Результирующие повторяющиеся движения в локтевом и плечевом суставах генерировали афферентные сигналы, направляемые в ЦНС, что способствовало реструктуризации ЦНС и стимулировало восстановление двигательной активности, расширяя диапазон движений.

## Критерии включения и невключения

Критериями включения в исследование являлись возраст 5–15 лет, любой пол, диагноз: G80.0 — Спастический церебральный паралич, G 80.1 — Спастическая диплегия, G80.2 — Детская гемиплегия (GMFCS II–III ст.). Основную 1 группу ( $n = 30$ ) составили 20 мальчиков и 10 девочек, контрольную 2-ю группу ( $n = 30$ ) — 17 мальчиков, 13 девочек. К критериям невключения относились грубая задержка нервно-психического развития, фиксированные контрактуры верхних конечностей.

Медицинская реабилитация детей на каждом из этапов осуществлялась специалистами мультидисциплинарной реабилитационной команды — группы специалистов, оказывающих медицинскую реабилитацию

<sup>1</sup> Cerebral palsy. Gross Motor Function Classification System (GMFCS). Available at: <https://cerebralpalsy.org.au/cerebral-palsy/gross-motor-function-classification-system/> (Accessed 01.07.2024)

<sup>2</sup> Приказ Министерства здравоохранения Российской Федерации от 23 октября 2019 г. № 878н «Об утверждении Порядка организации медицинской реабилитации детей»

с четкой согласованностью и координированностью действий, что обеспечивало целенаправленный подход в реализации целей медицинской реабилитации, которые формировались на функциональной основе индивидуально для каждого ребенка в зависимости от нозологии, тяжести, периода и особенностей течения заболевания, этапа оказания медицинской реабилитации.

Пациенты 1-й группы получали занятия на комплексе DIEGO (в количестве 5 процедур), 10 процедур роботизированной механотерапии на комплексе «Локомат», индивидуальные процедуры лечебной гимнастики, физиотерапия, массаж, дополнительно часть пациентов получали ботулинотерапию на конечности.

Во 2-й группе применялись занятия с использованием роботизированной механотерапии на комплексе «Локомат», индивидуальные процедуры лечебной гимнастики, физиотерапию, массаж, дополнительно часть пациентов получала ботулинотерапию внутримышечно на сгибатели голени и приводящие мышцы нижних конечностей в дозировках согласно инструкции по применению.

Показатели исследуемых групп оценивали в первый день госпитализации, в динамике с периодичностью 1 раз в 3 дня и в день завершения тренировок (день выписки) по показателям моторных навыков мышц верхней конечности, выполняющих функции разгибания, отведения и приведения (MRC (Medical Research Council)<sup>1</sup>, принятой MACS (Manual Ability Classification System)<sup>2</sup>). Продолжительность исследования была ограничена периодом госпитализации пациентов.

Силу мышц верхней конечности определяли по шкале мышечной силы MRC, принятой Британским советом медицинских исследований, в диапазоне от 0 до 5 баллов.

Шкала MACS для оценки функции верхней конечности, применяемая у детей 4–18 лет, позволяла определить наиболее соответствующий типичному поведению ребенка, а не его максимальным возможностям, уровень функциональности верхней конечности.

Для измерения спастичности и эффекта ее лечения, степени тяжести и частоты сопротивления пассивным движениям использовали шкалу Эшворта (Ashworth Scale)<sup>3</sup> с оценкой по пятибалльной системе (от 0 до 4).

Для более детального анализа данные были дополнительно сгруппированы по степени изменения показателя в динамике (от поступления к выписке): подсчитано количество пациентов с динамикой +0,5 балла и +1,0 балла по шкале мышечной силы, уменьшением значений на –1,0 и –2,0 балла по шкале Эшворта в каждой из групп с оценкой статистической значимости различий.

Оценка амплитуды движений пораженной и контралатеральной конечностей в градусах в основной группе проводилась на основании измерений углов сгибания и разгибания в плечевом и локтевом суставах до начала

и после лечения; учитывались пораженная и контралатеральная стороны при одностороннем поражении, левая и правая верхние конечности при двустороннем поражении.

Результаты измерений сохраняли в терапевтическом отчете с соответствующей датой. Это позволяло создавать таблицы, отображающие прогрессию измеряемых значений. Учитывалось, что результаты являются только приблизительным расчетом прогрессии и часто зависят от суточного состояния, мотивации и других особенностей пациента.

Статистическая обработка полученных данных проводилась с помощью пакета анализа программы Microsoft Excel 2007. Соответствие значений выборки нормальному распределению в MS Excel подтверждали графическим методом, что позволило отражать результаты в виде средней арифметической (M) и стандартной ошибки (m), а при отсутствии нормальности — минимум, максимум, медиану, моду. Для оценки статистической значимости различий показателей до и после курса лечения в группе использовали парный *t*-критерий Стьюдента, различия между группами оценивали с помощью точного теста Фишера — его рассчитывали с помощью программы Graf Pad при доверительном интервале 95%. Различия считали статистически значимыми при  $p < 0,05$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исследуемые группы были сопоставимы по полу и возрасту, незначительно различаясь по структуре диагнозов пациентов ( $p > 0,05$ ), и имели статистически значимые различия в длительности госпитализации ( $p < 0,05$ ) (табл. 1).

Для оценки нарушений функций верхних конечностей пациентов использовались функциональные шкалы; в исследуемых группах отмечены статистически значимые различия по шкале MRC при поступлении ( $p < 0,05$ ), что может быть объяснено различиями исходного уровня мышечной силы. По остальным шкалам достоверных различий не выявлено (табл. 2).

Внутригрупповой анализ эффективности лечения выявил положительную, статистически значимую, динамику по шкале мышечной силы в основной группе ( $p < 0,05$ ), в контрольной группе достоверного улучшения не отмечено ( $p > 0,05$ ). По шкале Эшворта в обеих группах отмечено статистически значимое улучшение ( $p < 0,05$ ) (табл. 2).

Доля пациентов, у которых отсутствовала динамика мышечной силы, составила 10 % в основной группе и 70 % в контрольной. Динамика мышечной силы по шкале мышечной силы MRC с улучшением +1,0 балла статистически значимо выше в основной группе ( $p < 0,05$ ) (табл. 3).

Доля пациентов, у которых улучшение по шкале Эшворта регистрировалось на уровне –1 балла, составила соответственно 80 % и 90 % в основной и контрольной группе; абсолютное число пациентов со снижением показателя на 2 балла вдвое выше в основной группе (6 против 3), что не является статистически значимым ( $p > 0,05$ ).

Оценка амплитуды движений в плечевом и локтевом суставах пораженной и контралатеральной конечностей у пациентов основной группы с преимущественно односторонним поражением конечности до и после лечения

<sup>1</sup> MRC Scale/Muscle Strength Grading/Strength Testing. Available at: <https://www.physiotutors.com/wiki/mrc-scale/> (Accessed 01.07.2024)

<sup>2</sup> Manual Ability Classification System for children with cerebral palsy 1-18 years. Available at: <https://www.macs.nu/> (Accessed 01.07.2024)

<sup>3</sup> Modified Ashworth Scale. Available at: [https://www.physio-pedia.com/Modified\\_Ashworth\\_Scale/](https://www.physio-pedia.com/Modified_Ashworth_Scale/) (Accessed 01.07.2024)

показала статистически достоверное улучшение разгибания, горизонтального отведения и приведения в пораженном плечевом суставе, тогда как динамика объема

движений в контралатеральном суставе была статистически не значимой. Амплитуда движений в локтевых суставах также не имела статистической значимости (табл. 4).

**Таблица 1.** Характеристики исследуемых групп

**Table 1.** Characteristics of the studied groups

Характеристики / Characteristics	Основная группа / Main group (n = 30)		Контрольная группа / Control group (n = 30)		p
	Абсолютное число / The absolute number	%	Абсолютное число / The absolute number	%	
<b>Пол / Gender</b>					
Мужской / Male	20	66,7	17	56,7	0,5959
Женский / Female	10	33,3	13	43,3	0,5959
<b>Средний возраст, лет / Average age, years</b>	11,7 (CO = 2,8;11-13)		11,6 (CO = 3,4;11,2-13,8)		0,9346
<b>Диагноз, в том числе / Diagnosis, including</b>					
G80.0	2	6,7	4	13,3	0,6707
G80.1	27	90	26	86,7	1,0000
G80.2	1	3,3	—	—	1,0000
<b>Средняя длительность госпитализации, койко-дней / Average duration of hospitalization, bed days</b>	10,1 (CO = 0,3;9,9-10,1)		10,0 (CO = 0,0;10)		0,0434*

**Примечание:** \* — статистически значимые различия.

**Note:** \* — statistically significant differences.

**Таблица 2.** Оценка исследуемых групп по функциональным шкалам, баллы

**Table 2.** Assessment of the studied groups according to functional scales, score

Показатели (баллы) / Indicators (score)	Основная группа / Main group (n = 30)	Контрольная группа / Control group (n = 30)	p
<b>Шкала мышечной силы MRC / MRC Muscle Strength Scale</b>			
при поступлении / upon admission	3,1 (CO = 0,3;2,9–3,1)	3,3 (CO = 0,5;2,8–3,2)	0,0042*
при выписке / upon discharge	3,8 (CO = 0,4;3,9–4,1)	3,5 (CO = 0,4;3,3–3,7)	0,0042*
<b>Динамика мышечной силы MRC в группе при поступлении/выписке, p / Dynamics of MRC muscle strength in the group during admission/disposal, p</b>	0,0000*	0,1572	
<b>Система классификации функции руки MACS / MACS Hand Function Classification System</b>			
при поступлении / upon admission	2,0 (CO = 0,5;1,8–2,2)	2,1 (CO = 0,5;1,8–2,2)	0,4113
при выписке / upon discharge	2,0 (CO = 0,5;1,8–2,2)	2,1 (CO = 0,5;1,8–2,2)	0,4113
<b>p — уровень значимости / p-value</b>	1,0000	1,0000	
<b>Шкала Эшворта / The Ashworth Scale</b>			
при поступлении / upon admission	3,8 (CO = 0,4;3,9–4,1)	3,7 (CO = 0,4;3,8–4,2)	0,3558
при выписке / upon discharge	2,6 (CO = 0,5;2,8–3,2)	2,6 (CO = 0,5;2,8–3,2)	1,0000
<b>p — уровень значимости / p-value</b>	0,0000*	0,0000*	

**Примечание:** \* — статистически значимые различия.

**Note:** \* — statistically significant differences.

**Таблица 3.** Динамика показателей по шкалам мышечной силы MRC и Эшворта с градацией изменений  
**Table 3.** Dynamics of indicators on the Muscle Strength Scale and Ashworth scales with gradation of changes

Показатели (значения) / Indicators (values)	Основная группа / Main group (n = 30)		Контрольная группа / Control group (n = 30)		p
	Абсолютное число / The absolute number	%	Абсолютное число / The absolute number	%	
<b>Шкала мышечной силы MRC / MRC Muscle Strength Scale</b>					
+0,5 балла / score	15	50,0	8	26,7	0,1102
+1,0 балла / score	12	40,0	1	3,3	0,0011*
Без изменений / Without changes	3	10,0	21	70,0	0,0001*
<b>Шкала Эшворта / The Ashworth Scale</b>					
-1,0 балла / score	24	80,0	27	90,0	0,4716
-2,0 балла / score	6	20,0	3	10,0	0,4716
Без изменений / Without changes	-	-	-	-	-

**Примечание:** \* — значимые статистические различия.

**Note:** \* — statistically significant differences.

**Таблица 4.** Амплитуда движений в плечевом и локтевом суставах у пациентов основной группы с односторонним поражением конечности, n = 15

**Table 4.** The amplitude of movements in the shoulder and elbow joints in patients of the main group with unilateral limb injury, n = 15

	Пораженная конечность / The affected limb			Контралатеральная конечность / The contralateral limb		
	при поступлении / upon admission	при выписке / upon discharge	p	при поступлении / upon admission	при выписке / upon discharge	p
<b>Плечевой сустав / Shoulder joint</b>						
приведение / cast	21,7 ± 21,1	6,2 ± 29,2	0,1073	18,2 ± 30,8	2,5 ± 33,9	0,1940
отведение / lead°	155,4 ± 32,4	166,7 ± 24,7	0,2898	159,3 ± 20,1	171,3 ± 15,7	0,0785
разгибание / extension	16,2 ± 18,8	-3,8 ± 24,8	0,0197*	12,1 ± 27,8	-3,5 ± 26,7	0,1295
сгибание / flexion	148,9 ± 39,0	171,5 ± 33,0	0,0987	161,1 ± 24,9	169,1 ± 20,8	0,3439
Горизонтальное отведение / Horizontal lead	-3,0 ± 30,1	-27,1 ± 23,2	0,0216*	-19,8 ± 25,1	-28,2 ± 26,8	0,3801
Горизонтальное приведение / Horizontal cast	112,4 ± 20,9	129,4 ± 17,6	0,0232*	121,5 ± 24,9	132,2 ± 21,8	0,2208
Наружная ротация / External rotation	-57,3 ± 27,8	-62,9 ± 22,3	0,5460	-52,8 ± 25,5	-59,2 ± 24,7	0,4890
Внутренняя ротация / Internal rotation	32,2 ± 29,6	40,7 ± 26,6	0,4173	35,7 ± 37,5	42,5 ± 29,6	0,5206
<b>Локтевой сустав / Elbow joint</b>						
разгибание / extension°	33,5 ± 19,7	23,8 ± 16,5	0,1572	25,4 ± 18,6	23,6 ± 19,2	0,7936
сгибание / flexion	126,7 ± 14,4	129,1 ± 17,7	0,6816	126,1 ± 19,3	129,6 ± 16,1	0,5976

**Примечание:** \* — значимые статистические различия.

**Note:** \* — statistically significant differences.

Оценка амплитуды движений в плечевом и локтевом суставах левой и правой конечностей у пациентов основной группы с двусторонним поражением конечности до и после лечения показала статистически достоверное улучшение приведения в плечевом суставе и сгибания в локтевом суставе левой верхней конечности, тогда как амплитуда движений в суставах справа в динамике была статистически не значимой (табл. 5).

Мероприятия, направленные на уменьшение спастичности мышц верхней конечности, занимают важное место в лечении детей с ДЦП. Функциональные расстройства и тонические контрактуры формируют порочную установку, что с возрастом приводит к вторичным изменениям. Поэтому оценка состояния функции верхних конечностей важна и позволяет вовремя начать профилактическое лечение для предотвращения вторичных контрактур [9].

Выбор метода реабилитации основан на оценке степени тяжести двигательных нарушений ребенка по GMFCS. Как и другие авторы, при этом мы учитывали возраст, сопутствующие нарушения, интеллектуальное развитие, эмоциональное состояние и желание ребенка и его родителей активно участвовать в процессе лечения [17].

Аналогично зарубежным коллегам в ходе исследования мы провели сравнительную оценку функций конечностей пациентов при поступлении и при выписке

по шкалам, — использовались система классификации общей двигательной функции (GMFCS), система классификации мануальных способностей (MACS), модифицированная шкала Эшворта (MAS) для оценки уровня спастичности [18–19].

Yazıcı M. et al. в 2019 г. в своей работе показали эффективность применения роботизированной механотерапии для улучшения двигательных нарушений у пациентов с ДЦП при поражении нижних конечностей — отмечено более быстрое и более выраженное воздействие на развитие функциональной мышечной силы, равновесия, скорости ходьбы и выносливости, чем стандартная программа реабилитации [20]. В нашем случае речь идет о верхней конечности, и результатов подобных исследований в литературе мы не встретили.

При проведении занятий с использованием роботизированного комплекса DIEGO отмечалась положительная динамика в виде уменьшения гипертонуса мышц верхних конечностей, улучшения их общей функциональности, в результате чего наблюдалось снижение мышечной спастичности ( $p < 0,05$ ) и увеличение диапазона движений в основной группе ( $p < 0,05$ ). Субъективно интеграция виртуальной среды и игровых элементов снижала эмоциональное напряжение пациентов и мотивировала их к активному участию в процессе.

**Таблица 5.** Амплитуда движений в плечевом и локтевом суставах у пациентов основной группы с двусторонним поражением конечности,  $n = 15$

**Table 5.** The amplitude of movements in the shoulder and elbow joints in patients of the main group with bilateral limb lesion,  $n = 15$

	Левая конечность / The left limb			Правая конечность / The right limb		
	при поступлении / upon admission	при выписке / upon discharge	$p$	при поступлении / upon admission	при выписке / upon discharge	$p$
<b>Плечевой сустав / Shoulder joint</b>						
приведение / cast	23,4 ± 14,3	7,0 ± 26,6	0,0478*	17,8 ± 26,5	6,7 ± 28,2	0,2769
отведение / lead°	163,2 ± 23,6	167,6 ± 19,1	0,5824	156,5 ± 25,2	165,1 ± 15,7	0,2721
разгибание / extension	17,2 ± 30,6	1,2 ± 28,5	0,1496	13,9 ± 27,0	0,1 ± 27,6	0,1783
сгибание / flexion	163,4 ± 44,1	181,8 ± 39,6	0,2385	150,7 ± 37,4	168,6 ± 15,1	0,1021
<b>Горизонтальное отведение / Horizontal lead</b>						
	-13,6 ± 27,3	-3,9 ± 30,7	0,3432	-26,4 ± 28,3	-3,9 ± 25,2	0,4527
<b>Горизонтальное приведение / Horizontal cast</b>						
	129,0 ± 19,1	140,5 ± 15,8	0,0850	123,2 ± 24,7	133,8 ± 18,9	0,2003
<b>Наружная ротация / External rotation</b>						
	-66,7 ± 23,4	-2,5 ± 19,7	0,4665	-56,8 ± 24,8	-4,8 ± 21,5	0,3528
<b>Внутренняя ротация / Internal rotation</b>						
	46,7 ± 27,4	48,4 ± 35,0	0,8856	47,3 ± 25,0	41,7 ± 28,9	0,5743
<b>Локтевой сустав / Elbow joint</b>						
разгибание / extension°	34,1 ± 17,3	25,7 ± 18,2	0,2089	34,3 ± 24,2	25,0 ± 17,1	0,2337
сгибание / flexion	129,6 ± 13,2	140,2 ± 11,9	0,0274*	111,8 ± 20,8	123,2 ± 22,0	0,1550

**Примечание:** \* — значимые статистические различия.

**Note:** \* — statistically significant differences.

По данным Burrough M. et al., по завершении цикла занятий на комплексе DIEGO пациенты после тяжелой черепно-мозговой травмы отмечали улучшение функции верхних конечностей при адаптации в быту (самостоятельное питание, использование устройства связи и участие в боулинге), а также повышение мотивации к участию в сеансах реабилитации благодаря интегрированной игровой технологии [21].

Андреев В.Н. с соавт. показали эффективность применения комплекса DIEGO у мужчин среднего возраста, перенесших ишемический инсульт, при реабилитации в позднем восстановительном периоде (улучшение показателей мышечной силы в проксимальных и дистальных отделах верхних конечностей на 19,64 % и 14,05 %) [22], что коррелирует с полученными нами результатами.

По нашим данным, амплитуда движений в пораженной конечности после курса лечения с использованием тренировок на комплексе DIEGO в основной группе статистически значимо увеличилась в плечевом суставе при разгибании, отведении и приведении, тогда как динамика объема движений в контралатеральной конечности не претерпела значимых изменений.

Таким образом, полученные нами результаты подтвердили выводы коллег о том, что более выраженная коррекция двигательных нарушений у пациентов с ДЦП

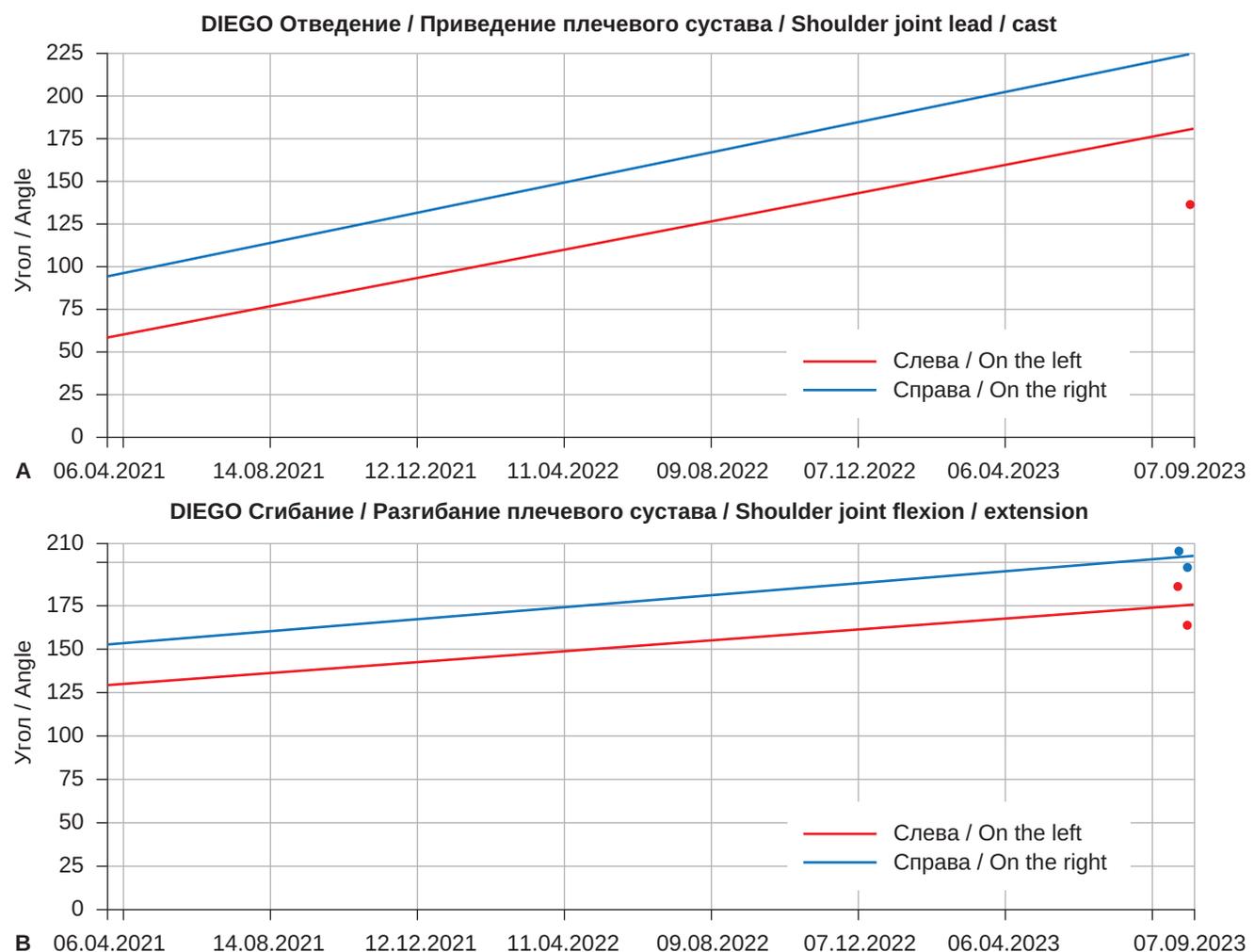
в комплексной реабилитации может быть достигнута за счет применения методов роботизированной биомеханотерапии совместно со стандартной медикаментозной терапией, массажем, лечебной физкультурой [15].

#### Ограничения исследования

Ограничением данного исследования стоит считать малочисленный состав групп (по 30 наблюдений), высокую чувствительность результатов тестирования ко времени суток, мотивацию и другие особенности пациентов.

#### Клинический пример

Пациент Н., 2009 г.р., с отягощенным перинатальным анамнезом (недоношенность 33 недели) наблюдался в Центре с диагнозом: ДЦП. Спастическая диплегия; Пяточно-вальгусная деформация стоп на фоне спастического тетрапареза, состояние после оперативного лечения; GMFCS III. В 2014 г. проведены фибротомии по Ульзибату, в 2016 г. — сухожильная пластика, подтаранный артролиз стоп, тенотомия аддукторов бедер, в 2019 г. — артродез стоп. Неоднократно получал комплексное консервативное лечение с использованием роботизированной механотерапии (DIEGO, «Локомот»). При осмотре пациента в 2021 г.: мышечный тонус повышен в сгибателях конечностей, аддукторах бедер, грубее слева; мышечная сила в нижних и верхних конеч-



**Рис. 1.** Динамика объема движений в плечевом суставе в ходе лечения пациента Н.: А — отведение/приведение, В — сгибание/разгибание

**Fig. 1.** Dynamics of the volume of movements in the shoulder joint during the treatment of patient N.: A — abduction/reduction, B — flexion/extension

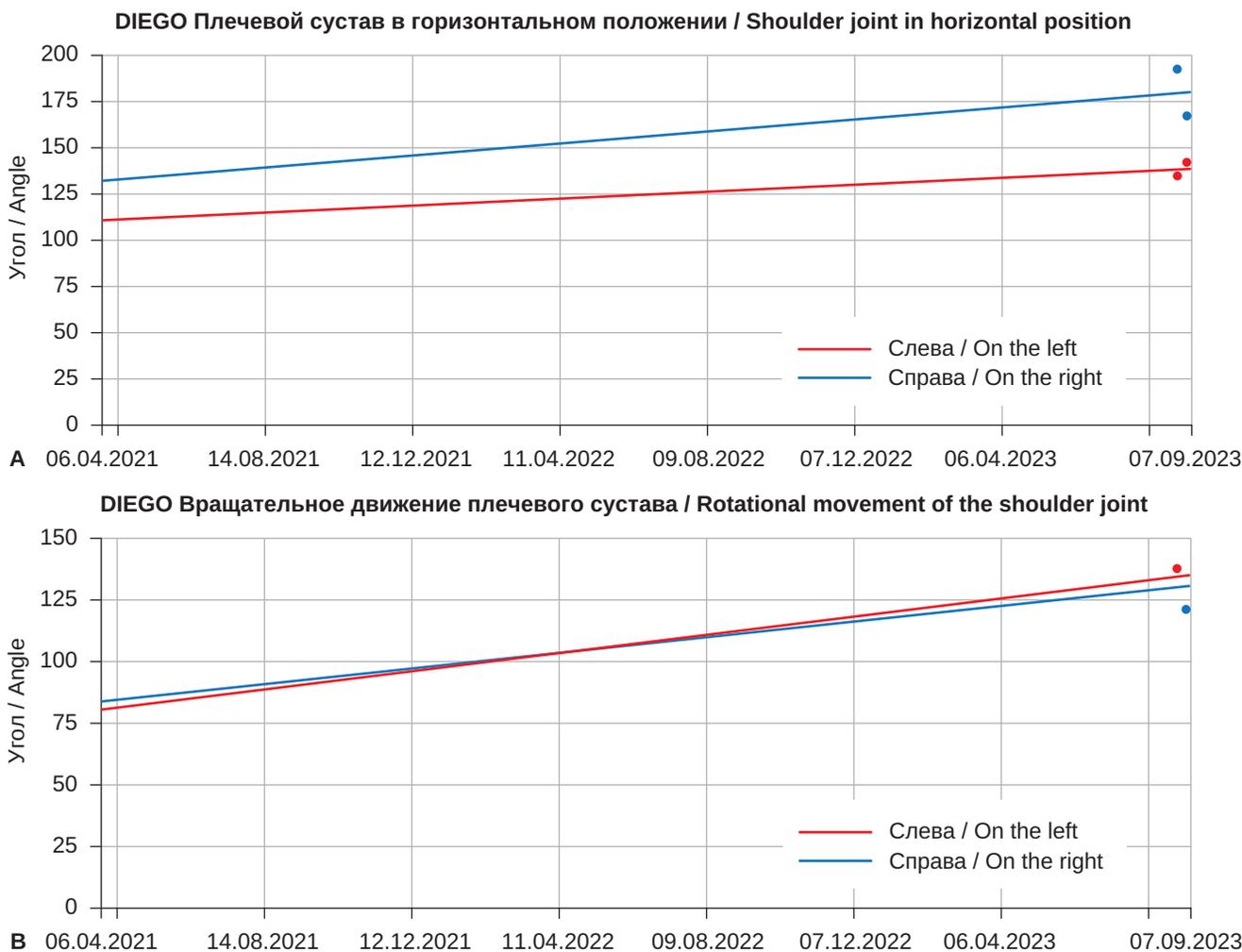
ностях по MRS — 3 балла. Ходит с помощью ходунков вдоль опоры. Походка спастико-паретическая. Сколиотическая деформация позвоночника. Шкала GMFCS — III уровень. Спастичность по модифицированной шкале Эшворта 4 балла. Шкала MACS — 2 уровень.

На фоне лечения с применением процедур на комплексе DIEGO улучшился мышечный тонус в верхних

конечностях, увеличилась сила мышц верхних конечностей с 3 до 4 баллов, уменьшилась спастичность по модифицированной шкале Эшворта с 4 до 3 баллов, увеличилась амплитуда движений в плечевом (рис. 1–2) и локтевом суставах (рис. 3).

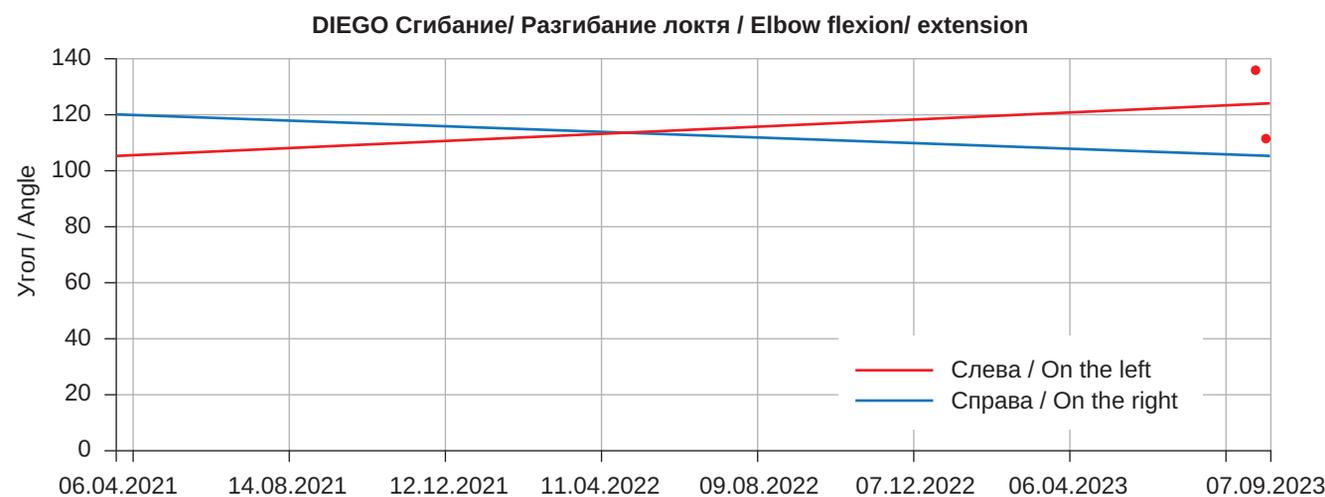
Пациент выписан для продолжения лечения на третьем этапе медицинской реабилитации.

ЕГОРОВ А.В. И ДР. | ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ



**Рис. 2.** Динамика объема движений в плечевом суставе в ходе лечения пациента Н.: А — горизонтальное положение, В — вращательное движение

**Fig. 2.** Dynamics of the volume of movements in the shoulder joint during the treatment of patient N.: A — horizontal position, B — rotational movement



**Рис. 3.** Динамика объема движений в локтевом суставе (сгибание/разгибание) в ходе лечения пациента Н

**Fig. 3.** Dynamics of the volume of movements in the elbow joint (flexion/extension) during the treatment of patient N

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Включение в программу лечения пациентов с детским церебральным параличом (GMFCS II–III ст.) дополнительных занятий на роботизированном комплексе DIEGO показало положительную динамику

моторных навыков по шкалам мышечной силы и Эшворта, в связи с чем возможно рекомендовать данный метод как вспомогательный для использования в индивидуальной программе реабилитации таких пациентов.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

**Егоров Александр Витальевич**, врач физической и реабилитационной медицины, Федеральный центр травматологии, ортопедии и эндопротезирования Минздрава России (г. Чебоксары); ассистент кафедры травматологии, ортопедии и экстремальной медицины, Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова.

E-mail: aegorov@orthoscheb.ru;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8492-765X>

**Яковлева Светлана Константиновна**, врач-педиатр, врач-невролог, Федеральный центр травматологии, ортопедии и эндопротезирования Минздрава России (г. Чебоксары).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2583-7408>

**Петрова Роза Васильевна**, кандидат медицинских наук, заведующий отделением ранней медицинской реабилитации, руководитель Центра медицинской реабилитации, Федеральный центр травматологии, ортопедии и эндопротезирования Минздрава России (г. Чебоксары); старший преподаватель кафедры травматологии, ортопедии и экстремальной медицины, Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9596-4309>

**Преображенская Елена Васильевна**, начальник научно-образовательного отдела, Федеральный центр травматологии, ортопедии и эндопротезирования Минздрава России (г. Чебоксары).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3556-145X>

**Вклад авторов.** Авторы данного исследования подтверждают соответствие своего авторства, согласно международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследова-

ния и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределен следующим образом: Егоров А.В. — проведение исследования, анализ данных, написание черновика рукописи; Яковлева С.К. — обеспечение материалов для исследования, верификация данных, курация данных; Петрова Р.В. — руководство проектом, курирование проекта; Преображенская Е.В. — научное обоснование, методология, проверка и редактирование рукописи.

**Источник финансирования.** Данное исследование не было поддержано никакими внешними источниками финансирования.

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

**Этическое утверждение.** Авторы заявляют, что все процедуры, использованные в данной статье, соответствуют этическим стандартам учреждений, проводивших исследование, и соответствуют Хельсинкской декларации в редакции 2013 года. Исследование одобрено локальным этическим комитетом ФГБУ «Федеральный центр травматологии, ортопедии и эндопротезирования» Минздрава России (г. Чебоксары, Россия); протокол № 10 от 30.11.2023).

**Информированное согласие.** В исследовании не раскрывается сведений, позволяющих идентифицировать личность пациента(ов). От всех пациентов (законных представителей) было получено письменное согласие на публикацию всей соответствующей медицинской информации, включенной в рукопись.

**Доступ к данным.** Данные, подтверждающие выводы этого исследования, можно получить по обоснованному запросу у корреспондирующего автора.

## ADDITIONAL INFORMATION

**Aleksandr V. Egorov**, Doctor of Physical and Rehabilitation Medicine, Federal Center for Traumatology, Orthopedics and Arthroplasty (Cheboksary); Assistant of the Department of Traumatology, Orthopedics and Extreme Medicine, Chuvash State University named after I.N. Ulyanov.

E-mail: aegorov@orthoscheb.ru;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8492-765X>

**Svetlana K. Yakovleva**, Pediatrician, Neurologist, Federal Center for Traumatology, Orthopedics and Arthroplasty (Cheboksary).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2583-7408>

**Roza V. Petrova**, Head of the Department of Early Medical Rehabilitation, Head of the Medical Rehabilitation Center, Federal Center for Traumatology, Orthopedics and Arthroplasty (Cheboksary); Senior Lecturer at the Department of Traumatology, Orthopedics and Extreme Medicine, Chuvash State University named after I.N. Ulyanov.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9596-4309>

**Elena V. Preobrazhenskaya**, Head of the Scientific and Educational Department, Federal Center for Traumatology, Orthopedics and Arthroplasty (Cheboksary).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3556-145X>

**Author Contributions.** All authors confirm their authorship according to the international ICMJE criteria (all authors contributed significantly to the conception, study design and preparation of the article, read and approved the final version before publication). Special contributions: Egorov A.V. — investigation, formal analysis, writing — original draft; Yakovleva S.K. — resources, validation, data curation; Petrova R.V. — supervision, project administration; Preobrazhenskaya E.V. — conceptualization, methodology, writing — review & editing.

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

**Disclosure.** The authors declare no apparent or potential conflicts of interest related to the publication of this article.

**Ethics Approval.** The authors declare that all procedures used in this article are in accordance with the ethical standards of the institutions that conducted the study and are consistent with the 2013 Declaration of Helsinki. The study was approved by the Local Ethics Committee of the Federal State Budgetary Institution “Federal Center for Traumatology, Orthopedics and Arthroplasty” of the Ministry of Health of the Russian Federation, Cheboksary, Russia (Protocol No. 10 dated 30.11.2023).

**Informed Consent for Publication.** The study does not disclose information to identify the patient(s). Written consent was obtained from the patient for publication of relevant medical information.

**Data Access Statement.** The data that support the findings of this study are available on reasonable request from the corresponding author.

## Список литературы / References

1. Бугун О.В., Машанская А.В., Аталян А.В. и др. Комплексная реабилитация пациентов с двигательными нарушениями при спастических формах ДЦП. *Acta biomedica scientifica*. 2021; 6(6–2): 82–91. <https://doi.org/10.29413/ABS.2021-6.6-2.9> [Bugun O.V., Mashanskaya A.V., Atalyan A.V., et al. Comprehensive rehabilitation of patients with motor disorders and spastic forms of cerebral palsy. *Acta biomedica scientifica*. 2021; 6(6–2): 82–91. <https://doi.org/10.29413/ABS.2021-6.6-2.9> (In Russ.).]
2. Союз педиатров России. Клинические рекомендации «Детский церебральный паралич (ДЦП)». Москва. 2017; 62 с. Доступно на: [https://rehabrus.ru/Docs/2017/06/KR\\_DPC.pdf](https://rehabrus.ru/Docs/2017/06/KR_DPC.pdf) (Дата обращения 01.07.2024). [The Union of Pediatricians of Russia. Clinical recommendations «Cerebral palsy (cerebral palsy)». 2017; 62 p. Available at: [https://rehabrus.ru/Docs/2017/06/KR\\_DPC.pdf](https://rehabrus.ru/Docs/2017/06/KR_DPC.pdf) (Accessed 01.07.2024) (In Russ.).]
3. Куренков А.Л., Ключкова О.А., Бурсагова Б.И. и др. Применение препарата ботулинического токсина типа А (Ботокс) в лечении детского церебрального паралича. *Нервно-мышечные болезни*. 2014; 3: 28–41. <https://doi.org/10.17650/2222-8721-2014-0-3-28-41> [Kurenkov A.L., Klochkova O.A., Bursagova B.I., et al. Use of botulinum toxin type A (Botox) in the treatment of infantile cerebral palsy. *Neuromuscular Diseases*. 2014; 3: 28–41. <https://doi.org/10.17650/2222-8721-2014-0-3-28-41> (In Russ.).]
4. Микитченко Н.А., Дегтярева М.Г., Иванова И.И. и др. Войта-терапия в медицинской реабилитации детей с последствиями перинатальных поражений центральной нервной системы. *Вестник восстановительной медицины*. 2022; 21 (4): 51–59. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2022-21-4-51-59> [Mikitchenko N.A., Degtyareva M.G., Ivanova I.I., et al. Vojta Therapy in Medical Rehabilitation of Children with Consequences of Perinatal Central Nervous System Affections. *Bulletin of Rehabilitation Medicine*. 2022; 21(4): 51–59. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2022-21-4-51-59> (In Russ.).]
5. Вовченко А.В., Фисенко В.С., Грибов Д.Е. и др. Состояние и динамика инвалидности, комплексная реабилитация и абилитация инвалидов и детей-инвалидов в Российской Федерации: ежегодный доклад. Отчет о НИР. 2022. 436 с. [Vovchenko A.V., Fisenko V.S., Gribov D.E., et al. The state and dynamics of disability, comprehensive rehabilitation and habilitation of disabled people and children with disabilities in the Russian Federation: annual report. *Research Report*. 2022. 436 p. (In Russ.).]
6. Ключкова О.А., Куренков А.Л. Ботулинотерапия при детском церебральном параличе. Практические советы и ультразвуковой контроль. 2-е изд., перераб. и доп. Москва: МедПресс-Информ. 2023; 248 с. [Klochkova O.A., Kurenkov A.L. Botulinum therapy for cerebral palsy. *Practical tips and ultrasound control*. 2nd Ed., reprint. and additional. Moscow; MedPress-Inform. 2023; 248 p. (In Russ.).]
7. Яковлева С.К., Андреева В.Э., Преображенская Е.В. и др. Реабилитационный маршрут ребенка с детским церебральным параличом: опыт Чувашии. *Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация*. 2021; 3(1): 149–158. <https://doi.org/10.36425/rehab46598> [Yakovleva S.K., Andreeva V.E., Preobrazhenskaya E.V., et al. Rehabilitation Route for a Child with Cerebral Palsy: the Experience of Chuvashia. *Physical and rehabilitation medicine, medical rehabilitation*. 2021; 3(1): 149–158. <https://doi.org/10.36425/rehab46598> (In Russ.).]
8. Huang C., Chen Y., Chen G., et al. Efficacy and safety of core stability training on gait of children with cerebral palsy: A protocol for a systematic review and meta-analysis. *Medicine (Baltimore)*. 2020; 99(2): e18609. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000018609>
9. Kolpashchikov D., Gerget O., Meshcheryakov R. Robotics in healthcare. *Intelligent systems reference library*. 2022; 212: 281–306. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-83620-7\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-030-83620-7_12)
10. Алиева А.А., Алиева Х.М., Махмудова Т.А. и др. Характеристика реабилитационного потенциала и реабилитационного прогноза детей-инвалидов с детским церебральным параличом. *Медико-социальная экспертиза и реабилитация*. 2012; 15(4): 24–27. <https://doi.org/10.17816/MSER35699> [Alieva A.A., Alieva H.M., Makhmudova T.A., et al. Characteristics of the rehabilitation potential and rehabilitation prognosis of disabled children with cerebral palsy. *Medical and social expertise and rehabilitation*. 2012; 15(4): 24–27. <https://doi.org/10.17816/MSER35699> (In Russ.).]
11. Дунаева В.А., Ключкин А.В. Механотерапевтические аппараты и датчики. Актуальные вопросы современной науки и образования. Сборник статей XIX Международной научно-практической конференции 20.05.2022. Часть 1. Пенза: Наука и просвещение. 2022; с. 80–84. [Dunaeva V.A., Klyuchkin A.V. Mechanotherapeutic devices and sensors. *Topical issues of modern science and education*. Collection of articles of the XIX International Scientific and Practical Conference. Part 1. Penza: Science and Education. 2022; pp. 80–84. (In Russ.).]
12. Попадюха Ю.А., Лазарева Е.Б. Применение роботизированного комплекса «Amadeo» для восстановления и развития мелкой моторики кисти у больных ортопедо-травматологического и неврологического профиля. *Современные здоровьесберегающие технологии*. 2017; 1:149-161. [Popadyukha Yu.A., Lazareva E.B. The application of the robotic system “Amadeo” for recovering and improvement of the shallow motor skills in patients with orthopedic trauma and neurological disorders *Modern health-saving technologies*. 2017; 1: 149–161. (In Russ.).]
13. Солопова И.А., Мошонкина Т.Р., Умнов В.В. и др. Нейрореабилитация пациентов с детским церебральным параличом. *Физиология человека*. 2015; 41(4): 123. <https://doi.org/10.7868/S0131164615040153> [Solopova I.A., Moshonkina T.R., Umnov V.V., et al. Neurorehabilitation of patients with cerebral palsy. *Human physiology*. 2015; 41(4): 123. <https://doi.org/10.7868/S0131164615040153> (In Russ.).]
14. Корсунская Л.Л., Ротанов А.Г., Савельев П.В. и др. Перспективы использования виртуальной реальности для повышения эффективности реабилитации пациентов с ДЦП с применением роботизированных устройств и биологической обратной связи. *Детская и подростковая реабилитация*. 2021; 2(45): 13–17. [Korsunskaya L.L., Rotanov A.G., Savelyev P.V., et al. The prospects of using virtual reality to improve the effectiveness of rehabilitation of patients with cerebral palsy using robotic devices and biofeedback. *Child and adolescent rehabilitation*. 2021; 2(45): 13–17 (In Russ.).]
15. Бердина О.Н., Михнович В.И., Белогорова Т.А. и др. Эффективные возможности применения роботизированной биомеханотерапии в реабилитации пациентов с детским церебральным параличом. *Фарматека*. 2018; 54: 54–57. <https://dx.doi.org/10.18565/pharmateca.2018.s4.54-57> [Berdina O.N., Mikhnovich V.I., Belogorova T.A., et al. Effective possibilities of using robotic biomechanotherapy in the rehabilitation of patients with cerebral palsy. *Pharmateca*. 2018; 54: 54–57. <https://dx.doi.org/10.18565/pharmateca.2018.s4.54-57> (In Russ.).]
16. Яковлева С.К., Петрова Р.В., Грачева Т.М. и др. Опыт применения роботизированной механотерапии комплекса «LOCOMAT PRO» у детей с двигательными нарушениями в условиях ФГБУ «ФЦТОЭ» Минздрава России (г. Чебоксары). *Вопросы медицинской реабилитации: сборник научных трудов по итогам Межрегиональной научно-практической конференции*. Чебоксары: Издательство Чувашского университета. 2018; 188 с. [Yakovleva S.K., Petrova R.V., Gracheva T.M., et al. The experience of using robotic mechanotherapy of the «LOCOMAT PRO» complex in children with motor disorders in the conditions of the FSBI «FCTOA» of the Ministry of Health of the Russian Federation (Cheboksary). *Issues of medical rehabilitation: collection of scientific papers on the results of the Interregional scientific-practical conference*. Cheboksary: Chuvash University Publishing House. 2018; 188 p. (In Russ.).]
17. Duke R.E., Terty C., Okorie U., et al. Bowman R. Pattern of comorbidities in school-aged children with cerebral palsy in Cross River State, Nigeria. *BMC Pediatr*. 2021; 21(1): 165. <https://doi.org/10.1186/s12887-021-02637-9>

18. Bohannon R.W., Smith M.B. Interrater reliability of a modified Ashworth scale of muscle spasticity. *Phys Ther.* 1987; 7(2): 206–207. <https://doi.org/10.1093/ptj/67.2.206>
19. Outsika C., Vangelis K., Ioanna P., et al. Bradykinesia assessment in children with cerebral palsy and periventricular leukomalacia. *Eur J Paediatr Neurol.* 2023; 42: 71–74. <https://doi.org/10.1016/j.ejpn.2022.11.008>
20. Yazıcı M., Livanelioğlu A. Gücüyener K., et al. Effects of robotic rehabilitation on walking and balance in pediatric patients with hemiparetic cerebral palsy. *Gait Posture.* 2019; 70: 397–402. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2019.03.017>
21. Burrough M., Garrod R., Moys R., Kelly G.A knowledge translation approach to implementation of upper limb robotics in the rehabilitation of children with acquired brain injury, *Archives of Disease in Childhood (ADC)* 2023; 108(Suppl. 2): A41.2–A42. <https://doi.org/10.1136/archdischild-2023-rcpch.68>
22. Андреев В.Н., Добрынина Л.А. Физическая реабилитация мужчин после ишемического инсульта на основе применения роботизированного комплекса «diego» с биологической обратной связью. Физическая реабилитация и спортивная медицина: наука и практика. Материалы XI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Москва: РУС «ГЦОЛИФК». 2023; с. 9–13. [Andreev V.N., Dobrynina L.A. Physical rehabilitation of men after ischemic stroke based on the use of a robotic complex «diego» with biofeedback. Physical rehabilitation and sports medicine: science and practice. Materials of XI All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation. Moscow: RUS «GTSOLIFK», 2023; pp. 9–13 (In Russ.).]