https://doi.org/10.15690/pf.v21i6.2839

Check for updates

У.Ш. Ашрафова, А.М. Мамедьяров, Е.К. Кармазина, О.А. Клочкова, О.С. Куприянова

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

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

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

Обоснование. *В настоящее время механотерапия широко применяется в реабилитации преимущественно взрослых пациентов и подростков. Возможности применения этой методики у детей раннего, дошкольного и младшего школьного возраста ограниченны вследствие минимальной представленности специализированных аппаратов.* ***Цель исследования*** *— оценка эффективности комплексной реабилитационной программы с включением ручного тренажера HandTutor и стабилометрического постурального контроля с использованием метода биологической обратной связи у детей дошкольного и младшего школьного возраста, страдающих детским церебральным параличом (ДЦП).* ***Материалы и методы.*** *Под наблюдением находились 40 детей в возрасте от 3 до 7 лет с диагнозом ДЦП и двигательными нарушениями. Эффективность проведенной программы оценивалась с применением шкал и данных аппаратных измерений (HandTutor, «Амблиотрон»).* ***Результаты.*** *Согласно гониометрическим изменениям и данным по шкале Эшворта, после реабилитации пациенты демонстрируют достоверно большую амплитуду движений, чем до лечения ($p < 0,05$). Статистически значимо улучшились показатели площади центра давления и его колебания в виде улучшения устойчивости ($p \leq 0,01$), рисунка вертикальной позы, ходьбы и постурального контроля в целом.* ***Заключение.*** *После лечения у пациентов наблюдались заметное снижение степени мышечной спастичности пораженной конечности, увеличение мышечной силы, улучшение мелкой и крупной моторики рук, мануальных навыков. Таким образом, результаты исследования демонстрируют высокую эффективность биомеханических методов воздействия, а именно HandTutor и «Амблиотрон», на двигательную сферу пациентов с выраженными моторными нарушениями.*

Ключевые слова*: роботизированная механотерапия, детская реабилитация, детский церебральный паралич, спастичность, двигательные нарушения*

Для цитирования*:* Ашрафова У.Ш., Мамедьяров А.М., Кармазина Е.К., Клочкова О.А., Куприянова О.С. 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;21(6):481–491. doi: https://doi.org/10.15690/pf.v21i6.2839

ОБОСНОВАНИЕ

Сегодня механотерапия является одним из важных направлений в реабилитации, в основу которого заложено выполнение дозированных упражнений (в основном для отдельных сегментов конечностей), совершаемых с помощью специальных медицинских аппаратов, облегчающих движения или, наоборот, требующих дополнительных усилий для их осуществления [1].

Возможности современной реабилитации расширились благодаря появлению лечебных тренажеров [2].

За последнее десятилетие получен значительный объем доказательств, подтверждающих эффективность реабилитационных воздействий с использованием роботизированной механотерапии у подростков [3, 4], однако крайне мало публикаций о применении данной методики у детей раннего и дошкольного возраста. В то же время именно максимально раннее вмешательство повышает шансы в решении важной медико-социальной проблемы — осуществлении эффективной абилитации и реабилитации детей с двигательными нарушениями.

Несомненно, ключевым моментом служит проведение активной двигательной и когнитивной реабилитации [5]. Одновременно с этим существуют серьезные разногласия по поводу относительной эффективности различных подходов к восстановлению нарушенных функций.

Во всем мире непрерывно проводятся исследования, посвященные применению метода биологической обратной связи (БОС) в области восстановительной медицины, что говорит о значимости метода [6].

Использование БОС, в частности в детской реабилитации, имеет особую актуальность в наше время [7]. При совершении повторяющихся двигательных актов с использованием зрительной и звуковой информации о совершении движения в режиме реального времени при помощи компьютерных игр ребенок получает возможность сознательно корректировать выполняемое действие [7].

Большинство авторов отмечают целесообразность использования БОС-методик в комплексной реабилитации пациентов с острым нарушением мозгового кровообращения [8–10].

Для коррекции двигательных функций рук детей с детским церебральным параличом (ДЦП) разработан целый ряд роботизированных устройств. Один из таких аппаратов с БОС — ручной тренажер HandTutor, предназначенный для оценки сохранности и развития сенсорных, моторных и когнитивных функций. Аппарат применяется для восстановления функций кисти и пальцев, нарушенных вследствие различных неврологических заболеваний.

В педиатрической практике использование БОС-терапии является приоритетным направлением восстановительной медицины, которая позволяет естественным, безмедикаментозным способом оптимизировать и скорректировать нарушенные физиологические функции пациента.

Таким образом, научное обоснование и разработка персонализированных алгоритмов с применением механотерапии в комплексной реабилитации детей-инвалидов дошкольного и младшего школьного возраста с задержкой формирования моторных навыков и двигательными нарушениями является актуальной темой.

Цель исследования

Оценить эффективность комплексной реабилитационной программы с включением ручного тренажера HandTutor и стабилометрического постурального контроля с использованием метода БОС у детей дошкольного и младшего школьного возраста с ДЦП.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В статье представлены промежуточные результаты научно-исследовательской работы «Разработка технологии применения роботизированной механотерапии у детей-инвалидов дошкольного и младшего школьного возраста для формирования правильного паттерна самостоятельных движений. FURG-2023-0076», выполняемой в НИИ педиатрии и охраны здоровья детей НКЦ №2 ФГБНУ «РНЦХ им. акад. Б.В. Петровского».

Дизайн исследования

Выполнено проспективное наблюдательное исследование 40 детей, из которых 54% (n = 22) составляли мальчики, 46% (n = 18) — девочки, с двигательными нарушениями со следующими формами ДЦП: 1-я группа — со спастической диплегией (87,5%; n = 35), 2-я группа — со спастической гемиплегией (7,5%; n = 3), 3-я группа — со спастико-гиперкинетической формой (5%; n = 2).

Средний возраст пациентов составил 5,6 ± 1,88 года.

Госпитализация осуществлялась в отделение детской психоневрологии НИИ педиатрии и охраны здоровья детей НКЦ №2 ФГБНУ «РНЦХ им. акад. Б.В. Петровского», где детям проводилось восстановительное лечение в течение 10 дней.

Все пациенты, включенные в исследование, находились под наблюдением мультидисциплинарной команды, состоявшей из педиатра, невролога, ортопеда, врача лечебной физической культуры (ЛФК) и физиотерапевта, активно взаимодействовавших между собой с первых дней и до завершения курса реабилитации. Длительность каждой процедуры составляла около 30 мин, длитель-

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

Research Institute of Pediatrics and Children's Health in Petrovsky National Research Centre of Surgery, Moscow, Russian Federation

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

Background. *Currently, mechanotherapy is widely used in the rehabilitation of mainly adult patients and adolescents. The possibilities of using this technique in children of early, preschool and primary school age are limited due to the minimal presence of specialized devices.* ***The aim of the study is*** *the assessment of the effectiveness of a comprehensive rehabilitation program with the inclusion of a HandTutor hand simulator and stabilometrical postural control using the biofeedback method in preschool and primary school age children suffering from infantile cerebral palsy (ICP).* ***Materials and methods.*** *40 children aged 3 to 7 years with motor disorders with a diagnosis of ICP were under observation. The effectiveness of the program was evaluated using scales and hardware measurement data (HandTutor, "Amblyotron").* ***Results.*** *According to goniometric changes and data on the Ashworth scale, after rehabilitation, patients demonstrate a greater range of movements than before treatment ($p < 0.05$). The indicators of the area of the pressure center and its fluctuations have significantly improved in the form of improved stability ($p \leq 0.01$), the pattern of vertical posture, walking and postural control in general.* ***Conclusion.*** *After treatment, patients showed a marked decrease in the degree of muscle spasticity of the affected limb, an increase in muscle strength, an improvement in fine and large hand motor skills, and manual skills. Thus, the results of the study demonstrate the high effectiveness of biomechanical methods of influence, namely HandTutor and "Amblyotron", on the motor sphere of patients with severe motor disorders.*

Keywords*: robotic mechanotherapy, children's rehabilitation, infantile cerebral palsy, spasticity, motor disorders*

For citation*:* Ashrafova Ulviya Sh., Mamedyarov Ayaz M., Karmazina Elena K., Klochkova Olga A., Kuprianova Olga S. 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. *Pediatricheskaya farmakologiya — Pediatric pharmacology*. 2024;21(6):481–491. (In Russ). doi: https://doi.org/10.15690/pf.v21i6.2839

ность курса — 10 дней. В 1-й день врачи оценивали реабилитационный потенциал пациента, а на 10-е сут — эффективность реабилитации, используя современные шкалы, тесты, данные аппаратно-программного обеспечения, позволяющие оценить изменения биомеханических показателей и показателей работоспособности той или иной группы мышц.

У всех пациентов выясняли анамнез, оценивали основные антропометрические показатели (рост, масса), проводился неврологический и ортопедический осмотр. На основании параметров пациента осуществляли выбор индивидуальных реабилитационных мероприятий: механотерапию, кинезиотейпирование, коррекцию нарушений двигательной функции при помощи БОС (HandTutor, «Амблиотрон», тредмил), общий массаж, лечебную физкультуру с применением пассивных упражнений с инструктором ЛФК по индивидуальной программе, коррекцию нарушения двигательной функции с использованием компьютерных технологий (HandTutor), сухие иммерсионные ванны (кровать «Сатурн»), электрофорез синусоидальными модулированными токами (СМТ-форез; 2 поля).

Критерии соответствия

В исследование были включены 40 пациентов.

Критерии включения:

- диагноз ДЦП;
- возраст от 3 лет 1 мес до 7 лет 11 мес;
- наличие двигательных нарушений уровня I–II 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.

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.

Методы оценки целевых показателей

Оценку мышечного тонуса проводили с применением модифицированной шкалы Эшворта. Данный тест широко используется для определения спастичности у пациентов с церебральными параличами и другими состояниями, сопровождающимися повышением мышечного тонуса [12, 13]. Модифицированная шкала Эшворта (табл. 1) включает следующие градации: 0, 1, 1+, 2, 3 и 4 (оценку осуществляют соответственно в баллах от 0 — «мышечный тонус не повышен» до 4 — «пораженный(е) сегмент(ы) неподвижны при сгибании или разгибании»). Указанная система оценок может представлять некоторую сложность, так как значение «1+» затруднительно интерпретировать, особенно при анализе данных. Авторы шкалы позиционируют шкалу как порядковую [12], и, таким образом, выраженность симптоматики каждой последующей градации возрастает линейно, поэтому градация «1+» может быть закодирована как «1,5», что позволяет полностью решить какие-либо трудности при анализе результатов [13].

Оценка объема движений в суставах осуществлялась с помощью гониометрии. Метод дает представление не только и не столько о пространственном соотношении костных структур, сколько о вовлечении различных групп мышц в ограничение подвижности различных сегментов тела, формирование патологической позы и двигательного стереотипа, а также о степени истинной спастичности. Выраженность истинной спастичности определяют, сравнивая объем движений, совершаемых во время пассивного движения, при медленном и быстром тестировании.

Гониометрия верхних конечностей оценивалась при применении ручного тренажера HandTutor.

Для оценки статической функции (способность удерживать тело в пространстве) с целью определения качественного и количественного анализа основных позометрических параметров (симметричность движения, сила, координация, антиципация, равновесие) использовалась балансовая стабилоплатформа («Амблиотрон»).

Таблица 1. Модифицированная шкала спастичности Эшворта
Table 1. Modified Ashworth Scale

Степень	Описание
0	Мышечный тонус не повышен
1	Незначительное повышение тонуса мышц, характеризующееся наличием симптома “catch” или минимальным сопротивлением в конце объема движения, при сгибании или разгибании сегмента конечности
1+	Незначительное повышение тонуса мышц, характеризующееся наличием симптома “catch” и следующим за ним минимальным сопротивлением на протяжении менее чем 1/2 объема движения
2	Более значительное увеличением тонуса мышц практически во всем объеме движения, но движение производится достаточно легко
3	Значительное увеличение мышечного тонуса, пассивные движения затруднены
4	Пораженные сегменты конечности ригидны при сгибании и разгибании

Примечание. <*> “catch” — феномен «схватывания»: внезапная остановка движения в суставе, возникающая при быстром растяжении мышцы вследствие патологического растормаживания работы рефлекса «на растяжение».

Note. <*> “catch” phenomenon — a sudden stop of movement in a joint that occurs when a muscle is rapidly stretched due to pathological disinhibition of the work of the “stretch” reflex.

Стабилометрия (компьютерная постурография, постуральная диагностика) — один из методов диагностики и тренировки функции равновесия с БОС.

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.

Подографическое обследование включает в себя временные и пространственные параметры шага: в исследовании анализировали длину шага, ширину шага, время опоры на одну ногу, время переноса ноги во время шагового движения. В нашем исследовании использовалась компьютерная подография, встроенная в аппаратно-программный комплекс (АПК) тредмила. Оценка показателей проводилась с помощью встроенных в полотно тредмила специальных тензодатчиков (датчики давления).

Также анализировались биомеханические параметры походки по траекториям проекции цикла давления каждой конечности — по изображениям, выданным АПК в специальном режиме «Баттерфляй» (рис. 1). Такие данные подографии представляют собой изображения, где жирная линия показывает среднюю траекторию проекции центра давления, а светлые линии — индивидуальные циклы ходьбы. Данные результатов реализуются в виде кривых для каждой ноги, а также в виде суммарной результирующей циклической линии векторов давления в виде «бабочки».

Шкала клинического наблюдения походки (Observational Gait Scale; OGS) (табл. 2) — один из широко применяемых вариантов визуального анализа для пациентов с ДЦП [14]. Использование данного теста предполагает видеозапись (в стандартных клинических условиях, без специализированной лаборатории) ходьбы пациента с последующей оценкой параметров движения в пространстве. Максимальный возможный балл для каждой конечности по шкале составляет 22. Использование данного теста позволяет акцентировать внимание врача на ключевых параметрах нарушения походки, а также количественно оценить результаты и эффективность реабилитационного лечения.

Статистический анализ

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*). Для сравнительного анализа использован критерий Стьюдента для попарно связанных выборок для оценки эффективности проводимой реабилитации в динамике. Значение $p < 0,05$ рассматривалось как статистически значимое.

РЕЗУЛЬТАТЫ

По результатам проведенной реабилитации на фоне тренировок у всех пациентов (100%, $n = 40$) по данным гониометрии отмечалось увеличение объема движений в крупных суставах конечностей — локтевых (табл. 3), лучезапястных (табл. 4), тазобедренных (табл. 5), коленных (табл. 6) и голеностопных (табл. 7). По шкале Эшворта у 90% пациентов с 3 баллами до начала терапии после реабилитации отмечалось улучшение показателей в виде уменьшения патологического мышечного тонуса конечностей со снижением цифр до 50%. Динамика изменения составила улучшение в 1,8 раза.

Таким образом, можно сделать вывод об увеличении амплитуды движений в локтевых, лучезапястных, тазобедренных, коленных и голеностопных суставах на фоне проведенного полного курса реабилитации. Процент снижения общей амплитуды движения в суставах статистически достоверно отличался до и после реабилитации. Так, на момент обследования до начала лечения дефицит общей амплитуды движения в голе-

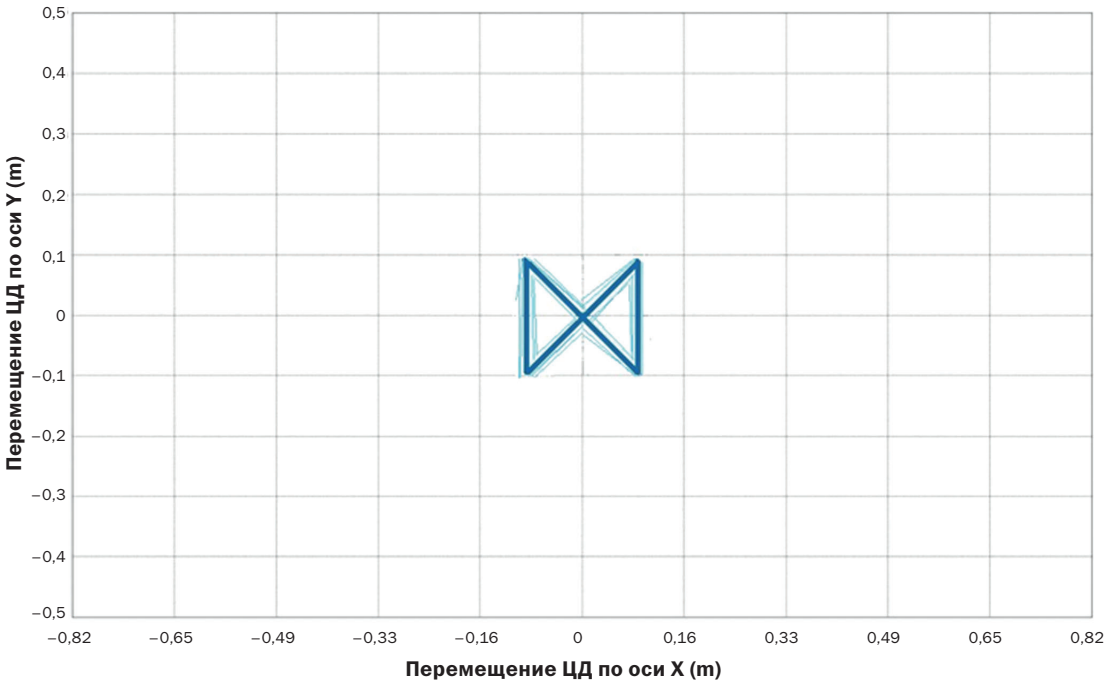

Рис. 1. Кривая здорового человека
Примечание. ЦД — центр давления.

Fig. 1. Healthy person tracing
Note. COP (ЦД) — center of pressure.

Таблица 2. Шкала клинического наблюдения походки (OGS)
Table 2. Observational Gait Scale (OGS)

Параметр оценки ходьбы	Определение		Правая нога	Левая нога
Положение колена в фазу опоры	“Crouch” (колено согнуто)	Тяжело: > 15°	0	0
		Выраженно: 10–15°	1	1
		Умеренно: < 10°	2	2
		Нейтральная позиция	3	3
	Рекурвация колена	Умеренно: < 5°	2	2
		Выраженно: 5–10°	1	1
		Тяжело: > 10°	0	0
Начальный контакт стопы с опорой	Пальцами стопы		0	0
	Передним отделом стопы		1	1
	Полной стопой		2	2
	Пяткой		3	3
Очередность контакта отделов стопы с опорой в фазу опоры	Пальцы стопы / пальцы стопы (эквинус)		–1	–1
	Полная стопа / ранний отрыв пятки		0	0
	Полная стопа / нет раннего отрыва пятки		1	1
	Периодически: опора на пятку / полную стопу		2	2
	Пятка / передний отдел стопы (нормальный «перекат»)		3	3
Время отрыва пятки от опоры	Контакт пятки с опорой отсутствует (фиксированный эквинус)		0	0
	Ранее 25% времени опоры (очень рано)		1	1
	Между 25–50% времени опоры (несколько раньше нормы)		2	2
	В конце фазы опоры		3	3
	Нет отрыва пятки (плоская стопа, “crouch”-походка)		0	0
Положение стопы в фазу опоры	Варусное		0	0
	Вальгусное		1	1
	Нейтральное		2	2
Площадь опоры	Отчетливый перекрест ног		0	0
	Узкая площадь опоры (минимальное расстояние между коленями)		1	1
	Увеличенная площадь опоры		2	2
	Нормальная площадь опоры (на ширине плеч)		3	3
Использование вспомогательных средств для ходьбы	Ходунки (задние/передние), с посторонней помощью		0	0
	Ходунки, без посторонней помощи		1	1
	Костыли, трости		2	2
	Без вспомогательных средств на расстоянии 10 м		3	3
Изменения, достигаемые с использованием вспомогательных средств для ходьбы	Становится хуже		–1	–1
	Без изменений		1	1
	Становится лучше		2	2

ностопных суставах у пациентов составил 8,2°, а после курса реабилитации этот показатель улучшился и снизился до 6,4°.

По данным диагностических исследований на вышеописанных аппаратно-программных комплексах у пациентов также отмечалась положительная динамика в виде улучшения мелкой и крупной моторики. Спектр положительных динамических изменений представлен в виде гониометрических показателей, зафиксированных HandTutor (рис. 2). Результаты исследования показали более выраженную динамику по восстановлению объема движений в пальцах правой кисти. Этот факт может быть объяснен тем, что у большинства детей ведущей рукой является именно правая.

Таблица 3. Динамика показателей измерения амплитуды движений в локтевых суставах (угол, °) по гониометрии
Table 3. Indicators dynamics for measuring the amplitude of movements in the elbow joints (angle, °) by goniometry

Показатели		До лечения M ± SD	После лечения M ± SD	Значение *P*
Сгибание (норма 150–160°)	Левый	157 ± 2,90	160 ± 1,20	0,124
	Правый	155 ± 3,10	160 ± 1,40	**0,042**
Разгибание (норма 0–5°)	Левый	2 ± 0,40	4 ± 0,09	0,041
	Правый	3 ± 1,80	4 ± 0,08	0,279
Супинация (норма 90°)	Левый	45 ± 3,60	70 ± 4,35	0,053
	Правый	50 ± 2,80	70 ± 3,30	**0,024**
Пронация (норма 90°)	Левый	90 ± 3,90	90 ± 1,70	0,345
	Правый	90 ± 2,80	90 ± 2,40	0,420

Таблица 4. Динамика показателей измерения амплитуды движений в лучезапястных суставах (угол, °) по гониометрии
Table 4. Indicators dynamics for measuring the amplitude of movements in the wrist joints (angle, °) by goniometry

Показатели		До лечения M ± SD	После лечения M ± SD	Значение *P*
Сгибание (норма 80°)	Левый	80 ± 0,60	80 ± 0,565	0,276
	Правый	80 ± 0,77	80 ± 0,878	0,188
Разгибание (норма 70°)	Левый	38 ± 3,46	50 ± 3,34	0,070
	Правый	40 ± 4,68	50 ± 4,40	0,178
Отведение (норма 50–60°)	Левый	40 ± 2,20	45 ± 2,76	0,166
	Правый	38 ± 1,88	45 ± 1,56	0,058
Приведение (норма 30–40°)	Левый	20 ± 2,20	30 ± 2,34	**0,045**
	Правый	20 ± 2,30	30 ± 3,10	0,064

Таблица 5. Динамика показателей измерения амплитуды движений в тазобедренных суставах (угол, °) по гониометрии
Table 5. Indicators dynamics for measuring the amplitude of movements in the hip joints (angle, °) by goniometry

Показатели		До лечения M ± SD	После лечения M ± SD	Значение *P*
Отведение (норма 40–45°)	Левый	20 ± 2,6	35 ± 2,50	**0,047**
	Правый	20 ± 2,98	35 ± 3,23	0,098
Приведение (норма 20–30°)	Левый	25 ± 3,46	26 ± 2,98	0,198
	Правый	25 ± 4,68	27 ± 4,50	0,132
Сгибание (норма 120°)	Левый	80 ± 4,56	100 ± 5,20	0,026
	Правый	83 ± 2,54	102 ± 4,50	**0,046**
Разгибание (норма 30°)	Левый	0 ± 0,08	5 ± 3,600	**0,038**
	Правый	0 ± 0,04	5 ± 2,355	**0,042**
Ротация кнаружи (норма 45°)	Левый	28 ± 2,80	33 ± 2,00	0,140
	Правый	25 ± 3,00	35 ± 1,00	0,155
Ротация внутрь (норма 45°)	Левый	40 ± 2,80	40 ± 1,20	0,250
	Правый	40 ± 2,45	40 ± 3,20	0,332

Динамика статического баланса пациента также была положительной — среднее значение величины колебаний центра давления (в сагиттальной плоскости) до реабилитации составило 17,25 ± 5,23 мм, после 10-дневного курса лечебных мероприятий — 14,06 ± 7,09 мм. Изменение среднего значения смещения центра массы тела за период реабилитации было статистически значимым ($p \leq 0,01$), что свидетельствовало об уменьшении вариабельности перемещений тела в пространстве, указывало на повышение устойчивости пациентов в вертикальном положении и увеличение площади опоры к окончанию курса лечения.

Изменения походки пациентов, зафиксированные по шкале клинического наблюдения походки (OGS), показали положительный двигательный паттерн (рис. 3). Правая и левая нижние конечности оценивались отдельно, среднее значение максимального балла одной нижней конечности до начала терапии составило 10,65 бал-

Таблица 6. Динамика показателей измерения амплитуды движений в коленных суставах (угол, °) по гониометрии
Table 6. Indicators dynamics for measuring the amplitude of movements in the knee joints (angle, °) by goniometry

Показатели		До лечения M ± SD	После лечения M ± SD	Значение P
Сгибание (норма 40–60°)	Левый	90 ± 4,40	50 ± 5,20	**0,002**
	Правый	95 ± 4,45	50 ± 4,34	**0,001**
Разгибание (норма 180–175°)	Левый	175 ± 2,70	180 ± 2,00	**0,045**
	Правый	175 ± 5,00	180 ± 1,00	**0,056**

Таблица 7. Динамика показателей измерения амплитуды движений в голеностопных суставах (угол, °) по гониометрии
Table 7. Indicators dynamics for measuring the amplitude of movements in the ankle joints (angle, °) by goniometry

Показатели		До лечения M ± SD	После лечения M ± SD	Значение *P*
Сгибание тыльное (норма 45°)	Левый	45 ± 2,65	45 ± 3,25	0,356
	Правый	45 ± 4,40	45 ± 4,60	0,392
Разгибание подошвенное (норма 20°)	Левый	3 ± 4,78	15 ± 3,63	**< 0,001**
	Правый	5 ± 3,24	15 ± 3,64	**< 0,001**
Супинация (норма 30°)	Левый	12 ± 3,62	18 ± 4,46	**0,024**
	Правый	10 ± 2,78	17 ± 2,05	**0,012**
Пронация (норма 20°)	Левый	20 ± 4,58	20 ± 4,46	0,298
	Правый	20 ± 3,84	20 ± 4,68	0,362

ла, через 10 дней — 11,69 балла. Динамика изменения составила 1,04 балла.

Полученные в ходе подографического исследования показатели, представленные ниже (табл. 8), свидетельствуют о статистически значимом улучшении походки в виде увеличения длины шага, уменьшении времени опоры на правую и левую ногу, уменьшении ширины шага и частоты шагов, также улучшилось равновесие и уменьшилась асимметрия вертикальной позы и шага.

Также значимо улучшились графические результаты анализа походки по данным динамической подографии (рис. 4, 5).

На основании изменений в динамике показателей траектории центра давления (см. рис. 4, 5) в движении и улучшения баланса до и после реабилитации можно

Рис. 2. Анализ движений пальцев на каждой руке на аппарате HandTutor перед тренировочной сессией
Fig. 2. Analysis of finger movements on each hand on the HandTutor hand simulator before the training session

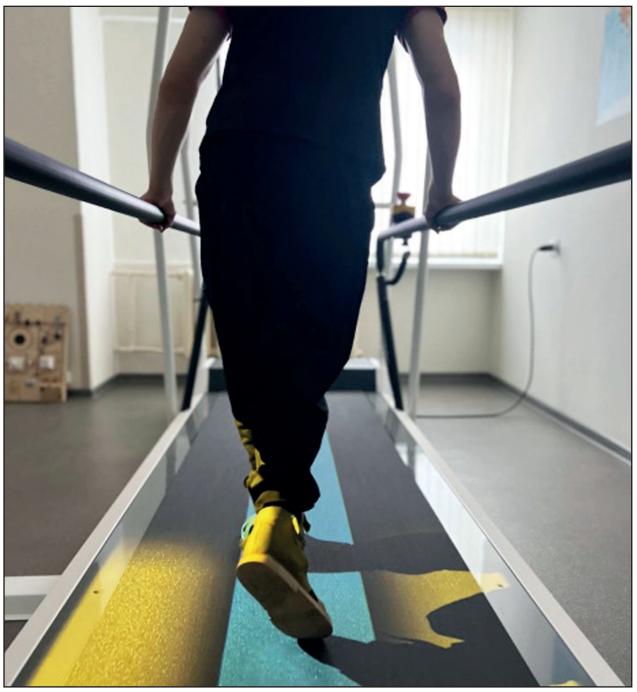

Рис. 3. Оценка походки по шкале OGS с использованием сенсорной беговой дорожки
Fig. 3. OGS gait assessment using a sensory treadmill

Таблица 8. Динамика показателей подографии
Table 8. Dynamics of podography indicators

Показатели		1-й день реабилитации	10-й день реабилитации	Динамика	Значение *P*
Длина шага, м	Левая	0,319 ± 0,05	0,357 ± 0,06	0,38	0,025
	Правая	0,315 ± 0,05	0,336 ± 0,04	0,21	0,017
Ширина шага, м		0,18 ± 0,03	0,16 ± 0,02	0,02	0,031
Время опоры, мин	Левая	1,36 ± 0,22	1,27 ± 0,15	0,09	0,053
	Правая	1,41 ± 0,04	1,33 ± 0,03	0,08	0,056
Дистанция, м		153 ± 1,24	164 ± 1,98	18	0,012
Распределение веса, %	Левая	86,6 ± 0,42	98,7 ± 0,56	12,1	0,055
	Правая	93,4 ± 0,48	99,8 ± 0,77	6,4	0,021
Частота шагов, в мин		81 ± 0,58	65,6 ± 0,78	15,4	0,007

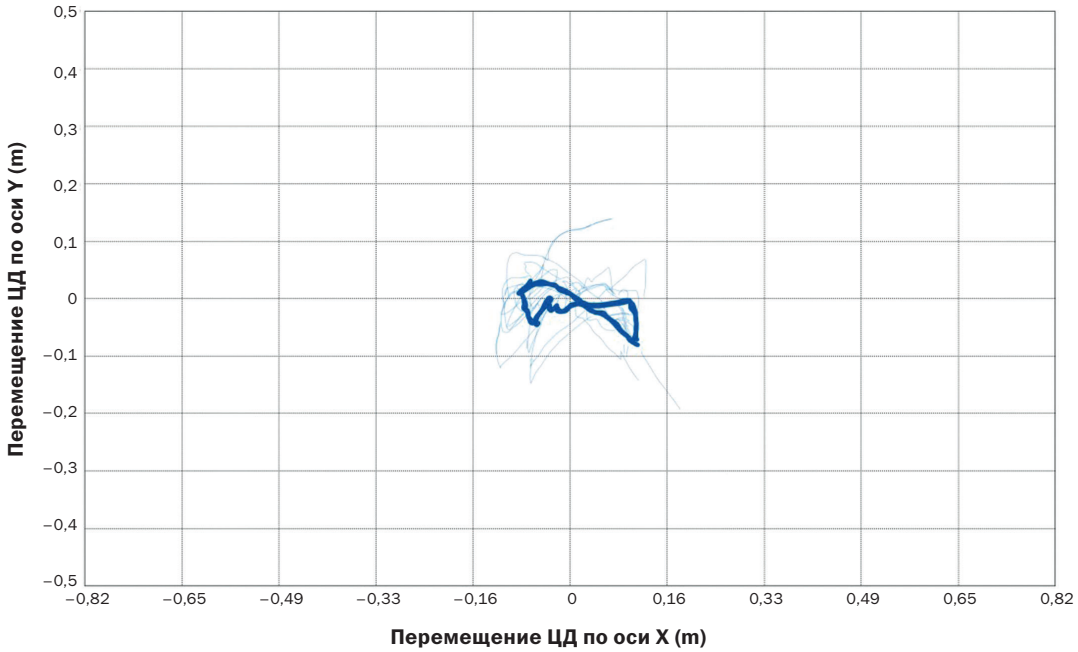

Рис. 4. Изображение траектории центра давления в режиме «Баттерфляй» на 1-й день реабилитации
Примечание. ЦД — центр давления.

Fig. 4. Image of the trajectory of the center of pressure in the "Butterfly" mode on the 1st day of rehabilitation
Note. COP (ЦД) — center of pressure.

сделать заключение и об улучшении постурального контроля.

ОБСУЖДЕНИЕ

До настоящего момента нет единого радикального способа лечения детей с ДЦП, по этой причине изучаются возможные преимущества комплексных программ.

Персонализированная технология применения роботизированной механотерапии в различных ее вариантах может значительно расширить алгоритмы диагностических и реабилитационных мероприятий, направленных на стимуляцию, правильное формирование паттерна моторных навыков и обеспечение наилучшей социализации детей дошкольного и младшего школьного возраста с двигательными нарушениями, в том числе пациентов с ДЦП.

По результатам проведенного нами исследования отмечается улучшение динамических показателей движений в суставах конечностей. Согласно результатам исследования, у пациентов после курса реабилитационных мероприятий наблюдалось существенное ($p < 0,05$) увеличение объемов движений в лучезапястных, локтевых, тазобедренных, коленных и голеностопных суставах.

Так, в проведенном исследовании прослеживалась тенденция к коррекции стереотипа ходьбы, что проявлялось улучшением скоростных и временных показателей шагового цикла при оценке по шкале OGS. При норме 62% от всей продолжительности цикла шага на стороне более значительного поражения можно обнаружить значительное сокращение периода опоры (до 40% и менее) и, соответственно, возрастание на другой стороне. При оценке данных подографического и стабилометрического исследований отмечалось 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. К концу реабилитации наблюдалась положительная динами-

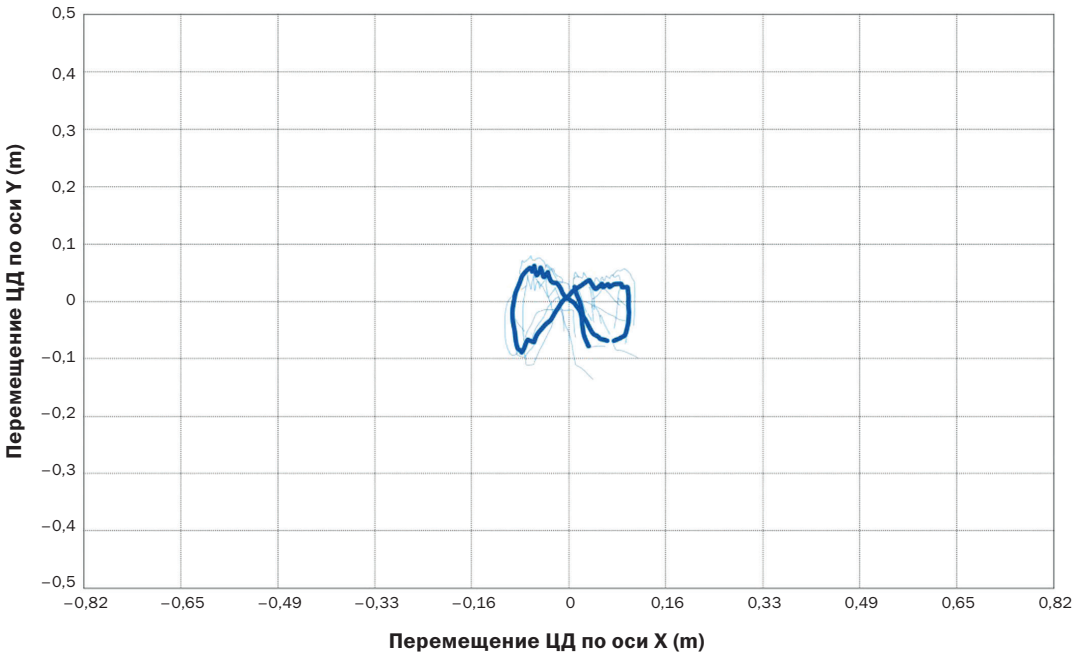

Рис. 5. Изображение траектории центра давления в режиме «Баттерфляй» на 10-й день реабилитации
Примечание. ЦД — центр давления.

Fig. 5. Image of the trajectory of the center of pressure in the "Butterfly" mode on the 10st day of rehabilitation
Note. COP (ЦД) — center of pressure.

ка 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.

Анализ диагностических исследований на аппаратно-программном аппарате HandTutor позволил выявить положительные изменения, проявляющиеся в увеличении активного диапазона движений, амплитуды кривой движения запястья и пальцев, улучшения координации в связи с увеличением силы мышц пальцев, повышения точности движений.

Результаты проведенных зарубежными коллегами [15, 16] и нашими соотечественниками [17, 18] исследований показали высокую эффективность реабилитационной программы с использованием ручного тренажера HandTutor с увеличением мышечной силы и роста показателей кистевой динамометрии, в частности при логопедической коррекции детей старшего дошкольного возраста с дизартрией [19].

Следует отметить, что результаты применения комбинации методик реабилитационного лечения, включающей одновременную разработку мелкой и крупной моторики с использованием БОС, у детей раннего и преддошкольного возраста с ДЦП в научной литературе не представлены.

Таким образом, анализ данных зарубежной и отечественной литературы показывает, что в настоящее время повышается интерес к применению роботизированных устройств в реабилитации детей с синдромом ДЦП [20].

Важной является выявленная прямая взаимосвязь психоэмоционального состояния ребенка с динамикой игры во время реабилитационных тренировок. Игровой подход, использованный в исследовании и персонализированной мультидисциплинарной реабилитационной программе, положительно мотивировал пациентов детского возраста к роботизированному обучению: перспектива улучшения результатов игры способствовала достижению оптимального результата лечения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Не существует единого стандарта для лечения двигательных нарушений у детей с ДЦП. Методы, которые обычно применяются для их лечения, сосредоточены на ранних вмешательствах, использующих преимущества нейропластичности мозга. Кроме того, двигательный тренинг, ориентированный на конкретные задачи и включающий в себя самопознание окружающей среды, повторяющиеся ежедневные упражнения для приобретения и совершенствования двигательных навыков и создания благоприятной среды для повышения интенсивности и разнообразия движений, также необходим и рекомендуется для данной группы детей. Важность последнего аспекта очевидна, поскольку лечение, разработанное в форме игры, гарантирует приверженность и непрерывность в силу особенностей данной популяции.

Обязательное включение механотерапии в комплекс реабилитационных мероприятий в настоящий момент не вызывает сомнения, так как может значительно повысить реабилитационный потенциал даже самых маленьких пациентов и значительно расширить двигательные возможности детей с различной неврологической патологией.

ВКЛАД АВТОРОВ

У.Ш. Ашрафова — концепция работы, написание статьи, редактирование.

А.М. Мамедьяров — изучение и анализ данных, итоговая переработка статьи.

Е.К. Кармазина — сбор данных, систематизация полученных результатов.

О.А. Клочкова — формулировка и развитие ключевых целей и задач, редактирование.

О.С. Куприянова — разработка дизайна, подготовка черновика рукописи.

AUTHORS' CONTRIBUTION

Ulviya Sh. Ashrafova — the concept and design of the study, writing, creating an illustration scheme, editing.

Ayaz M. Mamedyarov — data collection, editing.

Elena K. Karmazina — review and selection of publications on the topic of the article, creating an illustration scheme, systematization of the results obtained.

Olga A. Klochkova — formulation and development of key objectives and tasks, editing.

Olga S. Kuprianova — review and selection of publications on the topic of the article.

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
О.С. Куприянова
https://orcid.org/0000-0002-9816-6919

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. 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. [Ashrafova 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. *Pediatricheskaya farmakologiya — Pediatric pharmacology*. 2023;20(6):588–596. (In Russ). doi: https://doi.org/10.15690/pf.v20i6.2668]

2. Макарова М.Р., Лядов К.В., Кочетков А.В. Тренажерные аппараты и устройства в двигательной реабилитации неврологических больных // *Доктор.Ру*. — 2012. — № 10. — С. 54–62. [Makarova MR, Lyadov KV, Kochetkov AV. The role of exercise equipment and devices in motor rehabilitation of patients with neurological disorders. *Doctor.Ru*. 2012;(10):54–62. (In Russ).]

3. Meyer-Heim A, van Hedel HJ. Robot-assisted and computer-enhanced therapies for children with cerebral palsy: current state and clinical implementation. *Semin Pediatr Neurol*. 2013;20(2):139–145. doi: https://doi.org/10.1016/j.spen.2013.06.006

4. Meyer-Heim A, Borggräfe I, Ammann-Reiffer C, et al. Feasibility of robotic-assisted locomotor training in children with central gait impairment. *Dev Med Child Neurol*. 2007;49(12):900–906. doi: https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2007.00900.x

5. Суворова Т.Н., Грибова Н.П. Реабилитация пациентов в раннем восстановительном периоде ишемического инсульта. Опыт применения стабилотренинга с биологической обратной связью // *РМЖ*. — 2024. — № 4. — С. 3–7. [Suvorova TN, Gribova NP. Patient rehabilitation in the early recovery timeline of ischemic stroke. Experience of biofeedback stabilization training. *RMJ*. 2024;(4):3–7. (In Russ).]

6. Zhuang M, Wu Q, Wan F, et al. State-of-the-art non-invasive brain — computer interface for neural rehabilitation: a review. *J Neurorestoratol*. 2020;8(1):12–25. doi: https://doi.org/10.26599/JNR.2020.9040001

7. 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

8. Liao WC, Lai CL, Hsu PS, et al. Different weight shift trainings can improve the balance performance of patients with a chronic stroke: A randomized controlled trial. *Medicine (Baltimore)*. 2018;97(45):132. doi: https://doi.org/10.1097/MD.0000000000013207

9. Najafi Z, Rezaeitalab F, Yaghubi M, Manzari ZS. The Effect of Biofeedback on theotor- Muscular Situation in Rehabilitation of Stroke Patients: a Randomized Controlled Trial. *J Caring Sci*. 2018;7(2):89–93. doi: https://doi.org/10.15171/jcs.2018.014

10. Saita K, Morishita T, Arima H, et al. Biofeedback effect of hybrid assistive limb in stroke rehabilitation: A proof of concept study using functional near infrared spectroscopy. *PLoS One*. 2018;13(1):e0191361. doi: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0191361

11. 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

12. Bohannon RW, Smith MB. Interrater reliability of a modified Ashworth scale of muscle spasticity. *Phys Ther*. 1987;67(2):206–207. doi: https://doi.org/10.1093/ptj/67.2.206

13. Супонева Н.А., Юсупова Д.Г., Ильина К.А. и др. Валидация Модифицированной шкалы Эшворта (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, Ilyina 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]

14. Araújo PA, Kirkwood RN, Figueiredo FM. Validity and intra- and inter-rater reliability of the Observational Gait Scale for children with spastic cerebral palsy. *Braz J Phys Ther*. 2009;13(13):267–273.

15. Bayındır O, Akyüz G, Sekban N. The effect of adding robot-assisted hand rehabilitation to conventional rehabilitation program following stroke: A randomized-controlled study. *Turk J Phys Med Rehab*. 2022;68(2):254–261. doi: https://doi.org/10.5606/tftrd.2022.8705

16. Carmeli E, Peleg S, Bartur G, et al. HandTutor™ enhanced hand rehabilitation after stroke--a pilot study. *Physiother Res Int*. 2011;16(4):191–200. doi: https://doi.org/10.1002/pri.485

17. Каладинова Т.И., Медетбекова Ж.А. Эффективность мотивации в реабилитации пациентов с двигательными нарушениями в кисти на тренажере Hand Tutor // *Kazakh Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*. — 2019. — № 2. — С. 49–52. [Kaladinova TI, Medetbekova ZhA. The effectiveness of motivation in the rehabilitation of patients with movement disorders in the hand on the simulator Hand Tutor. *Kazakh Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*. 2019;(2):49–52. (In Russ).]

18. Аретинский В.Б., Телегина Е.В., Волкова Л.И. Восстановление двигательной функции кисти у больных с инсультом с использованием системы «Hand tutor» // *Уральский медицинский журнал*. — 2014. — № 9. — С. 46–49. [Aretinskij VB, Telegina EV, Volkova LI. Recovery of motor function of the hand of stroke patients using the "Hand tutor". *Ural Medical Journal*. 2014;(9):46–49. (In Russ).]

19. Медведева Е.Ю., Ольхина Е.А. Использование аппарата Hand Tutor в логопедической работе с детьми с дизартрией // *Перспективы Науки и Образования*. — 2017. — № 6. — С. 92–96. [Medvedeva EY, Olkhina EA. Using the appliance Hand Tutor in speech therapy to children with dysarthria. *Perspectives of Science & Education*. 2017;(6):92–96. (In Russ).]

20. 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: 10.20538/1682-0363-2020-3-156-165]

Статья поступила: 04.09.2024, **принята к печати:** 16.12.2024
The article was submitted 04.09.2024, **accepted for publication** 16.12.2024

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / ABOUT THE AUTHORS

Ашрафова Ульвия Шахиновна [***Ulviia Sh. Ashrafova***, MD]; **адрес**: 119333, г. Москва, ул. Фотиевой, д 10, стр. 1. [**address**: 10, Fotievoy Str., building 1, Moscow, 119333, Russian Federation]; **телефон**: +7 (968) 492-44-56; **e-mail**: doc.ashrafova@gmail.com; **e-Library SPIN**: 1711-8463

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

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

Клочкова Ольга Андреевна, к.м.н. [***Olga A. Klochkova***, MD, PhD]; **e-mail**: dc.klochkova@gmail.com; **e-Library SPIN**: 2999-4404

Куприянова Ольга Сергеевна [***Olga S. Kuprianova***, MD]; **e-mail**: makarenok-kuprik@yandex.ru; **e-Library SPIN**: 8919-1526