Сравнительная эффективность методов медицинской реабилитации у детей со спастической диплегией: многоканальная миостимуляция и гидрокинезиотерапия в условиях санаторно-курортного лечения

Э.А. Османов

Научно-исследовательский институт детской курортологии, физиотерапии и медицинской реабилитации, Евпатория, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Детский церебральный паралич (ДЦП), особенно спастическая диплегия, остаётся ведущей причиной двигательных нарушений у детей, с распространённостью 2–3 случая на 1000 человек. Несмотря на широкое применение санаторно-курортного лечения (СКЛ), комбинации с современными методами реабилитации изучены недостаточно, а данные об их сравнительной эффективности и долгосрочных эффектах ограничены.

Цель. Сравнить краткосрочную и долгосрочную (6 месяцев) эффективность комбинаций СКЛ с гидрокинезиотерапией, многоканальной миостимуляцией, вибротерапией и лечебной физкультурой (ЛФК) с утяжелением у детей 8–13 лет со спастической диплегией (GMFCS I–III).

Материалы и методы. Проспективное нерандомизированное контролируемое исследование проведено в условиях государственного санатория. Участники ($n=185$) распределены в 5 групп: основная (СКЛ+гидрокинезиотерапия, $n=45$), три группы сравнения (СКЛ+миостимуляция, вибротерапия, ЛФК; $n=30$ каждая) и контроль (СКЛ, $n=50$). Вмешательства включали гидрокинезиотерапию (30 мин/сеанс, 34–36 °С), многоканальную миостимуляцию (20–30 мин, 10–150 Гц), вибротерапию (50 Гц, 3–5 мин/зона), ЛФК с утяжелителями (1–5% от массы тела). Первичные исходы: снижение спастичности (шкала Эшворта) и улучшение моторных функций (GMFM). Оценка проведена на 1-й, 21-й день и через 6 месяцев с использованием клинических шкал, стабиллометрии и электромиографии.

Результаты. Все участники завершили курс лечения. Группы были сопоставимы по возрасту ($10,2 \pm 1,5$ года), полу (51% мальчиков) и GMFCS (I: 38–43%, II: 33–40%, III: 23–26%, $p > 0,05$). Наибольшее снижение спастичности зафиксировано в группе миостимуляции (Δ Ashworth=-25%, $p < 0,001$, $d=0,68$) относительно контроля ($\Delta=-5%$, $p=0,280$). Улучшение GMFM в группе 2 ($\Delta=+22%$, $p=0,002$, $d=0,89$) превзошло результаты гидротерапии ($\Delta=+18%$, $p=0,001$) и ЛФК ($\Delta=+13%$, $p=0,018$). Вибротерапия ассоциировалась с ухудшением баланса (Δ PBS=-0,49, $p=0,062$). В подгруппах GMFCS II ($n=72$) выявлена корреляция между снижением спастичности и улучшением стабиллометрии ($r=0,62$, $p=0,011$). Нежелательные явления отсутствовали.

Заключение. Многоканальная миостимуляция и гидрокинезиотерапия в сочетании с СКЛ продемонстрировали превосходство в снижении спастичности и улучшении моторных функций у детей со спастической диплегией, тогда как вибротерапия требует пересмотра

параметров. Результаты подтверждают целесообразность включения этих методов в клинические рекомендации, но долгосрочная эффективность и адаптация для тяжёлых форм ДЦП (GMFCS IV–V) остаются предметом дальнейших исследований.

Ключевые слова: ДЦП; санаторно-курортное лечение; реабилитация; многоканальная миостимуляция; гидрокинезиотерапия.

КАК ЦИТИРОВАТЬ:

Османов Э.А. Сравнительная эффективность методов медицинской реабилитации у детей со спастической диплегией: многоканальная миостимуляция и гидрокинезиотерапия в условиях санаторно-курортного лечения // Физиотерапия, бальнеология и реабилитация. 2025. Т. 24, № 4. С. XX–XX. DOI: 10.17816/rjpbbr680137 EDN: BWMKZG

Рукопись поступила: 22.05.2025 **Рукопись одобрена:** 13.06.2025 **Опубликована online:** 20.06.2025

Accepted for publication

Comparative effectiveness of medical rehabilitation methods in children with spastic diplegia: multichannel myostimulation and hydrokinesiotherapy in the conditions of sanatorium-resort treatment

Ernest A. Osmanov

Research Institute of Children's Resort, Physiotherapy and Medical Rehabilitation, Eypatoria, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: Cerebral palsy (CP), especially spastic diplegia, remains the leading cause of motor disorders in children, with a prevalence of 2–3 cases per 1,000. Despite the widespread use of sanatorium-resort treatment (SCL), combinations with modern rehabilitation methods have not been sufficiently studied, and data on their comparative effectiveness and long-term effects are limited.

AIM: To compare the short-term and long-term (6 months) efficacy of combinations of SCL with hydrokinesiotherapy, multichannel myostimulation, vibration therapy and physical therapy with weight loss in children aged 8–13 years with spastic diplegia (GMFCS I–III).

MATERIALS AND METHODS: A prospective non-randomized controlled trial was conducted in a state sanatorium. The participants ($n=185$) were divided into 5 groups: the main group (SCL+hydrokinesiotherapy, $n=45$), three comparison groups (SCL+myostimulation, vibration therapy, physical therapy; $n=30$ each) and the control group (SCL, $n=50$). The interventions included: Hydrokinesiotherapy (30 min/session, 34–36 °C); Multi-channel myostimulation (20–30 min, 10–150 Hz); Vibration therapy (50 Hz, 3–5 min/zone); Physical therapy with weights (1–5% of body weight). Primary outcomes: decreased spasticity (Ashworth scale) and improved motor function (GMFM). The assessment was performed on days 1, 21, and 6 months later using clinical scales, stabilometry, and electromyography.

RESULTS: All participants completed the course of treatment. The groups were comparable in age (10.2 ± 1.5 years), gender (51% of boys), and GMFCS (I: 38–43%, II: 33–40%, III: 23–26%, $p>0.05$). The greatest decrease in spasticity was recorded in the myostimulation group ($\Delta\text{Ashworth}=-25\%$, $p<0.001$, $d=0.68$) versus the control ($\Delta=-5\%$, $p=0.280$). The improvement in GMFM in group 2 ($\Delta=+22\%$, $p=0.002$, $d=0.89$) surpassed the results of hydrotherapy ($\Delta=+18\%$, $p=0.001$) and physical therapy ($\Delta=+13\%$, $p=0.018$). Vibration therapy was associated with a deterioration in balance ($\Delta\text{PBS}=-0.49$, $p=0.062$). In the GMFCS II subgroups ($n=72$), a correlation was found between a decrease in spasticity and an improvement in stabilometry ($r=0.62$, $p=0.011$). There were no adverse events.

CONCLUSIONS: Multichannel myostimulation and hydrokinesiotherapy in combination with SCL have demonstrated superiority in reducing spasticity and improving motor functions in children with spastic diplegia, whereas vibrotherapy requires a revision of parameters. The results confirm the feasibility of including these methods in clinical guidelines, but the long-term efficacy and adaptation for severe forms of cerebral palsy (GMFCS IV–V) remain the subject of further research.

Keywords: cerebral palsy; spa treatment; rehabilitation; multi-channel myostimulation; hydrokinesotherapy.

TO CITE THIS ARTICLE:

Osmanov EA. Comparative effectiveness of medical rehabilitation methods in children with spastic diplegia: multichannel myostimulation and hydrokinesiotherapy in the conditions of sanatorium-resort treatment. *Russian journal of the physical therapy, balneotherapy and rehabilitation*. 2025;24(4):XX-XX. DOI: 10.17816/rjpbbr680137 EDN: BWMKZG

Submitted: 22.05.2025 **Accepted:** 13.06.2025 **Published online:** 20.06.2025

Accepted for publication

ОБОСНОВАНИЕ

Детский церебральный паралич (ДЦП), занимающий лидирующие позиции в структуре детской неврологической инвалидности, представляет значимую медико-социальную проблему. Согласно данным Минздрава России (2022), распространённость ДЦП в стране достигает 2,4–3,1 случая на 1000 детей, при этом спастическая диплегия диагностируется у 35–40% пациентов [1]. Социально-экономическое бремя заболевания остается высоким: по оценкам НИИ реабилитации, ежегодные затраты на реабилитацию одного ребёнка с ДЦП составляют 1,2–1,8 млн рублей, а совокупные пожизненные расходы превышают 25 млн рублей [2]. Несмотря на широкое применение санаторно-курортного лечения (СКЛ), включающего бальнеотерапию, пелоидотерапию и массаж, его эффективность при спастической диплегии требует оптимизации за счёт комбинации с современными методами реабилитации [3].

Систематический обзор Santos и соавт. (2022) подтвердил, что гидрокинезиотерапия улучшает моторные функции у детей с ДЦП, однако большинство исследований охватывали гетерогенные группы (гемиплегия, тетраплегия), что ограничивает экстраполяцию результатов на спастическую диплегию [4]. Рандомизированное клиническое испытание, оценивающее метод Халливик, продемонстрировало позитивное влияние водной терапии на баланс, но не учитывало долгосрочные эффекты [5]. Аналогичные ограничения характерны для исследований многоканальной миостимуляции (NMES): метаанализ Kwon и соавт. (2021) выявил улучшение мобильности, однако долгосрочные результаты (>6 месяцев) остаются неисследованными, а вариабельность параметров стимуляции (частота, длительность) затрудняет формирование универсальных рекомендаций [6–8]. Критическим недостатком многих работ является малый размер выборки (<30 участников) и отсутствие стратификации по степени тяжести ДЦП, что снижает значимость выводов [9–12].

В отличие от предыдущих исследований, настоящая работа фокусируется преимущественно на спастической диплегии (GMFCS I–III), исключая пациентов с тяжёлыми формами (GMFCS IV–V), что минимизирует влияние гетерогенности популяции. Новизна исследования заключается в комплексной оценке как краткосрочных (21 день), так и долгосрочных (6 месяцев) эффектов комбинаций СКЛ с гидрокинезиотерапией, миостимуляцией, вибротерапией и лечебной физкультурой (ЛФК) с утяжелением. Впервые в рамках одного протокола применены объективные инструментальные методы (стабилометрия, электромиография) наряду с клиническими шкалами (Ashworth, GMFM), что повышает валидность результатов.

ЦЕЛЬ

Сравнить эффективность выбранных методов реабилитации у детей 8–13 лет со спастической диплегией, уделив особое внимание устойчивости достигнутых улучшений.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

ДИЗАЙН ИССЛЕДОВАНИЯ

Проведено проспективное интервенционное когортное одноцентровое выборочное контролируемое рандомизированное исследование.

Участники распределены в пять групп: основная группа (базовое санаторно-курортное лечение+гидрокинезиотерапия, $n=45$), группы сравнения (СКЛ+многоканальная

миостимуляция, $n=30$; СКЛ+вибротерапия, $n=30$; СКЛ+ЛФК с утяжелением, $n=30$) и контрольная группа (СКЛ, $n=50$). Распределение проводилось методом случайной доступности в зависимости от наличия свободных мест для процедур.

КРИТЕРИИ СООТВЕТСТВИЯ

Критерии включения:

- дети 8–13 лет со спастической диплегией (GMFCS I–III).

Критерии исключения:

- GMFCS IV–V;
- тяжёлые когнитивные нарушения, эпилепсия с неконтролируемыми приступами;
- острые инфекции, декомпенсированные соматические заболевания;
- противопоказания к процедурам (кожные патологии, металлические имплантаты, кардиостимуляторы);
- ботулинотерапия или хирургические вмешательства в предшествующие 6 месяцев.

УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ

Исследование проведено на базе Государственного бюджетного учреждения Республики Крым «Санаторий для детей и детей с родителями «Чайка» им. Гелимовичей».

ОПИСАНИЕ МЕДИЦИНСКОГО ВМЕШАТЕЛЬСТВА

Базовое санаторно-курортное лечение

Бальнеотерапия: хлоридно-натриевые ванны (концентрация 5–10 г/л, температура 35–37 °С, длительность 8–12 минут, курс 10–12 процедур).

Пелоидотерапия: сульфидные иловые грязи (температура 37–38 °С, аппликации на ленте вдоль спины, икроножных мышц, длительность 10–15 минут, курс 10 процедур).

Стандартные процедуры физиотерапии и массажа.

Гидрокинезиотерапия

Сеансы продолжительностью 30 минут (3 раза в неделю) в бассейне (глубина 1,2–1,5 м, температура 34–36 °С).

Упражнения: активные (плавание с досками, ходьба в воде) и пассивные (растяжка с инструктором).

Использование оборудования: нудлсы, утяжелители (1–3% от массы тела).

Многоканальная миостимуляция

Аппарат VY-1000 (частота 10–150 Гц), электроды нанесены на двигательные точки *m. tibialis anterior* и *m. gastrocnemius lateralis*. Сеансы длительностью 20–30 минут (2–3 раза в неделю, курс 10–20 процедур).

Вибротерапия

Аппарат ВМП-1 (частота 50 Гц, амплитуда 2–4 мм). Локальное воздействие на мышцы-антагонисты спастичных зон (3–5 минут на зону, курс 10–15 процедур).

Лечебная физкультура с утяжелением

Утяжелители (1–5% от массы тела), упражнения для нижних и верхних конечностей (приседания, подъём на носки, сгибание рук с гантелями). Длительность сеанса 25–30 минут (3–4 раза в неделю, курс 12–15 процедур).

ОСНОВНОЙ ИСХОД ИССЛЕДОВАНИЯ

Снижение спастичности: оценка по модифицированной шкале Эшворта (все группы мышц ног, невролог).

Динамика моторных функций: шкала GMFM (Gross Motor Function Measure).

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСХОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Мышечная сила: модифицированная шкала MRC (Medical Research Council).

Баланс: Pediatric Balance Scale (PBS) — 14 заданий, включая стояние на одной ноге, повороты на 360°, оценка устойчивости;

Стабилометрия: параметры скорости и площади колебаний центра давления (аппарат «МБН-Стабило»);

Электромиография: поверхностная ЭМГ (аппарат «Нейро-МВП») в покое и при произвольных движениях.

Бытовая адаптация: опросники для оценки повседневной активности.

Группы участников:

- группа 1 (основная; $n=45$): СКЛ+гидрокинезотерапия;
- группа 2 (сравнения; $n=30$): СКЛ+многоканальная миостимуляция;
- группа 3 (сравнения; $n=30$): СКЛ+вибротерапия;
- группа 4 (сравнения; $n=30$): СКЛ+ЛФК с утяжелением;
- группа 5 (контрольная; $n=50$): только СКЛ.

Критерии формирования групп:

- все участники соответствовали единым критериям включения (возраст 8–13 лет, спастическая диплегия, GMFCS I–III);
- распределение в группы проводилось по принципу доступности процедур в санатории, без рандомизации;
- группы были сопоставимы по базовым характеристикам: возраст (в среднем 10 лет), пол (соотношение м/ж 1:1), исходная степень спастичности (шкала Эшворта — $2,8 \pm 0,6$ балла) и уровень моторных функций (GMFCS I: 40%, II: 35%, III: 25%).

Сравнительный анализ был направлен:

- на оценку различий в динамике спастичности (шкала Эшворта) и моторных функций (GMFM, PBS) между всеми группами на 21-й день и через 6 месяцев;
- относительной эффективности каждого метода реабилитации по сравнению с контролем (СКЛ);
- взаимосвязи между типом вмешательства и объективными инструментальными показателями (стабилометрия, ЭМГ).

МЕТОДЫ РЕГИСТРАЦИИ ИСХОДОВ

Оценка проведена дважды: на 1-й и 21-й день.

ЭТИЧЕСКАЯ ЭКСПЕРТИЗА

Исследование проведено в 2023–2025 гг. и было одобрено этическим комитетом ГБУЗ РК «Научно-исследовательский институт детской курортологии, физиотерапии и медицинской реабилитации» (протокол исследования № 21 от 14 декабря 2022 г.). Получено информированное согласие от родителей / опекунов всех участников.

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Размер выборки предварительно не рассчитывался.

Данные обработаны в IBM SPSS Statistics 27.0. Нормальность распределения проверена

с помощью критерия Шапиро–Уилка. Для параметрических данных использованы парный t-критерий и ANOVA с поправкой Бонферрони, для непараметрических — критерий Уилкоксона и Краскела–Уоллиса. Результаты представлены медианой (25%; 75%). Корреляционный анализ выполнен с применением коэффициента Пирсона / Спирмена. Уровень значимости — $p < 0,05$.

Вторичный анализ включал попарное сравнение групп с применением t-критерия Стьюдента и U-критерия Манна–Уитни.

Коррекция на множественные сравнения выполнена методом Бенджамини–Хохберга.

Исходные данные: категориальные переменные (пол, GMFCS): критерий хи-квадрат или точный тест Фишера.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Исходные данные участников представлены в **табл. 1**.

Таблица 1. Исходные характеристики участников

Table 1. Baseline characteristics of participants

Параметр	Группа 1 (n=45)	Группа 2 (n=30)	Группа 3 (n=30)	Группа 4 (n=30)	Контроль (n=50)	<i>p</i>
Возраст (лет)	10,2±1,5	9,8±1,7	10,5±1,3	10,1±1,6	10,3±1,4	0,78
Пол (м/ж)	23/22	15/15	16/14	14/16	26/24	0,92
GMFCS I (%)	18 (40)	13 (43)	11 (37)	13 (42)	19 (38)	0,85
GMFCS II (%)	16 (36)	10 (33)	12 (40)	10 (33)	18 (36)	0,91
GMFCS III (%)	11 (24)	7 (23)	7 (23)	7 (25)	13 (26)	0,89
GMFM (66)	48,7±7,3	50,0±7,5	48,2±7,2	49,0±7,3	50,0±7,5	0,84
Исходный Ashworth	2,8±0,6	2,9±0,5	2,7±0,7	2,8±0,6	2,7±0,5	0,67
MRC (баллы)	2,6±0,4	2,5±0,3	2,7±0,5	2,6±0,4	2,5±0,3	0,72
PBS (баллы)	32±5	31±4	33±6	30±5	34±4	0,63

Динамика после проведённого курса лечения для соответствующих групп представлена в **табл. 2**.

Таблица 2. Абсолютные значения и размер эффекта (Cohen's d) после реабилитации (M±SD)

Table 2. Absolute values and effect size (Cohen's d) after rehabilitation (M±SD)

Параметр	Группа 1 (n=45)	Группа 2 (n=30)	Группа 3 (n=30)	Группа 4 (n=30)	Контроль (n=50)
Ashworth	2,38±0,36	2,32±0,35	2,43±0,36	2,44±0,37	2,57±0,39
Размер эффекта (г)	0,51	0,68	0,37	0,35	–
<i>p</i>	0,003	0,0002	0,082	0,093	
GMFM	57,5±8,6	61,0±9,2	54,0±8,1	56,3±8,4	53,0±8,0
Размер эффекта (г)	0,53	0,89	0,12	0,39	–
<i>p</i>	0,001	0,0021	0,451	0,018	
MRC	2,80±0,42	3,00±0,45	2,72±0,41	2,89±0,43	2,63±0,39
Размер эффекта (г)	0,41	0,88	0,23	0,62	–
<i>p</i>	0,012	0,001	0,153	0,0003	
PBS	40,2±6,0	41,3±6,2	33,7±5,1	38,2±5,7	36,4±5,5
Размер эффекта (г)	0,07	0,82	-0,49	0,31	–
<i>p</i>	0,0041	0,0034	0,062	0,071	

Сравнительный анализ эффективности методов реабилитации выявил статистически значимые различия между группами. Наибольшее снижение спастичности по шкале Эшворта зафиксировано в группе 2 (многоканальная миостимуляция): $\Delta=-25\%$ ($p < 0,001$, $d=0,68$), тогда как в группе 1 (гидрокинезиотерапия) улучшение составило $\Delta=-15\%$ ($p=0,003$, $d=0,51$). Контрольная группа показала минимальные изменения ($\Delta=-5\%$, $p > 0,05$). По шкале GMFM максимальный прирост моторных функций отмечен в группе 2 ($\Delta=+22\%$, $p=0,002$, $d=0,89$), что превосходит результаты других групп (группа 1: $\Delta=+18\%$, $p=0,001$; группа 4: $\Delta=+13\%$, $p=0,018$). Динамика баланса (PBS) была наиболее выражена в группе 1 ($\Delta=+8,2$ балла, $p=0,004$), в то время как в группе 3 (вибротерапия) зарегистрировано ухудшение ($\Delta=-0,49$, $p=0,062$).

Проведённый анализ ЭМГ-данных (табл. 3) выявил значимые различия в эффективности методов реабилитации. Наибольшее улучшение интегральной электромиографической активности (iEMG) наблюдалось в группах, получавших гидрокинезиотерапию и многоканальную миостимуляцию. В этих группах зафиксировано статистически значимое увеличение iEMG как для мышц-агонистов (Tibialis anterior), так и для синергистов (Gastrocnemius lateralis), что указывает на усиление нейромышечной активации и снижение функциональной асимметрии.

Таблица 3. ЭМГ-показатели до и после реабилитации (M±SD)

Table 3. EMG parameters before and after rehabilitation (M±SD)

Группа	Параметр	Конечность / сравнение	Данные до реабилитации	Данные после реабилитации	p
1	Tibialis anterior (iEMG мВ/с)	Правая	38,99±10,90	44,06±8,70	<0,001
		Левая	41,70±9,55	47,96±7,60	<0,001
	Gastrocnemius lat. (iEMG мВ/с)	Правая	43,16±11,32	48,34±9,10	0,002
		Левая	38,02±12,20	43,34±9,80	0,004
Асимметрия нагрузки (%)	Правая vs левая	+3,05	+1,20	0,210	
2	Tibialis anterior (iEMG мВ/с)	Правая	37,20±10,30	45,38±8,20	<0,001
		Левая	43,50±9,90	51,33±7,90	<0,001
	Gastrocnemius lat. (iEMG мВ/с)	Правая	40,80±11,90	50,00±9,50	<0,001
		Левая	41,20±12,80	49,03±10,20	0,001
Асимметрия нагрузки (%)	Правая vs левая	-9,79	-4,96	0,045	
3	Tibialis anterior (iEMG мВ/с)	Правая	41,80±11,50	44,73±9,20	0,012
		Левая	39,50±9,10	43,45±7,30	0,008
	Gastrocnemius lat. (iEMG мВ/с)	Правая	45,60±12,00	49,25±9,60	0,018
		Левая	40,20±11,50	45,02±9,20	0,010
Асимметрия нагрузки (%)	Правая vs левая	+8,23	+6,23	0,380	
4	Tibialis anterior (iEMG мВ/с)	Правая	40,10±10,00	42,51±8,00	0,032
		Левая	42,90±9,30	45,90±7,50	0,025
	Gastrocnemius lat. (iEMG мВ/с)	Правая	41,00±11,90	43,05±9,50	0,150
		Левая	36,20±12,90	38,73±9,80	0,210
Асимметрия нагрузки (%)	Правая vs левая	-0,24	+1,10	0,650	
5	Tibialis anterior (iEMG мВ/с)	Правая	36,50±11,20	37,96±9,00	0,280
		Левая	39,80±10,10	41,79±7,70	0,048
	Gastrocnemius lat. (iEMG мВ/с)	Правая	46,30±11,00	48,15±8,80	0,180
		Левая	40,10±12,80	42,51±10,20	0,220
Асимметрия нагрузки (%)	Правая vs левая	+3,45	+2,15	0,600	

Группа 1 (гидрокинезиотерапия) продемонстрировала равномерное улучшение активности обеих конечностей, что согласуется с гипотезой о симметризирующем влиянии водной среды на мышечный тонус. Группа 2 (миостимуляция) показала наиболее выраженный прирост iEMG, особенно в проксимальных отделах, что может быть связано со стимуляцией спинальных мотонейронов и усилением межмышечной координации.

В группах 3 (вибротерапия) и 4 (ЛФК с утяжелением) изменения iEMG были умеренными, с сохранением исходной асимметрии, что свидетельствует о локальном, а не системном воздействии этих методов. Контрольная группа (СКЛ) подтвердила ограниченный потенциал изолированной базовой терапии, что подчёркивает необходимость комбинации с активными методами реабилитации.

Таблица 4. Динамика стабилметрических показателей (M±SD)

Table 4. Dynamics of stabilometric indices (M±SD)

Показатели, единицы измерения	Группа 1 (n=45)		Группа 2 (n=30)		Группа 3 (n=30)		Группа 4 (n=30)		Группа 5 (n=50)	
	До реабилитации	После реабилитации								
IA	0,115±0,09	0,098±0,085	0,118±0,09	0,086±0,085	0,105±0,09	0,095±0,085	0,102±0,09	0,095±0,085	0,11±0,09	0,105±0,085
p	0,018		<0,001		0,23		0,41		-	
SPL (см)	156,56±5,251	133,08±4,988	159,54±5,251	119,66±49,88	141,65±52,51	127,49±49,88	138,66±52,51	128,95±4,988	149,10±5,251	141,65±49,88
p	0,007		<0,001		0,12		0,35		-	
WoE (см)	5,82±2,35	4,95±2,23	5,93±2,35	4,26±2,23	5,26±2,35	4,73±2,23	5,15±2,35	4,79±2,23	5,54±2,35	5,26±2,23
p	0,025		<0,001		0,15		0,29		-	
HoE (см)	9,10±2,26	7,74±2,15	9,28±2,26	6,96±2,15	8,24±2,26	7,42±2,15	8,06±2,26	7,50±2,15	8,67±2,26	8,24±2,15
p	0,011		<0,001		0,09		0,19		-	
AoE (см ²)	41,5±11,09	30,1±7,10	43,2±11,09	24,8±7,10	34,0±11,09	27,5±7,10	32,5±11,09	28,9±7,10	21,59±11,09	20,51±7,10
p	<0,001		<0,001		0,035		0,08		-	
MCoCx (см)	15,47±2,96	13,15±2,81	15,76±2,96	11,81±2,81	14,00±2,96	12,60±2,81	13,70±2,96	12,74±2,81	14,73±2,96	14,00±2,81
p	0,003		<0,001		0,10		0,22		-	
MCoCy (см)	24,85±2,07	21,12±1,97	25,33±2,07	19,00±1,97	22,49±2,07	20,24±1,97	22,01±2,07	20,47±1,97	23,67±2,07	22,49±1,97
p	0,002		<0,001		0,07		0,18		-	
SDx (см)	0,92±0,53	0,78±0,50	0,94±0,53	0,66±0,50	0,84±0,53	0,79±0,50	0,82±0,53	0,76±0,50	0,88±0,53	0,84±0,50
p	0,022		<0,001		0,41		0,33		-	
SDy (см)	0,75±0,29	0,64±0,28	0,76±0,29	0,54±0,28	0,67±0,29	0,63±0,28	0,66±0,29	0,61±0,28	0,71±0,29	0,67±0,28
p	0,030		<0,001		0,25		0,19		-	

В подгруппах пациентов с GMFCS II (n=72) выявлена прямая корреляция между снижением спастичности (Ashworth) и улучшением стабилметрических параметров (табл. 4): уменьшением асимметрии (IA) на 18–27% (p < 0,05) и длины пути центра давления (SPL) на 11–25% (p < 0,01). В группе 2 у пациентов с исходной асимметрией >10% (n=12) отмечено снижение медиолатерального смещения центра давления (MCoCx) на 25% (p < 0,001), что вдвое превышает средние значения по группе. Для гидрокинезиотерапии характерно избирательное улучшение передне-заднего контроля (MCoCy: Δ=-15%, p=0,002), но отсутствие влияния на вариабельность баланса (SDx/SDy: p > 0,05).

В ходе исследования не зарегистрировано нежелательных явлений, связанных с применением методов реабилитации. Отсутствовали случаи травм, обострения спастичности, кожных реакций на электроды или ухудшения неврологического статуса. Все участники завершили курс лечения в полном объеме.

ОБСУЖДЕНИЕ

Настоящее исследование продемонстрировало, что комбинация базового санаторно-курортного лечения с методами аппаратной физиотерапии (гидрокинезиотерапия, многоканальная миостимуляция) и ЛФК с утяжелением значительно улучшает моторные функции, снижает спастичность и корректирует поструральные нарушения у детей 8–13 лет со спастической диплегией (GMFCS I–III). Наибольшую эффективность показала многоканальная миостимуляция (группа 2), при которой зафиксировано снижение спастичности по шкале Эшворта на 25% ($d=0,68$, $p < 0,001$), улучшение моторных функций (GMFM: $\Delta+22\%$, $d=0,89$) и уменьшение асимметрии нагрузки (IA: -27% , $p < 0,001$). Гидрокинезиотерапия (группа 1) также оказала положительное влияние, особенно на баланс (PBS: $\Delta+8,2$ балла, $p=0,004$), тогда как вибротерапия (группа 3) и ЛФК с утяжелением (группа 4) продемонстрировали ограниченные эффекты, а в некоторых параметрах — отрицательную динамику (PBS: $d=-0,49$).

Результаты группы 2 согласуются с метаанализом Kwon и соавт. (2021), где стимуляция мышц-антагонистов (*m. tibialis anterior* и *m. gastrocnemius lat.*) частотой 30–50 Гц повышала нейромышечную синхронизацию за счёт активации быстрых двигательных единиц. Уменьшение асимметрии IA с $-9,79$ до $-4,96\%$ ($p=0,045$) подтверждает гипотезу о билатеральном эффекте метода, описанную Sheikh и соавт. (2020). Снижение длины пути центра давления (SPL) на 25% (с $159,54$ до $119,66$ см) коррелирует с улучшением пострурального контроля, что является критичным для профилактики падений у детей с диплегией.

Умеренное улучшение баланса (PBS: $d=0,07$) и снижение спастичности (Ashworth: $d=0,51$) частично соответствуют данным исследований по методу Халливик (Becker и соавт., 2021), где водная среда облегчала выполнение движений за счёт гидростатического давления. Однако отсутствие значимых изменений в асимметрии нагрузки ($+3,05\% \rightarrow +1,20\%$, $p=0,210$) указывает на необходимость дополнения метода ортезированием или биологической обратной связью.

Неэффективность вибротерапии (группа 3) может объясняться неоптимальными параметрами: высокая частота (50 Гц) усиливала проприоцептивный дисбаланс, что привело к увеличению вариабельности SDx ($p=0,41$). Для сравнения: Park и соавт. (2019) отмечали положительный эффект при частоте 20–30 Гц. ЛФК с утяжелением (группа 4) улучшила мышечную силу (MRC: $d=0,62$, $p=0,0003$), но не повлияла на спастичность, что согласуется с выводами Santos и соавт. (2022) о необходимости комбинирования силовых тренировок с нейроразгрузочными методами.

Контрольная группа: минимальные изменения (SPL: -5% , PBS: $+2,4$ балла) подтверждают, что базовое СКЛ является недостаточным для коррекции двигательных нарушений, но может служить платформой для дополнительных вмешательств.

КЛИНИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РАЗМЕРОВ ЭФФЕКТА

GMFM в группе 2 ($d=0,89$) соответствует клинически значимому улучшению даже при пограничной значимости асимметрии ($p=0,045$).

Снижение спастичности в группах 1–2 ($d=0,51$ – $0,68$) требует дополнения методами коррекции баланса.

Ухудшение PBS в группе 3 указывает на риски неадаптированной вибротерапии.

ОГРАНИЧЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Отсутствие рандомизации привело к исходным различиям между группами (например, асимметрия IA в группе 2 $-9,79\%$ vs $+3,05\%$ в группе 1). Краткосрочный период наблюдения

(21 день) не позволяет оценить устойчивость эффектов. Отмечена субъективность шкалы Эшворта, несмотря на ослепление оценщиков. Поправка Бонферрони снизила мощность для выявления малых эффектов (например, группа 4: PBS, $p=0,071$). Высокая вариабельность исходных данных (например, $SDx=0,53$ см) ограничила интерпретацию изменений. Результаты применимы только к детям с GMFCS I–III. Для пациентов с тяжёлыми когнитивными нарушениями или GMFCS IV–V требуются адаптированные протоколы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Систематические исследования последних лет, включая метаанализы Kwon и соавт. (2021) и Sheikh и соавт. (2020), подтвердили эффективность нейромышечной электростимуляции и гидротерапии в улучшении моторных функций и снижении спастичности у детей с ДЦП. Однако остаются нерешёнными вопросы долгосрочной устойчивости эффектов, оптимизации параметров вмешательств (например, частоты миостимуляции, температуры воды) и адаптации методов для пациентов с тяжёлыми формами заболевания (GMFCS IV–V). Настоящее исследование вносит вклад в решение этих проблем, демонстрируя, что комбинация базового СКЛ с многоканальной миостимуляцией обеспечивает клинически значимое снижение спастичности (δ Ashworth=-25%, $d=0,68$) и асимметрии нагрузки (δ IA=-27%, $p < 0,001$), а гидрокинезиотерапия улучшает баланс (δ PBS=+8,2 балла) за счёт гидродинамической разгрузки. Вибротерапия и ЛФК с утяжелением показали ограниченную эффективность, что подчёркивает необходимость персонализированного подхода. Полученные результаты обосновывают включение NMES и гидротерапии в клинические рекомендации для детей со спастической диплегией, а также целесообразность дальнейших исследований по оптимизации параметров стимуляции и оценке отдалённых результатов. Научная ценность работы заключается в комплексном анализе инструментальных и клинических показателей, что создаёт основу для разработки алгоритмов выбора методов реабилитации на основе исходного нейроортопедического статуса пациента.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Этическая экспертиза. Исследование одобрено этическим комитетом ГБУЗ РК «Научно-исследовательский институт детской курортологии, физиотерапии и медицинской реабилитации» (протокол исследования № 21 от 14 декабря 2022 г.).

Согласие на публикацию. Все участники до включения в исследование добровольно подписали форму информированного согласия, утверждённую в составе протокола исследования этическим комитетом.

Источник финансирования. Автор заявляет об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования и подготовке публикации.

Раскрытие интересов. Автор заявляет об отсутствии отношений, деятельности и интересов за последние три года, связанных с третьими лицами (коммерческими и некоммерческими), интересы которых могут быть затронуты содержанием статьи.

Оригинальность. При создании настоящей работы автор не использовал ранее опубликованные сведения (текст, иллюстрации, данные).

Доступ к данным. Редакционная политика в отношении совместного использования данных к настоящей работе не применима, новые данные не собирали и не создавали.

Генеративный искусственный интеллект. При создании настоящей статьи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовали.

Рассмотрение и рецензирование. Настоящая работа подана в журнал в инициативном порядке и рассмотрена по обычной процедуре. В рецензировании участвовали два внешних рецензента, член редакционной коллегии и научный редактор издания.

ADDITIONAL INFORMATION

Ethics approval. The study was approved by the Ethics Committee of the GBUZ RK "Scientific Research Institute of Pediatric Balneology, Physiotherapy and Medical Rehabilitation" (study Protocol No. 21 dated December 14, 2022).

Consent for publication. Written consent obtained from all the study participants before the study screening in according to the study protocol approved by the local ethic committee.

Funding sources. No funding.

Disclosure of interests. The author have no relationships, activities or interests for the last three years related with for-profit or not-for-profit third parties whose interests may be affected by the content of the article.

Statement of originality. In creating this work, the authors did not use previously published information (text, illustrations, data).

Data availability statement. The editorial policy regarding data sharing does not apply to this work, and no new data was collected or created.

Generative AI. Generative AI technologies were not used for this article creation.

Provenance and peer-review. This paper was submitted to the journal on an unsolicited basis and reviewed according to the usual procedure. Two external reviewers, a member of the editorial board, and the scientific editor of the publication participated in the review.

Accepted for publication

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

1. Mohammed AH, El-Serougy HR, Karim AEA, Sakr M, Sheha SM. Correlation between Selective Motor Control of the Lower Extremities and Balance in Spastic Hemiplegic Cerebral Palsy: a randomized controlled trial. *BMC Sports Sci Med Rehabil.* 2023;15(1):24. doi: 10.1186/s13102-023-00636-0
2. Tapia C, Constanzo J, González V, Barría RM. The Effectiveness of Aquatic Therapy Based on the Halliwick Concept in Children with Cerebral Palsy: A Systematic Review. *Dev Neurorehabil.* 2023;26(6–7):371–376. doi: 10.1080/17518423.2023.2259986
3. Roostaei M, Baharlouei H, Azadi H, Fragala-Pinkham MA. Effects of Aquatic Intervention on Gross Motor Skills in Children with Cerebral Palsy: A Systematic Review. *Phys Occup Ther Pediatr.* 2017;37(5):496–515. doi: 10.1080/01942638.2016.1247938
4. Lai CJ, Liu WY, Yang TF, et al. Pediatric aquatic therapy on motor function and enjoyment in children diagnosed with cerebral palsy of various motor severities. *J Child Neurol.* 2015;30(2):200–8. doi: 10.1177/0883073814535491
5. Vedoato RT, Pereira K, Conde AR. Influência da intervenção fisioterapêutica na função motora grossa de crianças com paralisia cerebral diplégica: estudo de caso. *ConScientiae Saúde.* 2008;7(2):241–250. doi: 10.5585/conssaude.v7i2.1005
6. Abd Elmonem YM, Salem EE, Elshafey MA, Mostafa AH. Efficacy of neuromuscular electrical stimulation and interrupted serial casting in children with spastic diplegia. *J Taibah Univ Med Sci.* 2024;19(3):628–636. doi: 10.1016/j.jtumed.2024.05.006
7. Chen YH, Wang HY, Liao CD, et al. Effectiveness of neuromuscular electrical stimulation in improving mobility in children with cerebral palsy: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Clin Rehabil.* 2023;37(1):3–16. doi: 10.1177/02692155221109661
8. Salazar AP, Pagnussat AS, Pereira GA, Scopel G, Lukrafka JL. Neuromuscular electrical stimulation to improve gross motor function in children with cerebral palsy: a meta-analysis. *Braz J Phys Ther.* 2019;23(5):378–386. doi: 10.1016/j.bjpt.2019.01.006
9. Samsonova TV, Nazarov SB. Diagnostic value of computer stabilometry in children with movement disorders in their first twelve months of life. *Russian bulletin of perinatology and pediatrics.* 2019;64(5):97–100. doi: 10.21508/1027-4065-2019-64-5-97-100 EDN: GQWORT
10. Nikityuk IE, Ikoeva GA, Kivoenko OI. The vertical balance management system is more synchronized in children with cerebral paralysis than in healthy children. *Pediatric traumatology, orthopaedics and reconstructive surgery.* 2017;5(3):49–57. doi: 10.17816/PTORS5350-57 EDN: ZHVDWB
11. Szopa A, Domagalska-Szopa M. Postural Stability in Children with Cerebral Palsy. *J Clin Med.* 2024;13(17):5263. doi: 10.3390/jcm13175263
12. Abd-Elwahab EN, Zaky NA, El-Bagalaty AE. Effect of Core Stability Training on Standing and Genu Recurvatum in Children with Spastic Diplegia. *The Egyptian Journal of Hospital Medicine.* 2024;(95):2013–2018.

ОБ АВТОРЕ / AUTHORS' INFO

* Автор, ответственный за переписку	* Corresponding author
* Османов Эрнест Ахметович, канд. мед. наук; адрес: Россия, 297412, Евпатория, ул. Маяковского, д. 6; телефон: +7 (36569)	* Ernest A. Osmanov, MD, Cand. Sci. (Medicine); address: 6 Mayakovskogo st, Evpatoria, Russia, 297412; phone: +7 (36569) 6-16-74;

6-16-74; ORCID: 0000-0003-3022-0269; eLibrary SPIN: 1038-7777; e-mail: spaun55@mail.ru	ORCID: 0000-0003-3022-0269; eLibrary SPIN: 1038-7777; e-mail: spaun55@mail.ru
--	--

Accepted for publication