

Оригинальные статьи

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2020

Куренков А.Л.¹, Фисенко Д.А.², Кузенкова Л.М.^{1,3}, Черников В.В.¹, Литвак Ф.Г.⁴, Ашрафова У.Ш.¹, Куприянова О.С.¹, Бурсагова Б.И.¹

Эффективность сочетанного применения ботулинотерапии и функциональной электрической стимуляции у амбулаторных пациентов со спастическими формами детского церебрального паралича

¹ФГАУ «Национальный медицинский исследовательский центр здоровья детей» Минздрава России, 119296, Москва, Россия;

²ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», 119991, Москва, Россия;

³Клинический институт детского здоровья имени Н.Ф. Филатова ФГАУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), 119991, Москва, Россия;

⁴ООО «ИТЦ Интеграл», 129301, Москва, Россия

Введение. Детский церебральный паралич (ДЦП) — тяжелое неврологическое заболевание, в клинической картине которого доминируют двигательные нарушения. При спастических формах ДЦП, помимо повышения мышечного тонуса и спастичности, значительное число мышц функционально ослаблены, с признаками пареза. С целью коррекции этих нарушений в последнее время пристальное внимание уделяется двум лечебным подходам — ботулинотерапии (БТ) и функциональной электростимуляции (ФЭС).

Целью исследования явилось изучение эффективности сочетанного применения БТ и ФЭС у детей с ДЦП I–III уровней по системе классификации больших моторных функций (GMFCS).

Материалы и методы. В исследование включены 40 пациентов с ДЦП. Основную группу составили 20 детей (10 — со спастической диплегией и 10 — с гемипаретической формой), получавшие лечение с применением Аботулиnumтоксин А и ФЭС. В контрольную группу вошли 20 детей (11 — со спастической диплегией и 9 — с гемипаретической формой), которым проводилась БТ без ФЭС.

Результаты. Повышенный мышечный тонус и спастичность икроножных мышц при оценке через 2 нед (после окончания курса лечения) достоверно снижались как в основной, так и в контрольной группе. Объем движений в голеностопном суставе (ГСС) в основной группе после БТ и ФЭС был достоверно больше, чем у пациентов контрольной группы. Эти различия в увеличении объема движений наблюдались как при проведении пассивного тыльного сгибания стопы ($p = 0,044$), так и при выполнении пациентами максимального произвольного мышечного сокращения ($p = 0,036$).

Заключение. У пациентов основной группы сочетанное применение БТ и ФЭС оказалось высокоэффективным в коррекции спастичности и увеличении объема движений в ГСС. Курс ФЭС, проведенный у пациентов основной группы, оказывает дополнительное терапевтическое действие, что в комплексном лечении дает достоверно больший положительный эффект.

Ключевые слова: детский церебральный паралич; ботулинотерапия; ботулинический токсин типа А; Аботулиnumтоксина А; функциональная электрическая стимуляция; модифицированная шкала Эшворта; модифицированная шкала Тардьё; гониометрия

Для цитирования: Куренков А.Л., Фисенко Д.А., Кузенкова Л.М., Черников В.В., Литвак Ф.Г., Ашрафова У.Ш., Куприянова О.С., Бурсагова Б.И. Особенности оценки нутритивного статуса и расчета потребности в нутриентах у детей с детским церебральным параличом. *Неврологический журнал имени Л.О. Бадаляна*. 2020; 1(2): 80-90.

DOI: <https://doi.org/10.17816/2686-8997-2020-1-2-80-90>

Для корреспонденции: Куренков Алексей Львович — доктор мед. наук, врач-невролог, зав. лаб. нервных болезней у детей Центра детской психоневрологии, ФГАУ «НМИЦ здоровья детей», 119296, Москва. E-mail: alkurenkov@gmail.com.

Участие авторов:

Куренков А.Л.	концепция и дизайн исследования, написание текста, редактирование.
Кузенкова Л.М.	концепция и дизайн исследования, редактирование.
Фисенко Д.А.	получение данных для исследования, написание текста.
Черников В.В.	анализ и статистическая обработка полученных данных.
Литвак Ф.Г.	анализ и статистическая обработка полученных данных.
Ашрафова У.Ш.	получение данных для исследования.
Куприянова О.С.	получение данных для исследования.
Бурсагова Б.И.	редактирование.
Все соавторы	утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила: 25.03.2020

Принята к печати: 20.04.2020

Опубликована: 29.06.2020

Alexey L. Kurenkov¹, Daria A. Fisenko², Lyudmila M. Kuzenkova^{1,3}, Vladislav V. Chernikov¹,
Felix G. Litvak⁴, Ulviya S. Ashrafova¹, Olga S. Kuprianova¹, Bella I. Bursagova¹

The effectiveness of combined use of botulinum toxin therapy and functional electrical stimulation in ambulatory patients with spastic forms of cerebral palsy

¹National Medical Research Center for Children's Health, of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, 119296, Russian Federation;

²Lomonosov Moscow State University, Moscow, 119991, Russian Federation;

³N.F. Filatov Clinical Institute of Children's Health, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Health of Russia (Sechenov University), Moscow, 119991, Russian Federation;

⁴LLC «ITC Integral», Moscow, 129301, Russian Federation

Introduction. Cerebral palsy (CP) is a severe neurological disease, the clinical picture of which is dominated by motor disorders. In spastic forms of CP, in addition to increasing muscle tone and spasticity, a significant number of muscles are functionally weakened with signs of paresis. To correct these disorders, close attention has recently been paid to two therapeutic approaches — botulinum therapy and functional electrical stimulation (FES).

The purpose of our investigation was to study the efficiency of combined use of botulinum therapy and FES in children with CP levels I-III according to the Gross Motor Function Classification System (GMFCS).

Material and methods. The study included 40 CP patients. 20 children (10 with spastic diplegia and 10 with hemiplegic form) treated with Abobotulinumtoxin A and FES formed the main group. The control group included 20 children (11 with spastic diplegia and 9 with hemiplegic form) who received botulinum therapy without subsequent FES.

Results. When evaluated 2 weeks later (after the end of the course of treatment) an increased muscle tone and spasticity of the gastrocnemius muscles significantly decreased in both the main and control groups. Following the complex treatment of Abobotulinum toxin A in combination with FES the range of motion in the ankle joint in the main group was significantly greater than in the control group. These differences in the increase in the range of motion were observed both during passive dorsiflexion of the foot ($p=0.044$) and when patients performed maximum voluntary muscle contraction ($p=0.036$).

Conclusion. In the main group of patients, the combined use of botulinum therapy and FES proved to be highly effective in correcting spasticity and increasing the range of motion in the ankle joint. The course of FES performed in patients of the main group has an additional therapeutic effect, which in complex treatment gives a significantly greater positive result.

Keywords: cerebral palsy; botulinum toxin type A; Abobotulinum toxin A; functional electrical stimulation; modified Ashworth scale; modified Tardieu scale; goniometry

For citation: Kurenkov A.L., Fisenko D.A., Kuzenkova L.M., Chernikov V.V., Litvak F.G., Ashrafova U.S., Kuprianova O.S., Bursagova B.I. The effectiveness of combined use of botulinum toxin therapy and functional electrical stimulation in ambulatory patients with spastic forms of cerebral palsy. *Nevrologicheskiy Zhurnal imeni L.O. Badalyana (L.O. Badalyan Neurological Journal)*. 2020; 1(2): 80-90.

DOI: <https://doi.org/10.17816/2686-8997-2020-1-2-80-90>

For correspondence: Alexey L. Kurenkov, MD, PhD, head of the laboratory of nervous diseases in children of the Center of child psychoneurology, National Medical Research Center of Children's Health, Moscow, 119991, Russian Federation. E-mail: alkurenkov@gmail.com

Information about the authors:

Kurenkov A.L.	https://orcid.org/0000-0002-7269-9100
Fisenko D.A.	https://orcid.org/0000-0002-7893-1863
Kuzenkova L.M.	https://orcid.org/0000-0002-9562-3774
Chernikov V.V.	https://orcid.org/0000-0002-8750-9285
Ashrafova U.S.	https://orcid.org/0000-0003-1721-5609
Kuprianova O.S.	https://orcid.org/0000-0002-9816-6919
Bursagova B.I.	https://orcid.org/0000-0001-8506-2064

Contribution:

Kurenkov A.L.	concept and design of the study, writing the text, editing.
Fisenko D.A.	collection and processing of material, writing the text.
Kuzenkova L.M.	concept and design of the study, editing.
Chernikov V.V.	statistical processing.
Litvak F.G.	statistical processing.
Ashrafova U.S.	collection and processing of material.
Kuprianova O.S.	collection and processing of material.
Bursagova B.I.	editing.
All co-authors	approval of the final version of the manuscript, responsibility for the integrity of all parts of the manuscript.

Acknowledgments. The study had no sponsorship.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Received: March 25, 2020

Accepted: April 20, 2020

Published: June 29, 2020

Введение

Детский церебральный паралич (ДЦП) является тяжелым заболеванием, в клинической картине которого доминируют двигательные нарушения [1]. Лече-

ние двигательных расстройств при ДЦП требует пристального внимания и должно начинаться как можно раньше [2, 3]. Несмотря на значительные успехи в по-

нимании патофизиологии заболевания [4, 5] и достигнутые результаты в лечении пациентов с ДЦП, остаются актуальными поиск и апробация новых эффективных методик терапии и реабилитации пациентов с таким диагнозом. Но даже при использовании всех терапевтических возможностей сегодня нельзя говорить о том, что при диагнозе ДЦП в полной мере решен вопрос о достаточном восстановлении двигательных функций пациентов. Поэтому применение новых подходов и методов лечения ДЦП имеет дальнейшую позитивную перспективу, основывающуюся на развитии современных технологий. В последнее время особое внимание уделяется двум лечебным направлениям при ДЦП — ботулинотерапии (БТ) и функциональной электростимуляции (ФЭС) [6–10]. Это связано с тем, что при спастических формах ДЦП, помимо спастичности, которая отрицательно влияет на двигательные возможности, у многих пациентов также имеется значительное число функционально ослабленных мышц с преобладанием явлений пареза. Поэтому ряд клинических исследований в последние годы ориентирован на применение различных способов электростимуляции нервов и мышц как дополнительной опции в комплексном восстановительном лечении ДЦП [11, 12].

Целью исследования явилось изучение эффективности сочетанного применения БТ и ФЭС у детей с ДЦП I–III уровней по системе классификации больших моторных функций (Gross Motor Function Classification System — GMFCS) в возрасте 2–12 лет при оценке по специальным валидированным шкалам и измерениям, рекомендованным для оценки пациентов со спастическими формами ДЦП [7, 13, 14].

Материалы и методы

Проведено проспективное исследование эффективности сочетанного применения препарата ботулинического токсина типа А (Abobotulinumtoxin A — препарат диспорт, «Irsen») и ФЭС при лечении спастических форм ДЦП у детей с двигательными нарушениями I–III уровня по GMFCS. Было отобрано 40 пациентов,

которые были разделены на 2 группы (**табл. 1**). В 1-ю (основную) группу были включены 20 детей — 10 со спастической диплегией (СД) и 10 с гемипаретической формой (ГФ) ДЦП, получавших лечение с применением как БТ, так и ФЭС. Вторую (контрольную) группу составили 20 детей — 11 с СД и 9 с ГФ ДЦП, которым проводилась БТ без последующей ФЭС.

В обеих группах после БТ назначалось стандартное восстановительное лечение, которое включало физические методы реабилитации (массаж N10, индивидуальные занятия ЛФК N10, кинезиотейпирование), занятия на тренажерах с использованием метода биологической обратной связи, по показаниям физиотерапевтические методы лечения (метод сухой иммерсии, кислородные коктейли и др.).

Исследование было выполнено на базе неврологических отделений ФГАУ «Национальный медицинский исследовательский центр здоровья детей» Минздрава России с декабря 2019 г. по март 2020 г.

Критерии включения пациентов в исследование:

- наличие спастической формы ДЦП (СД или ГФ) с эквинусной установкой стопы;
- уровень моторного развития I–III по GMFCS;
- возраст пациента 2–12 лет на момент проведения инъекции;
- отсутствие фиксированных контрактур коленного сустава (КС) и ГСС;
- возможность взаимодействия с врачом для выполнения всех запланированных измерений и процедур;
- возможность использования устройства WalkAide как минимум в течение 1 ч.

Критерии невключения пациентов в состав основной и контрольной групп:

- наличие фиксированной контрактуры в КС или ГСС;
- предшествующее хирургическое лечение, включая фибротомии по методу Ульзибата, направленное на коррекцию деформаций КС или ГСС;
- предшествующая БТ, проведенная менее чем за 6 мес до включения в исследование;
- наличие структурной эпилепсии;

Таблица 1. Распределение пациентов основной и контрольной групп по диагнозу, полу, возрасту и уровню больших моторных функций
Table 1. Distribution of patients in the main and control groups by diagnosis, gender, age, and level of Gross Motor Function Classification System

Параметр Parameter	1-я группа 1st group		2-я группа 2nd group	
	СД spastic diplegia	ГФ hemiplegic form	СД spastic diplegia	ГФ hemiplegic form
<i>n</i>	10	10	11	9
Возраст, годы Age, years	5.9 ± 2.6	7.2 ± 2.3	6.1 ± 2.8	6.9 ± 3.1
Пол (м/ж) Gender (m/f)	6/4	5/5	7/4	5/4
GMFCS, уровень GMFCS, level	1.98 ± 0.65	1.93 ± 0.63	2.06 ± 0.76	1.99 ± 0.69

• отсутствие комплаентности ребенка или его родителей для проведения ФЭС.

Всем пациентам выполняли инъекции диспорта с использованием ультразвукового контроля точности введения препарата. Для инъекций использовали иглы диаметром 27 G. Во всех случаях диспорт разводили 0,9% раствором NaCl до концентрации 200 ЕД в 1 мл. Общая анестезия не применялась. На проведение всех инъекций было получено информированное согласие законных представителей пациентов.

Целевые мышцы и дозы диспорта выбирали при участии не менее 2 врачей-неврологов, сертифицированных к применению БТ для коррекции спастичности при ДЦП. Основной мишенью для введения диспорта в дозе 10 ЕД/кг массы тела была икроножная мышца, при СД и необходимости выполнять инъекции в обе ноги доза препарата увеличивалась вдвое. Доза препарата распределялась из расчета 2/3 — в медиальную головку и 1/3 — в латеральную головку икроножной мышцы. При клинической необходимости дополнительно могли быть инъецированы другие мышцы нижних или верхних конечностей, но общая доза на процедуру инъекций диспорта не превышала 30 ЕД/кг массы тела. После проведенных инъекций, начиная со следующего дня, пациенты обеих групп проходили комплексную физическую реабилитацию в течение 2 нед.

Пациенты 1-й группы со следующего после инъекций дня также дополнительно получали курс ФЭС в течение 10 дней с помощью аппарата WalkAide, закрепленного на голени. ФЭС проводилась в режиме ходьбы ребенка с комфортной скоростью передвижения. Пациентам, нуждающимся в дополнительной опоре (GMFCS III), ФЭС проводили при ходьбе с дополнительными средствами реабилитации (трости, ходунки и др.) или при поддержке за одну руку. Подготовка аппарата WalkAide к работе проводилась путем подсоединения через аппарат-посредник WalkLink к компьютеру, на котором была установлена программа WalkAnalyst для индивидуальной настройки режима стимуляции. Для более комфортного ощущения ребенком стимуляции и эффективного сокращения передней большеберцовой мышцы использовалась короткая длительность электрического импульса (25 мкс) и высокая частота стимуляции (30 Гц).

Для ФЭС использовались специальные пластинчатые электроды площадью 2–3 см² в зависимости от размера голени. Катод располагали в верхней трети голени на наружно-задней стороне в точке проекции малоберцового нерва; анод — в проекции двигательной точки передней большеберцовой мышцы. Путем индивидуальной настройки добивались оптимальной синхронизации ФЭС с ходьбой ребенка, которая происходила в фазе переноса ноги, именно в тот момент, когда активировалась передняя большеберцовая мышца. После настройки стимуляции аппарат WalkAide использовался автономно. Лечебные сеансы ФЭС про-

водили ежедневно длительностью не менее 1 ч в течение 10 дней.

Перед проведением инъекций диспорта, а также через 2 нед после курса лечения в обеих группах оценивали мышечный тонус и спастичность в икроножной мышце с использованием модифицированной шкалы Эшворта (МШЭ) и модифицированной шкалы Тарды (МШТ), а также проводили гониометрию ГСС.

Оценка по МШЭ осуществлялась по стандартной методике [14]. Оценка реакции икроножной мышцы проводилась при выполнении пассивного движения в ГСС в положении ребенка лежа на спине с выпрямленной ногой в КС.

Оценка по МШТ включала только измерение угла спастичности, которое основано на определении мышечного сопротивления при выполнении максимально медленного и быстрого пассивного движений. Для этого проводилась оценка объема движения в ГСС (в градусах) сначала при пассивном максимально медленном и затем повторно — при максимально возможном быстром тыльном сгибании стопы в положении ребенка лежа на спине с выпрямленной ногой в КС. Объем движения в ГСС (в градусах) при проведении пассивного медленного тыльного сгибания стопы соответствует максимальному значению. При наличии спастичности при выполнении быстрого пассивного движения, вследствие резкого растяжения мышцы, возникает внезапная остановка движения в ГСС или так называемый феномен «схватывания». В этом случае объем движения в ГСС становится значительно меньше. Разница между этими измерениями с разной скоростью движения в ГСС составляет угол спастичности [14].

Гониометрия ГСС (измерение объема движения в суставе помощью гониометра в градусах) проводилась дважды — при проведении пассивного движения в ГСС в положении ребенка лежа на спине с выпрямленной ногой в КС и при максимальном произвольном усилии при тыльном сгибании стопы в таком же положении [14].

Статистический анализ проведен с помощью программы IBM SPSS Statistics v. 22.0. Анализ данных включал стандартные методы описательной и аналитической статистики: для количественных признаков — число наблюдений (*n*), минимум и максимум (*min*, *max*), среднее значение (*M*) и стандартное отклонение (*SD*) или медиана (*Me*) и интерквартильный размах (25-й и 75-й процентиля); для качественных признаков — абсолютное и процентное значение (*n*, %) с представлением данные в виде частотных таблиц.

Результаты

Анализ основной и контрольной групп показал, что до начала проведения курса лечения пациенты этих групп были сравнимы по основным анализируемым параметрам — уровню повышения мышечного тонуса в икроножных мышцах (оценка по МШЭ), по степени спастичности икроножных мышц (оценка

по МШТ), объему движений в ГСС при пассивном движении и при максимальном произвольном усилии во время разгибания в ГСС (табл. 2).

При оценке через 2 нед (после окончания курса лечения) было отмечено, что мышечный тонус достоверно снижался в обеих группах (табл. 3). Достоверных различий в уровне снижения мышечного тонуса в исследуемых группах пациентов не обнаружено.

Спастичность икроножных мышц, при оценке через 2 нед достоверно снижалась в обеих группах (табл. 4).

Достоверных различий между исследуемыми группами в степени снижения спастичности не обнаружено.

Анализ результатов гониометрического исследования до и после проведенного лечения в 1-й группе показал:

1) при пассивном тыльном сгибании стопы при разогнутом КС наблюдалось достоверное увеличение объема движений (рис. 1), в среднем на 15,6°;

2) при тыльном сгибании стопы во время максимального произвольного усилия при разогнутом КС

Таблица 2. Исходные значения основных анализируемых параметров показателей основной и контрольной групп ($M \pm SD$)

Table 2. Initial values of the main analyzed parameters of indicators of the main and control groups ($M \pm SD$)

Параметр Parameter	1-я группа ($n = 20$) 1st group ($n = 20$)	2-я группа ($n = 20$) 2nd group ($n = 20$)
МШЭ, баллы Modified Ashworth scale, scores	2.1 ± 0.47	2.2 ± 0.54
МШТ — угол спастичности, градусы Modified Tardieu scale — the spasticity angle, degrees	15.3 ± 2.3	14.9 ± 2.6
Амплитуда угла при разгибании ГСС (пассивно, при разгибании в КС), градусы The amplitude of the angle when extending the ankle joint (passively, when the knee joint is unbent), degrees	91.1 ± 14.28	89.0 ± 12.19
Амплитуда угла при разгибании ГСС (активно, при разгибании в КС), градусы The amplitude of the angle when extending the ankle joint (actively, when the knee joint is unbent), degrees	113.0 ± 14.22	112.8 ± 15.64

Таблица 3. Динамика снижения мышечного тонуса в икроножной мышце по МШЭ (баллы) на фоне лечения ($M \pm SD$)

Table 3. Dynamics of the decrease muscle tone in the gastrocnemius muscle according to the modified Ashworth scale against background of the treatment ($M \pm SD$)

Время обследования Time of examination	1-я группа ($n = 20$) 1st group ($n = 20$)	2-я группа ($n = 20$) 2nd group ($n = 20$)	p , t -test	p , Mann–Whitney test
До лечения Before treatment	2.1 ± 0.47	2.2 ± 0.54	0.543	0.512
После лечения After treatment	1.3 ± 0.35	1.4 ± 0.40	0.405	0.389
Δ , абс. abs (%)	$-0.8 (38.1)$	$-0.8 (36.4)$		
p , t -test	0.00001	0.00001		
p , Wilcoxon test	0.00004	0.00002		

Таблица 4. Динамика спастичности по МШТ при оценке икроножной мышцы на фоне лечения (угол спастичности, градусы; $M \pm SD$)

Table 4. Dynamics of spasticity on the modified Tardieu scale when evaluating the gastrocnemius muscle against background of the treatment ($M \pm SD$)

Время обследования Time of examination	1-я группа ($n = 20$) 1st group ($n = 20$)	2-я группа ($n = 20$) 2nd group ($n = 20$)	p , t -test	p , Mann–Whitney test
До лечения Before treatment	15.3 ± 2.3	14.9 ± 2.6	0.609	0.582
После лечения After treatment	7.2 ± 1.5	7.9 ± 1.7	0.175	0.154
Δ , абс./abs (%)	$-8.1 (52.9)$	$-7.0 (47.0)$		
p , t -test	0.00001	0.00001		
p , Wilcoxon test	0.00006	0.00004		

также наблюдается достоверное увеличение объема движений (рис. 2), в среднем на 16,5°.

Анализ результатов гониометрического исследования до и после проведенного исследования во 2-й группе показал:

1) при пассивном тыльном сгибании стопы при разогнутом КС наблюдается достоверное увеличение объема движений (рис. 1), в среднем на 8,2°;

2) при тыльном сгибании стопы во время максимального произвольного усилия при разогнутом КС также наблюдается достоверное увеличение объема движений (рис. 2), в среднем на 8,4°.

Объем движений в ГСС в 1-й группе после БТ в сочетании ФЭС был достоверно больше, чем у пациентов 2-й группы (рис. 1 и 2). Это различие в увеличении объема движений в 1-й группе наблюдалось не только при проведении пассивного тыльного сгибания стопы ($p = 0,044$), но и при выполнении пациентами максимального произвольного мышечного сокращения ($p = 0,036$).

Еще большие различия в объеме движений в ГСС между группами после лечения были получены в подгруппе пациентов с ГФ ДЦП (табл. 5, 6). При выполнении пассивного тыльного сгибания стопы различие между пациентами 1-й и 2-й групп составило в среднем 11,2° ($p = 0,041$), а при выполнении пациентами максимального произвольного мышечного сокращения — 12,0° ($p = 0,047$).

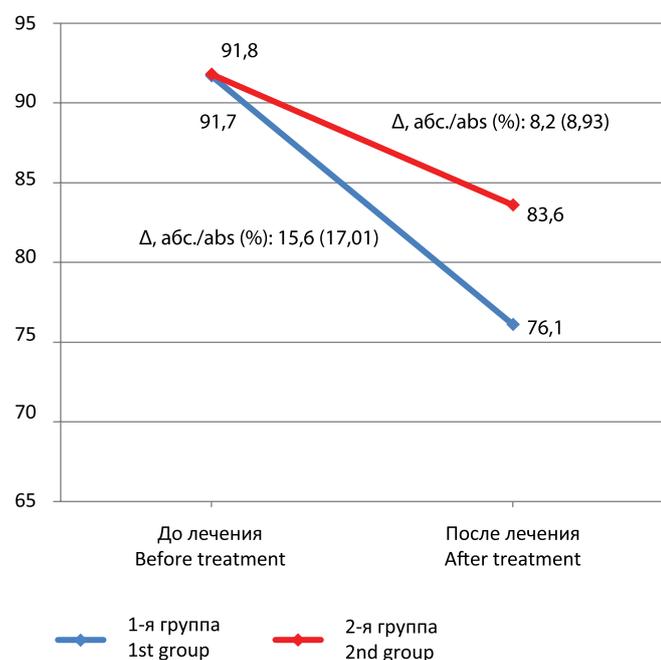


Рис. 1. Различия в динамике объема движений (в градусах) ГСС при пассивном тыльном сгибании стопы при разогнутом КС после лечения.

Fig. 1. Differences in the changes of the range of motion (in degrees) of the ankle joint with passive dorsiflexion of the foot with the knee joint unbent after the treatment.

Обсуждение

При ДЦП страдают многие интегративные функции организма, в том числе нарушается моторный контроль [1], поэтому лечение двигательных нарушений при ДЦП требует консолидации усилий разных специалистов — неврологов, ортопедов, кинезиотерапевтов, специалистов по ЛФК и дополнительным средствам реабилитации, т.к. только комплексное восстановительное лечение позволяет добиваться значимых, долговременных результатов [3, 15]. При спастических формах ДЦП практически всегда отмечаются два вида симптомов, которые можно рассматривать со знаком «плюс» и знаком «минус» [16]. К симптомам со знаком «плюс» относят спастичность, повышение мышечного тонуса, усиление сухожильных рефлексов, появление клонусов, гиперкинезов и др. Но симптомы со знаком «минус» не менее значимы — это парезы, мышечная гипотония, нарушение селективного моторного контроля и др. [17]. У ребенка с ДЦП, как правило, могут одновременно присутствовать клинические проявления как со знаком «плюс», так и со знаком «минус». Для оптимальной коррекции двигательных расстройств необходимо оказывать терапевтическое воздействие одновременно на эти разнонаправленные проявления. В настоящее время лечебные подходы, ориентированные на расслабление спастических мышц и стимуляцию ослабленных антагонистов, являются научно обоснованным и применяются в раз-

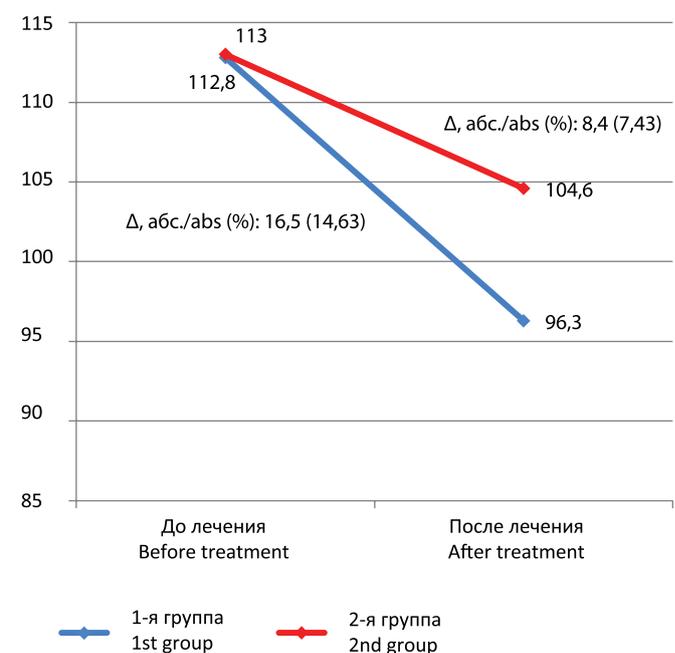


Рис. 2. Различия в динамике объема движений (в градусах) ГСС во время максимального произвольного усилия при разогнутом КС после лечения.

Fig. 2. Differences in the changes of the range of motion (in degrees) of the ankle joint during the maximum voluntary effort with the knee joint unbent in the main and control groups after treatment.

личных реабилитационных подходах (кинезиотерапевтическом, при использовании биологической обратной связи по электромиографическому каналу, при электрической стимуляции с разными техническими параметрами, транскраниальной магнитной стимуляции различными частотами и др.) [18–21].

В нашем исследовании впервые была предпринята попытка сочетания двух разнонаправленных методов (БТ с целью коррекции спастичности и повышенного мышечного тонуса икроножных мышц, формирующих эквинусное положение стопы, и ФЭС общего малоберцового нерва для усиления функции передней большеберцовой мышцы как мышцы-антагониста с явлениями пареза) для повышения эффективности лечения пациентов с ДЦП. Был проведен анализ эффективности комплексного лечения детей с ДЦП с I–III уровня по GMFCS с эквинусной установкой стопы, включая БТ и ФЭС, в сравнении с пациентами, по-

лучавшими инъекции препарата БТ без последующего проведения ФЭС. Достоверное снижение мышечного тонуса и спастичности икроножных мышц отмечалось в обеих группах, что указывало на высокую эффективность проведенной БТ. Полученные результаты согласуются с данными многочисленных исследований отечественных и зарубежных авторов [7, 22–24].

Принципиально важно, что ФЭС проводилась во время ходьбы именно в тот момент двойного шагового цикла, когда должна включаться передняя большеберцовая мышца, что усиливало ее сокращение и значительно улучшало паттерн походки пациента. После курса БТ это приводило к значительно большему увеличению объема движений в ГСС по сравнению с контрольной группой, причем как при пассивном тестировании, так и при выполнении ребенком произвольного максимального возможного тыльного сгибания стопы. Это указывает на то, что курс ФЭС,

Таблица 5. Динамика объема движений (в градусах) ГСС при пассивном тыльном сгибании стопы при разогнутом КС на фоне лечения
Table 5. Changes of the of the range of motion (in degrees) of the ankle joints with passive dorsiflexion of the foot when the knee joint is unbent separately in patients with Hemiplegic form and spastic diplegia against the background of the treatment

Показатель Index	До лечения Before treatment		После лечения After treatment		p, Fridman test
	СД — 1 spastic diplegia	ГФ — 2 hemiplegic form	СД — 3 spastic diplegia	ГФ — 4 hemiplegic form	
1-я группа, n 1st group, n	10	10	10	10	
Shapiro–Wilk test	0.93865	0.69051	0.34027	0.58132	p ₁₋₃ = 0.019 p ₂₋₄ = 0.0018
M	91.3	92.8	77.5	73.3	
SD	14.28	11.76	11.61	11.13	
Me	90.0	91.0	80.0	75.0	
Q1	80.0	85.0	70.0	68.0	
Q3	100.0	110.0	90.0	85.0	
Min	62.0	74.0	59.0	56.0	
Max	121.0	128.0	102.0	99.0	
Δ, абс./abs (%)			13.8 (15.12)	19.5 (21.01)	
2-я группа, n 2nd group, n	11	9	11	9	
Shapiro–Wilk test	0.17805	0.38115	0.18907	0.23492	p ₁₋₃ = 0.048 p ₂₋₄ = 0.045
M	91.6	92.7	81.3	84.5	
SD	12.19	10.80	12.39	11.61	
Me	90.0	95.0	75.0	85.0	
Q1	85.0	90.0	70.0	75.0	
Q3	95.0	105.0	85.0	90.0	
Min	60.0	88.0	55.0	59.0	
Max	120.0	135.0	105.0	110.0	
Δ, абс./abs (%)			10.3 (11.25)	8.2 (8.85)	
p, t-test	0.959	0.984	0.477	0.041	
p, Mann–Whitney test	0.896	0.936	0.389	0.037	

Таблица 6. Динамика объема движений (в градусах) ГСС во время максимального произвольного усилия при разогнутом КС на фоне лечения

Table 6. Changes of the range of motion (in degrees) of the ankle joints during the maximum voluntary effort with the knee joint unbent separately in patients with hemiplegic form and spastic diplegia against the background of the treatment

Показатель Index	До лечения Before treatment		После лечения After treatment		p, Fridman test
	СД — 1 spastic diplegia	ГФ — 2 hemiplegic form	СД — 3 spastic diplegia	ГФ — 4 hemiplegic form	
1-я группа, n 1st group, n	10	10	10	10	
Shapiro–Wilk test	0.71529	0.71173	0.19791	0.85095	$p_{1-3} = 0.038$ $p_{2-4} = 0.0035$
M	112.2	113.4	98.7	93.3	
SD	15.64	14.22	11.61	12.22	
Me	110.0	112.0	90.0	100.0	
Q1	102.0	105.0	70.0	95.0	
Q3	120.0	125.0	105.0	110.0	
Min	85.0	84.0	62.0	77.0	
Max	145.0	158.0	122.0	130.0	
Δ, абс./abs (%)			13.5 (12.0)	20.1 (17.7)	
2-я группа, n 2-nd group, n	11	9	11	9	
Shapiro–Wilk test	0.28523	0.10608	0.34455	0.19791	$p_{1-3} = 0.046$ $p_{2-4} = 0.048$
M	112.9	113.6	103.0	105.3	
SD	12.19	13.25	12.41	12.06	
Me	90.0	115.0	85.0	101.0	
Q1	85.0	107.0	70.0	95.0	
Q3	95.0	122.0	100.0	107.0	
Min	60.0	90.0	55.0	88.0	
Max	120.0	140.0	105.0	115.0	
Δ, абс./abs (%)			9.9 (8.76)	8.3 (7.3)	
p, t-test	0.910	0.975	0.422	0.047	
p, Mann–Whitney test	0.864	0.879	0.367	0.041	

направленный на увеличение функциональной активности передней большеберцовой мышцы, оказывает дополнительное терапевтическое действие в комплексе с миорелаксирующим влиянием БТ на спастические мышцы, что имеет достоверно больший положительный эффект. Сочетанное применение БТ и ФЭС было также исследовано на небольшой группе пациентов с ДЦП (6 — с ГФ и 2 — с СД) [25]. Показано, что комбинированное применение БТ и ФЭС мышц приводило к увеличению тыльного сгибания стопы и улучшению паттерна контакта стопы с опорой.

При анализе специально выделенной подгруппы пациентов с ГФ ДЦП были выявлены еще большие различия в объеме движений в ГСС между основной и контрольной группами. При выполнении пассивного тыльного сгибания стопы разница между пациентами 1-й и 2-й групп составила в среднем 11,2°, а при выполнении пациентами максимального произвольного мышечного сокращения — 12,0°. В работах, по-

священных ФЭС при ДЦП, также отмечено увеличение объема движений в ГСС у пациентов с ГФ [11, 26]. Некоторые авторы указывают на еще один важный момент клинической оценки ходьбы при ДЦП на фоне ФЭС — уменьшение числа задевания носком ноги пола и числа падений [26, 27], что также указывает на улучшение функционирования передней большеберцовой мышцы, но в нашем исследовании этот аспект не оценивался.

Положительный эффект ФЭС при ДЦП может быть связан не только с прямым стимулирующим эффектом (увеличением силы) типично ослабленной при этом заболевании передней большеберцовой мышцы [26, 28], но и с дополнительным расслабляющим влиянием на икроножную мышцу посредством механизма реципрокного торможения [29].

Увеличение объема движений в ГСС на фоне ФЭС может иметь еще одно объяснение — участие роли моторного переобучения [30]. Многие практические

рекомендации по реабилитации указывают, что для того, чтобы лечение было эффективным, оно должно быть использовано максимально часто, в адекватных дозах и в наиболее удобном контексте. Все это может быть отнесено к ФЭС во время ходьбы, поэтому многие эксперты считают, что это лечение, основанное на принципах моторного обучения, в наибольшей степени улучшает активность и участие пациентов с ДЦП [9, 31–33].

Достиженные в нашем исследовании результаты на фоне комплексного лечения в виде снижения мышечного тонуса, уменьшения спастичности икроножных мышц и увеличения объема движений в ГСС у пациентов с ДЦП нуждаются в поддержании. Для этого могут быть рекомендованы несколько подходов — повторные курсы через 3–6 мес в зависимости от клинической необходимости или домашние программы реабилитации с применением портативных приборов для ФЭС на время ходьбы, т.к. это дает возможность не терять достигнутого объема движений в ГСС [26, 34].

Ограничениями нашего исследования являются:

1) относительно небольшая выборка пациентов в обеих группах, что объясняется короткими сроками выполнения исследования и относительно большой длительностью выполнения курса лечебных процедур ФЭС;

2) использование в оценке результатов лечения только шкал (МШЭ и МШТ) и гониометрии, без оценки влияния на изменение паттерна ходьбы пациентов, что могло бы быть наиболее наглядным.

Но для изменения паттерна ходьбы пациентов с ДЦП требуется значительно больше времени, чем оценка через 2 нед, и применение сложного специального оборудования.

Заключение

Сочетанное применение БТ и ФЭС у детей с ДЦП GMFCS I–III является высокоэффективным, что проявляется как в достоверном снижении мышечного тонуса и спастичности, так и в достоверном увеличении объема движений в ГСС после лечения.

Использование БТ способствует снижению повышенного мышечного тонуса и купированию спастичности, положительно влияет на нивелирование проявлений патологического двигательного стереотипа пациентов. ФЭС является дополнительным эффективным средством, которое повышает силу ослабленных мышц, увеличивает диапазон движений и улучшает в целом паттерн ходьбы детей с ДЦП.

Оценка результатов гониометрического исследования до и после лечения показала, что объем движений в ГСС после комплексного лечения БТ и ФЭС был достоверно больше, чем у пациентов после только БТ. Различия в увеличении объема движений в основной группе наблюдались не только при проведении пассивного тыльного сгибания стопы, но и при выполнении пациентами максимального произвольного

мышечного сокращения. Это указывает на то, что курс ФЭС, направленный на увеличение функциональной активности передней большеберцовой мышцы, проведенный у пациентов основной группы, оказывает дополнительное терапевтическое действие, что в комплексе имеет достоверно больший положительный эффект.

Ограничением исследования является относительно небольшая выборка пациентов в обеих группах и использование в оценке результатов лечения только шкал (МШЭ и МШТ) и гониометрии, без оценки влияния на изменение паттерна ходьбы пациентов.

В дальнейшем необходимы большие контролируемые исследования для более детальной оценки эффективности ФЭС в комплексном лечении ДЦП.

ЛИТЕРАТУРА

1. Graham H.K., Rosenbaum P., Paneth N., Dan B., Lin J.P., Damiano D.L., et al. Cerebral palsy. *Nat. Rev. Dis. Primers*. 2016; (2): 15082. DOI: <http://doi.org/10.1038/nrdp.2015.82>
2. Spittle A.J., Morgan C. Early intervention for children with cerebral palsy. In: Panteliadis C.P., ed. *Cerebral Palsy: A Multidisciplinary Approach*. Cham: Springer; 2018: 193-200.
3. Пак Л.А. *Мультидисциплинарное сопровождение детей с детским церебральным параличом*: Дисс. ... д-ра мед. наук. М.; 2019.
4. Staudt M. Reorganization after pre- and perinatal brain lesions. *J. Anat.* 2010; 217(4): 469-74. DOI: <http://doi.org/10.1111/j.1469-7580.2010.01262.x>
5. Hagel C. Neuropathology of cerebral palsy. In: Panteliadis C.P., ed. *Cerebral Palsy: A Multidisciplinary Approach*. Cham: Springer; 2018: 35-48.
6. Strobl W., Theologis T., Brunner R., Kocer S., Viehweger E., Pascual-Pascual I., et al. Best clinical practice in botulinum toxin treatment for children with cerebral palsy. *Toxins (Basel)*. 2015; 7(5): 1629-48. DOI: <http://doi.org/10.3390/toxins7051629>
7. Куренков А.Л., Клочкова О.А., Змановская В.А., Фальковский И.В., Кенис В.М., Владыкина Л.Н. и др. Первый Российский консенсус по применению многоуровневых инъекций Aboobotulinumtoxin A при лечении спастических форм детского церебрального паралича. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова*. 2016; 11(116): 121-30. DOI: <http://doi.org/10.17116/jnevro201611611121-130>
8. Multani I., Manji J., Hastings-Ison T., Khot A., Graham K. Botulinum toxin in the management of children with cerebral palsy. *Paediatr. Drugs*. 2019; 21(4): 261-81. DOI: <http://doi.org/10.1007/s40272-019-00344-8>
9. Pool D., Valentine J., Blackmore A.M., Colegate J., Bear N., Stannage K., et al. Daily functional electrical stimulation during everyday walking activities improves performance and satisfaction in children with unilateral spastic cerebral palsy: a randomized controlled trial. *Arch. Physiother.* 2015; 5: 5. DOI: <http://doi.org/10.1186/s40945-015-0005-x>
10. Доценко В.И., Титаренко Н.Ю. Объективные инструментальные критерии оценки эффективности функциональной программируемой электромиостимуляции в ходьбе у больных с ортопедо-неврологической патологией. *Поликлиника*. 2019; (6): 49-52.
11. Damiano D.L., Prosser L.A., Curatalo L.A., Alter K.E. Muscle plasticity and ankle control after repetitive use of a functional electrical stimulation device for foot drop in cerebral palsy. *Neurorehabil. Neural Repair*. 2013; 27(3): 200-7. DOI: <http://doi.org/10.1177/1545968312461716>
12. Salazar A.P., Pagnussat A.S., Pereira G.A., Scopel G., Lukrafka J.L. Neuromuscular electrical stimulation to improve gross motor function in children with cerebral palsy: a meta-analysis. *Braz. J. Phys. Ther.* 2019; 23(5): 378-86. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.bjpt.2019.01.006>

13. Heinen F., Desloovere K., Schroeder A.S., Berweck S., Borggraeve I., van Campenhout A., et al. The updated European Consensus 2009 on the use of Botulinum toxin for children with cerebral palsy. *Eur. J. Paediatr. Neurol.* 2010; 14(1): 45-66. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.ejpn.2009.09.005>
14. Баранов А.А., Намазова-Баранова Л.С., Куренков А.Л., Ключкова О.А., Каримова Х.М., Мамедъяров А.М. и др. *Комплексная оценка двигательных функций у пациентов с детским церебральным параличом*. М.: ПедиатрЪ; 2014.
15. Novak I., Morgan C., Fahey M., Finch-Edmondson M., Galea C., Hines A., et al. State of the evidence traffic lights 2019: systematic review of interventions for preventing and treating children with cerebral palsy. *Curr. Neurol. Neurosci. Rep.* 2020; 20(2): 3. DOI: <http://doi.org/10.1007/s11910-020-1022-z>
16. Leonard J., Graham H.K. Treatment of motor disorders in cerebral palsy with botulinum neurotoxin. In: Jankovic J., et al. *Botulinum Toxin: Therapeutic Clinical Practice and Science*. Philadelphia: Saunders Elsevier; 2009: 172-91.
17. Sanger T.D., Chen D., Delgado M.R., Gaebler-Spira D., Hallett M., Mink J.W. Definition and classification of negative motor signs in childhood. *Pediatrics.* 2006; 118(5): 2159-67. DOI: <http://doi.org/10.1542/peds.2005-3016>
18. Кожевникова В.Т. *Современные технологии физической реабилитации больных с последствиями перинатального поражения нервной системы и детским церебральным параличом*. М.: Маджента; 2013.
19. Пинчук Д.Ю. *Биологически обратная связь по электромиограмме в неврологии и ортопедии: справочное руководство*. СПб.; 2002.
20. Prosser L.A., Curatalo L.A., Alter K.E., Damiano D.L. Acceptability and potential effectiveness of a foot drop stimulator in children and adolescents with cerebral palsy. *Dev. Med. Child Neurol.* 2012; 54(11): 1044-9. DOI: <http://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2012.04401.x>
21. Rossini P.M., Burke D., Chen R., Cohen L.G., Daskalakis Z., Di Iorio R., et al. Non-invasive electrical and magnetic stimulation of the brain, spinal cord, roots and peripheral nerves: Basic principles and procedures for routine clinical and research application. An updated report from an I.F.C.N. Committee. *Clin. Neurophysiol.* 2015; 126(6): 1071-107. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.clinph.2015.02.001>
22. Змановская В.А., Левитина Е.В., Попков Д.А., Буторина М.Н., Павлова О.Л. Длительное применение препарата ботулинического токсина типа А: Диспорт в комплексной реабилитации детей со спастическими формами церебрального паралича. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова*. 2014; 114(7): 33-6.
23. Delgado M.R., Tilton A., Russman B., Benavides O., Bonikowski M., Carranza J., et al. AbobotulinumtoxinA for equinus foot deformity in cerebral palsy: a randomized controlled trial. *Pediatrics.* 2016; 137(2): e20152830. DOI: <http://doi.org/10.1542/peds.2015-2830>
24. Franzén M., Hägglund G., Alriksson-Schmidt A. Treatment with Botulinum toxin A in a total population of children with cerebral palsy — a retrospective cohort registry study. *BMC Musculoskelet. Disord.* 2017; 18(1): 520. DOI: <http://doi.org/10.1186/s12891-017-1880-y>
25. Galen S., Wiggins L., McWilliam R., Granat M. A combination of botulinum toxin A therapy and functional electrical stimulation in children with cerebral palsy — a pilot study. *Technol. Health Care.* 2012; 20(1): 1-9. DOI: <http://doi.org/10.3233/THC-2011-0648>
26. Pool D., Blackmore A.M., Bear N., Valentine J. Effects of short-term daily community walk aide use on children with unilateral spastic cerebral palsy. *Pediatr. Phys. Ther.* 2014; 26(3): 308-17. DOI: <http://doi.org/10.1097/PEP.0000000000000057>
27. Comeaux P., Patterson N., Rubin M., Meiner R. Effect of neuromuscular electrical stimulation during gait in children with cerebral palsy. *Pediatr. Phys. Ther.* 1997; 9: 103-9.
28. Kerr C., McDowell B., McDonough S. Electrical stimulation in cerebral palsy: a review of effects on strength and motor function. *Dev. Med. Child Neurol.* 2004; 46(3): 205-13. DOI: <http://doi.org/10.1017/s0012162204000349>
29. Postans N.J., Granat M.H. Effect of functional electrical stimulation applied during walking, on gait in spastic cerebral palsy. *Dev. Med. Child Neurol.* 2005; 47(1): 46-52. DOI: <http://doi.org/10.1017/s0012162205000083>
30. Van der Linden M.L., Hazlewood M.E., Hillman S.J., Robb J.E. Functional electrical stimulation to the dorsiflexors and quadriceps in children with cerebral palsy. *Pediatr. Phys. Ther.* 2008; 20(1): 23-9. DOI: <http://doi.org/10.1097/PEP.0b013e31815f39e9>
31. Merrill D.R. Review of electrical stimulation in cerebral palsy and recommendations for future directions. *Dev. Med. Child Neurol.* 2009; 51(Suppl. 4): 154-65. DOI: <http://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2009.03420.x>
32. Brien M., Sveistrup H. An intensive virtual reality program improves functional balance and mobility of adolescents with cerebral palsy. *Pediatr. Phys. Ther.* 2011; 23(3): 258-66. DOI: <http://doi.org/10.1097/PEP.0b013e318227ca0f>
33. Moll I., Vles J.S.H., Soudant D.L.H.M., Witlox A.M.A., Staal H.M., Speth L.A.W.M., et al. Functional electrical stimulation of the ankle dorsiflexors during walking in spastic cerebral palsy: a systematic review. *Dev. Med. Child Neurol.* 2017; 59(12): 1230-6. DOI: <http://doi.org/10.1111/dmcn.13501>
34. Hazlewood M.E., Brown J.K., Rowe P.J., Salter P.M. The use of therapeutic electrical stimulation in the treatment of hemiplegic cerebral palsy. *Dev. Med. Child Neurol.* 1994; 36(8): 661-73. DOI: <http://doi.org/10.1111/j.1469-8749.1994.tb11909.x>

REFERENCES

1. Graham H.K., Rosenbaum P., Paneth N., Dan B., Lin J.P., Damiano D.L., et al. Cerebral palsy. *Nat. Rev. Dis. Primers.* 2016; (2): 15082. DOI: <http://doi.org/10.1038/nrdp.2015.82>
2. Spittle A.J., Morgan C. Early intervention for children with cerebral palsy. In: Panteliadis C.P., ed. *Cerebral Palsy: A Multidisciplinary Approach*. Cham: Springer; 2018: 193-200.
3. Pak L.A. *Multidisciplinary support for children with cerebral palsy*: Diss. Moscow; 2019. (in Russian)
4. Staudt M. Reorganization after pre- and perinatal brain lesions. *J. Anat.* 2010; 217(4): 469-74. DOI: <http://doi.org/10.1111/j.1469-7580.2010.01262.x>
5. Hagel C. Neuropathology of cerebral palsy. In: Panteliadis C.P., ed. *Cerebral Palsy: A Multidisciplinary Approach*. Cham: Springer; 2018: 35-48.
6. Strobl W., Theologis T., Brunner R., Kocer S., Viehweger E., Pascual-Pascual I., et al. Best clinical practice in botulinum toxin treatment for children with cerebral palsy. *Toxins (Basel)*. 2015; 7(5): 1629-48. DOI: <http://doi.org/10.3390/toxins7051629>
7. Kurenkov A.L., Klochkova O.A., Zmanovskaya V.A., Fal'kovskiy I.V., Kenis V.M., Vladykina L.N., et al. The first Russian consensus on the multilevel Abobotulinumtoxin A injections in spastic forms of cerebral palsy. *Zhurnal nevrologii i psikiatrii im. S.S. Korsakova*. 2016; 11(116): 121-30. DOI: <http://doi.org/10.17116/jnevro201611611121-130> (in Russian)
8. Multani I., Manji J., Hastings-Ison T., Khot A., Graham K. Botulinum toxin in the management of children with cerebral palsy. *Pediatr. Drugs.* 2019; 21(4): 261-81. DOI: <http://doi.org/10.1007/s40272-019-00344-8>
9. Pool D., Valentine J., Blackmore A.M., Colegate J., Bear N., Stanage K., et al. Daily functional electrical stimulation during everyday walking activities improves performance and satisfaction in children with unilateral spastic cerebral palsy: a randomized controlled trial. *Arch. Physiother.* 2015; 5: 5. DOI: <http://doi.org/10.1186/s40945-015-0005-x>
10. Dotsenko V.I., Titarenko N.Yu. Objective instrumental criteria for evaluating the effectiveness of functional programmable electrical stimulation in patients with orthopedic and neurological pathology. *Poliklinika*. 2019; (6): 49-52. (in Russian)
11. Damiano D.L., Prosser L.A., Curatalo L.A., Alter K.E. Muscle plasticity and ankle control after repetitive use of a functional electrical stimulation device for foot drop in cerebral palsy. *Neurorehabil. Neural Repair.* 2013; 27(3): 200-7. DOI: <http://doi.org/10.1177/1545968312461716>
12. Salazar A.P., Pagnussat A.S., Pereira G.A., Scopel G., Lukrafka J.L. Neuromuscular electrical stimulation to improve gross motor function in children with cerebral palsy: a meta-analysis. *Braz. J. Phys. Ther.* 2019; 23(5): 378-86. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.bjpt.2019.01.006>
13. Heinen F., Desloovere K., Schroeder A.S., Berweck S., Borggraeve I., van Campenhout A., et al. The updated European Consensus 2009 on the use of Botulinum toxin for children with cerebral palsy. *Eur. J.*

- Paediatr. Neurol.* 2010; 14(1): 45-66. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.ejpn.2009.09.005>
14. Baranov A.A., Namazova-Baranova L.S., Kurenkov A.L., Klochkova O.A., Karimova Kh.M., Mamedyarov A.M., et al. *Comprehensive Assessment of Motor Functions in Patients with Cerebral Palsy [Kompleksnaya otsenka dvigatel'nykh funktsiy u patsientov s detским tsebral'nym paralichom]*. Moscow: *Pediatr*"; 2014. (in Russian)
 15. Novak I., Morgan C., Fahey M., Finch-Edmondson M., Galea C., Hines A., et al. State of the evidence traffic lights 2019: systematic review of interventions for preventing and treating children with cerebral palsy. *Curr. Neurol. Neurosci. Rep.* 2020; 20(2): 3. DOI: <http://doi.org/10.1007/s11910-020-1022-z>
 16. Leonard J., Graham H.K. Treatment of motor disorders in cerebral palsy with botulinum neurotoxin. In: Jankovic J., et al. *Botulinum Toxin: Therapeutic Clinical Practice and Science*. Philadelphia: Saunders Elsevier; 2009: 172-91.
 17. Sanger T.D., Chen D., Delgado M.R., Gaebler-Spira D., Hallett M., Mink J.W. Definition and classification of negative motor signs in childhood. *Pediatrics.* 2006; 118(5): 2159-67. DOI: <http://doi.org/10.1542/peds.2005-3016>
 18. Kozhevnikova V.T. *Modern Technologies of Physical Rehabilitation of Patients with the Consequences of Perinatal Damage to the Nervous System and Cerebral Palsy [Sovremennye tekhnologii fizicheskoy reabilitatsii bol'nykh s posledstviyami perinatal'nogo porazheniya nervnoy sistemy i detским tsebral'nym paralichom]*. Moscow: Madzhenta; 2013. (in Russian)
 19. Pinchuk D.Yu. *Biofeedback on Electromyogram in Neurology and Orthopedics: A Reference Guide [Biologicheskii obratnaya svyaz' po elektromiogramme v nevrologii i ortopedii: spravochnoe rukovodstvo]*. St. Petersburg; 2002. (in Russian)
 20. Prosser L.A., Curatalo L.A., Alter K.E., Damiano D.L. Acceptability and potential effectiveness of a foot drop stimulator in children and adolescents with cerebral palsy. *Dev. Med. Child Neurol.* 2012; 54(11): 1044-9. DOI: <http://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2012.04401.x>
 21. Rossini P.M., Burke D., Chen R., Cohen L.G., Daskalakis Z., Di Iorio R., et al. Non-invasive electrical and magnetic stimulation of the brain, spinal cord, roots and peripheral nerves: Basic principles and procedures for routine clinical and research application. An updated report from an I.F.C.N. Committee. *Clin. Neurophysiol.* 2015; 126(6): 1071-107. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.clinph.2015.02.001>
 22. Zmanovskaya V.A., Levitina E.V., Popkov D.A., Butorina M.N., Pavlova O.L. Botulinum toxin type A (disport) in the complex rehabilitation of children with spastic forms of cerebral palsy. *Zhurnal nevrologii i psikhiiatrii im. S.S. Korsakova.* 2014; 114(7): 33-6. (in Russian)
 23. Delgado M.R., Tilton A., Russman B., Benavides O., Bonikowski M., Carranza J., et al. AbobotulinumtoxinA for equinus foot deformity in cerebral palsy: a randomized controlled trial. *Pediatrics.* 2016; 137(2): e20152830. DOI: <http://doi.org/10.1542/peds.2015-2830>
 24. Franzén M., Hägglund G., Alriksson-Schmidt A. Treatment with botulinum toxin A in a total population of children with cerebral palsy — a retrospective cohort registry study. *BMC Musculoskelet. Disord.* 2017; 18(1): 520. DOI: <http://doi.org/10.1186/s12891-017-1880-y>
 25. Galen S., Wiggins L., McWilliam R., Granat M. A combination of botulinum toxin A therapy and functional electrical stimulation in children with cerebral palsy — a pilot study. *Technol. Health Care.* 2012; 20(1): 1-9. DOI: <http://doi.org/10.3233/THC-2011-0648>
 26. Pool D., Blackmore A.M., Bear N., Valentine J. Effects of short-term daily community walk aide use on children with unilateral spastic cerebral palsy. *Pediatr. Phys. Ther.* 2014; 26(3): 308-17. DOI: <http://doi.org/10.1097/PEP.0000000000000057>
 27. Comeaux P., Patterson N., Rubin M., Meiner R. Effect of neuromuscular electrical stimulation during gait in children with cerebral palsy. *Pediatr. Phys. Ther.* 1997; 9: 103-9.
 28. Kerr C., McDowell B., McDonough S. Electrical stimulation in cerebral palsy: a review of effects on strength and motor function. *Dev. Med. Child Neurol.* 2004; 46(3): 205-13. DOI: <http://doi.org/10.1017/s0012162204000349>
 29. Postans N.J., Granat M.H. Effect of functional electrical stimulation applied during walking, on gait in spastic cerebral palsy. *Dev. Med. Child Neurol.* 2005; 47(1): 46-52. DOI: <http://doi.org/10.1017/s0012162205000083>
 30. Van der Linden M.L., Hazlewood M.E., Hillman S.J., Robb J.E. Functional electrical stimulation to the dorsiflexors and quadriceps in children with cerebral palsy. *Pediatr. Phys. Ther.* 2008; 20(1): 23-9. DOI: <http://doi.org/10.1097/PEP.0b013e31815f39c9>
 31. Merrill D.R. Review of electrical stimulation in cerebral palsy and recommendations for future directions. *Dev. Med. Child Neurol.* 2009; 51(Suppl. 4): 154-65. DOI: <http://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2009.03420.x>
 32. Brien M., Sveistrup H. An intensive virtual reality program improves functional balance and mobility of adolescents with cerebral palsy. *Pediatr. Phys. Ther.* 2011; 23(3): 258-66. DOI: <http://doi.org/10.1097/PEP.0b013e318227ca0f>
 33. Moll I., Vles J.S.H., Soudant D.L.H.M., Witlox A.M.A., Staal H.M., Speth L.A.W.M., et al. Functional electrical stimulation of the ankle dorsiflexors during walking in spastic cerebral palsy: a systematic review. *Dev. Med. Child Neurol.* 2017; 59(12): 1230-6. DOI: <http://doi.org/10.1111/dmcn.13501>
 34. Hazlewood M.E., Brown J.K., Rowe P.J., Salter P.M. The use of therapeutic electrical stimulation in the treatment of hemiplegic cerebral palsy. *Dev. Med. Child Neurol.* 1994; 36(8): 661-73. DOI: <http://doi.org/10.1111/j.1469-8749.1994.tb11909.x>