



Методы электростимуляции при сколиозе у детей: обзор литературы

✉ Хан М.А.^{1,2}, ✉ Погонченкова И.В.¹, ✉ Тальковский Е.М.^{1,*}, ✉ Выборнов Д.Ю.^{2,3},
✉ Куянцова Л.В.², ✉ Тарасов Н.И.², ✉ Коротеев В.В.²

¹ ГАУЗ «Московский научно-практический центр медицинской реабилитации, восстановительной и спортивной медицины им. С.И. Спасокукоцкого» Департамента здравоохранения города Москвы, Москва, Россия

² ГБУЗ «Детская городская клиническая больница им. Н.Ф. Филатова» Департамента здравоохранения города Москвы, Москва, Россия

³ ФГАОУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова» Минздрава России, Москва, Россия

РЕЗЮМЕ

ВВЕДЕНИЕ. Сколиоз является одним из самых распространенных ортопедических заболеваний детского и подросткового возраста, которое приводит к инвалидности и снижает качество жизни ребенка. Распространенность данной нозологической формы в структуре детской ортопедической патологии достигает 30 %. В 50 % случаев заболевание характеризуется тяжелым прогрессирующим течением, особенно в пубертатном периоде.

ЦЕЛЬ. Изучение эффективности методов электростимуляции при сколиозе у детей для разработки рекомендаций по их практическому применению на основе анализа систематических обзоров и рандомизированных контролируемых исследований.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Поиск проводился по базе данных доказательной физиотерапии PubMed, Киберленинка и eLIBRARY по ключевым словам «электростимуляция», «импульсные токи», «сколиоз», «дети» за период с 2008 по 2024 г. Критерии исключения: статьи, опубликованные по данной тематике до 2008 г.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ. Основными методами физиотерапии, применяемыми в лечении сколиоза у детей, являются методы электролечения, среди которых лидирующее место отводится электростимуляции. Преимущество электростимуляции при сколиозе у детей заключается в обеспечении тренировки силы и тонуса мышц спины на стороне деформации. Электростимуляция показана при сколиозе I и II степени. Наибольший эффект в коррекции сколиотической деформации позвоночника у детей наблюдается при комплексном применении электростимуляции и лечебной физической культуры (ЛФК). В настоящем обзоре приведены данные по актуальности медицинской реабилитации сколиоза у детей, механизму действия электростимуляции, данные об эффективности применения методов электростимуляции при сколиозе у детей: синусоидально-модулированных токов, диадинамотерапии, чрескожной электронейростимуляции, интерференцтерапии, флюктуоризации и функциональной программируемой электростимуляции (ФПЭС).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. В настоящее время разработан широкий спектр технологий электростимуляции для медицинской реабилитации детей со сколиозом, среди которых наиболее часто применяются синусоидально-модулированные токи (СМТ) и диадинамические токи (ДДТ).

Чрескожная электронейростимуляция, обладая преимущественно антиноцицептивным действием, также оказывает влияние на мышечные сокращения. ФПЭС мышц является перспективной технологией медицинской реабилитации детей со сколиозом, требующая дальнейшего изучения и научного обоснования.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: сколиоз, дети, физиотерапия, электростимуляция, импульсные токи

Для цитирования / For citation: Хан М.А., Погонченкова И.В., Тальковский Е.М., Выборнов Д.Ю., Куянцова Л.В., Тарасов Н.И., Коротеев В.В. Методы электростимуляции при сколиозе у детей: обзор литературы. Вестник восстановительной медицины. 2024; 23(5):116-124. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2024-23-5-116-124> [Khan M.A., Pogonchenkova I.V., Talkovsky E.M., Vybornov D.Y., Kuyantseva L.V., Tarasov N.I., Koroteev V.V. Electrical Stimulation Methods for Scoliosis in Children: a Literature Review. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2024; 23(5):116-124. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2024-23-5-116-124> (In Russ.).]

* Для корреспонденции: Тальковский Евгений Максимович, E-mail: talge21@mail.ru, 6057016@mail.ru

Статья получена: 09.08.2024
Статья принята к печати: 27.09.2024
Статья опубликована: 16.10.2024

Electrical Stimulation Methods for Scoliosis in Children: a Literature Review

 **Maya A. Khan**^{1,2},  **Irena V. Pogonchenkova**¹,  **Evgeny M. Talkovsky**^{1,*},
 **Dmitry Yu. Vybornov**^{2,3},  **Lyudmila V. Kuyantseva**²,  **Nikolai I. Tarasov**²,
 **Vladimir V. Koroteev**²

¹ S.I. Spasokukotsky Moscow Centre for Research and Practice in Medical Rehabilitation, Restorative and Sports Medicine, Moscow, Russia

² Filatov Childrens City Clinical Hospital, Moscow, Russia

³ Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russia

ABSTRACT

INTRODUCTION. Scoliosis is one of the most common orthopedic diseases of childhood and adolescence, leading to disability and reducing the child's quality of life. The prevalence of scoliosis in the structure of pediatric orthopedic pathology reaches 30 %. In 50 % of cases, the disease is characterized by a severe progressive course, especially during puberty.

AIM. Studying the effectiveness of electrical stimulation methods for scoliosis in children to develop recommendations for their practical use based on the analysis of systematic reviews and randomized controlled trials.

MATERIALS AND METHODS. The search was carried out using the database of evidence-based physiotherapy PubMed, Cyberleninka and eLIBRARY using the keywords: «electrical stimulation», «pulse currents», «scoliosis», «children» for the period from 2008–2024. Exclusion criteria: articles published on this topic before 2008.

MAIN CONTENT. The main methods of physiotherapy used in the treatment of scoliosis in children are electrotherapy methods, among which electrical stimulation plays a leading role. The advantage of electrical stimulation for scoliosis in children is to provide training in the strength and tone of the back muscles on the side of the deformity. Electrical stimulation is indicated for scoliosis of I and II degrees. The greatest effect in the correction of scoliotic spinal deformity in children is observed with the combined use of electrical stimulation and exercise therapy. This review provides data on the relevance of medical rehabilitation of scoliosis in children, the mechanism of action of electrical stimulation, data on the effectiveness of using electrical stimulation methods for scoliosis in children: sinusoidal modulated currents, diadynamic therapy, transcutaneous electrical neurostimulation, interference therapy, fluctuarization and functional programmable electrical stimulation.

CONCLUSION. Currently, a wide range of electrical stimulation technologies has been developed for the medical rehabilitation of children with scoliosis, among which sinusoidally modulated currents and diadynamic currents are most often used. Transcutaneous electrical neurostimulation, having a predominantly antinociceptive effect, also has an effect on muscle contractions. Functional programmable electrical stimulation of muscles is a promising technology for medical rehabilitation of children with scoliosis, requiring further study and scientific justification.

KEYWORDS: scoliosis, children, physiotherapy, electrical stimulation, pulsed currents

For citation: Khan M.A., Pogonchenkova I.V., Talkovsky E.M., Vybornov D.Y., Kuyantseva L.V., Tarasov N.I., Koroteev V.V. Electrical Stimulation Methods for Scoliosis in Children: a Literature Review. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2024; 23(5):116-124. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2024-23-5-116-124> (In Russ.).

* **For correspondence:** Evgeny M. Talkovsky, E-mail: talge21@mail.ru, 6057016@mail.ru

Received: 09.08.2024

Accepted: 27.09.2024

Published: 16.10.2024

ВВЕДЕНИЕ

В целях формирования научного обзора по современным методам электростимуляции при сколиозе у детей нами проведен поиск научных работ по данной тематике из открытых электронных баз научной медицинской литературы Киберленинка и eLIBRARY. Глубина поиска составила 20 лет.

Главной особенностью энергии физического фактора является способность поглощаться рецепторами тканевых мишеней с последующей ее трансформацией в метаболические процессы (энергоинформационные и метаболические трансформации) с преобразованием в биологические специфические и неспецифические эффекты, осуществляемые на трех уровнях — местном, сегментарном и общем [1–3].

Механизм действия электростимуляции

При электростимуляции применяются импульсные токи с целью стимуляции деятельности органов и систем. При воздействии импульсных токов низкой частоты происходит сокращение поперечнополосатой и гладкой мускулатуры [4].

Серии коротких импульсных токов низкой частоты оказывают влияние на подлежащие скелетные мышцы, стимулируя их сокращение.

В классической электростимуляции принимают участие разнообразные импульсные токи, действие которых при мышечном сокращении вызывает раздражение периферических двигательных нервов и увеличивает функциональные резервы нервно-мышечного аппарата. Необходимым условием возникновения двигательной

реакции скелетной мышцы является адекватная сила тока [4, 5]. Сокращение тонических («красных») мышечных волокон вызывают токи низкой частоты (до 20 имп./сек¹), высокочастотные импульсные токи (20–150 имп./сек¹) стимулируют сокращение фазных («белых») волокон [5, 6].

В основе механизма действия электростимуляции на организм человека лежит воздействие импульсных токов на ткани, приводящее к повышению проницаемости клеточных мембран, что вызывает изменение концентрации ионов в клетках тканей организма и деполяризацию клеточных мембран. Процесс деполяризации активирует K-Na-каналы, увеличивая концентрацию ионов Na⁺ внутри клетки, а ионов K⁺ вне клеточного пространства с последующим восстановлением ее исходного заряда. Эти процессы в нервно-мышечных тканях ведут к мышечному сокращению [3–5].

Воздействие электростимуляции на мышечную систему ведет к восстановлению нарушенного кровотока и трофики в пораженных отделах, являясь катализатором энергетических и пластических процессов в окружающих тканях, что приводит к увеличению объема и силы мышц и снижению мышечной утомляемости. При воздействии импульсных токов увеличивается интенсивность тканевого дыхания мышц и нейрогуморальная регуляция органов и тканей [6–8].

Методические особенности применения электростимуляции в детском возрасте идентичны технике проведения процедур у взрослых, однако требуют индивидуальных дозировок и дифференцированного подхода, который обусловлен меньшей длительностью электрического воздействия на организм ребенка, в отличие от взрослого. Чаще всего детям назначают переменные импульсные токи, так как они, в отличие от выпрямленных токов, обладают меньшим раздражающим воздействием и хорошо переносятся. Во время проведения процедур необходимо проводить динамический контроль за состоянием детского организма и его общих реакций на процедуры [9–11].

Актуальность медицинской реабилитации сколиоза

При сколиозе формируется трехплоскостная деформация позвоночного столба с вовлечением в патологический процесс внутренних органов и систем (кардиореспираторной системы, желудочно-кишечного тракта, нервной и других систем организма). В результате этого снижается качество жизни человека, а также увеличивается риск получения инвалидности. Доля сколиоза составляет 30 % в структуре детской ортопедической патологии. В 50 % случаев заболевание приобретает тяжелое прогрессирующее течение. Итоги статистических исследований свидетельствуют о неуклонном росте числа детей со сколиотической деформацией позвоночного столба. В последние годы в 4–6 раз возросла обращаемость пациентов в медицинские учреждения по поводу данного заболевания. Тяжелые деформации позвоночника, по данным литературы, в среднем встречаются у 0,5 % обследованных подростков [10–13].

Развитие сколиотической деформации позвоночного столба нередко приводит к необратимой утрате его функций, связанной с поражением ростковых зон позвоночника, что создает серьезные препятствия нормальному формированию позвоночного столба больного ребенка [14–16].

Составной частью программ медицинской реабилитации сколиотической деформации позвоночника являются физиотерапевтические методы. Применение технологий физиотерапии формирует условия для создания постуральной стабильности тела, укрепления костно-мышечного корсета ребенка, торможения прогрессирования сколиотического процесса [15–18].

Методы электростимуляции занимают лидирующие позиции в современных физиотерапевтических программах медицинской реабилитации заболевания. Электромиостимуляция вместе с регулярными занятиями лечебной физической культуры (ЛФК) при сколиозе у детей назначается с целью тренировки тонуса и силы мышечных групп спины на стороне деформации [19–22].

Применение синусоидально-модулированных токов при сколиозе у детей

При сколиотической деформации позвоночника у детей врачами чаще всего назначаются синусоидально-модулированные токи (СМТ). Аппараты серии «Амплипульс» генерируют переменные синусоидальные токи частотой 5 кГц, модулированные по частоте (от 10 до 150 Гц) и по амплитуде. СМТ и по своим физико-химическим и лечебным эффектам похожи на диадинамические токи (ДДТ), однако в отличие от них обладают более мягким действием, безболезненностью и глубоким проникновением в ткани организма. СМТ хорошо переносятся детьми [4, 19, 23].

Во время проведения процедур токи СМТ оказывают биомеханическое корректирующее влияние на сколиотическую дугу при мышечном сокращении, повышая силовую выносливость мышц спины [23, 24].

Импульсные токи свободно проникают через кожу. При этом поглощение энергии происходит глубоко в мышечной ткани на всем пути ее прохождения. Нервно-мышечные волокна обладают повышенной чувствительностью к токам проводимости, генерируемым СМТ в тканях [19, 24, 25].

СМТ для электростимуляции проводится в постоянном режиме частотой 30 Гц и глубиной модуляции 100 %, воздействуя на выпуклую (перерастянутую) часть сколиотической дуги, что приводит к ритмическому сокращению поперечнополосатой мускулатуры. В зависимости от типа сколиотической деформации при С-образном сколиозе электромиостимуляцию проводят на выпуклую часть сколиотической дуги, при S-образном типе сколиоза — поочередно на каждую сколиотическую дугу, укрепляя костно-мышечный корсет. Не рекомендуется назначать электростимуляцию детям с III и IV степенью сколиоза, при быстро прогрессирующем течении заболевания, а также с сопутствующими заболеваниями сердечно-сосудистой системы, кожного покрова и с индивидуальной непереносимостью электрического тока [24–29].

Балашова И.В. сообщила об успешном применении реабилитационных комплексов при начальных формах сколиоза (I–II степени) у детей в санаторно-курортных условиях [30]. Комплексы включали в себя применение различных методов электростимуляции (СМТ, чрескожная электронейростимуляция [ЧЭНС]) вместе с ЛФК, массажем спины и бальнеотерапией. Полученные результаты показали, что благодаря высокой эффективности (86,7 %) наиболее предпочтительно детям при

сколиозе I и II степени применять комплекс, состоящий из электропроцедур в виде воздействия СМТ на выпуклую (перерастянутую) сколиотическую дугу, ЧЭНС — на вогнутую (спазмированную) дугу, чередуя через день воздействия методами электротерапии с применением ЛФК, массажем спины и живота, а также с бальнеопроцедурами (хлоридными натриевыми ваннами). Эффективность применения аналогичного реабилитационного комплекса без методов электростимуляции составила лишь 45,5 %, что свидетельствовало о значительной роли методов электростимуляции в медицинской реабилитации таких детей [30–32].

Применение диадинамических токов при сколиозе у детей

С целью проведения электростимуляции мышц спины при сколиозе у детей применяется диадинамическая терапия, представляющая собой ток с низкой частотой следования импульсов полусинусоидальной формы задним фронтом, затянута по экспоненте с частотой 50 и 100 Гц. Для ДДТ по сравнению с СМТ характерно более выраженное раздражающее влияние на нервно-мышечный аппарат. Данный физический фактор назначается при сколиозе I и II степени в виде последовательного применения однополупериодных непрерывных токов в течение 2 минут, двухтактный волновой ток (ДВ), ток, модулированный длинным периодом (ДП) по 2–3 минуты каждого вида до ощущения безболезненной вибрации. Электроды располагаются на выпуклой части сколиотической дуги при С-образном сколиозе, при S-образном типе электроды поочередно размещают на выпуклые части сколиотических дуг [9, 19, 33–35].

При сколиозе II и III степени у детей авторами был предложен новый комплексный подход при соблюдении ортопедического режима, состоящий из применения локальной гипобаротерапии (вакуумного массажа), ДДТ, массажа, комплекса ЛФК, специального разгрузочного устройства для позвоночника. Целями разработанной авторской методики являлись постепенное снижение осевой нагрузки на позвоночник и увеличение интенсивности работы мышц спины для компенсации верифицированных изменений структуры позвоночного столба.

В ходе лечения проводили одновременное воздействие двух физических факторов на вогнутую и выпуклую части сколиотических дуг. Процедуры вакуумного массажа для снижения мышечного гипертонуса осуществлялись на вогнутой стороне сколиотической дуги. Одновременно с этими процедурами для повышения мышечного тонуса на выпуклой стороне сколиотической дуги проводили диадинамотерапию с использованием двухполупериодного тока в течение 1–2 минут, а затем однополупериодного ритмичного тока длительностью 5–8 минут. Данная физиотерапевтическая методика приводила к выравниванию тонуса мышц сколиотических дуг.

В ходе исследования было показано, что рекомендуемая методика лечения наиболее предпочтительна для больных, страдающих сколиозом II степени [36].

Применение тренажера Маркелова при сколиозе у детей

Достоинны внимания полученные данные применения нового аппарата MB6.03 (тренажер Маркелова) при

сколиозе у детей. Новизна использования устройства (электростимулятора, созданного автором изобретения) заключается в излучении специального электрического импульсного сигнала и в конструкции электрода. Аппарат генерирует токи экспоненциальной формы с частотой 50 Гц, похожие на ДДТ. Длительность одиночного импульса достигает 20 мс при силе тока до 25 мА; стимуляция осуществляется пачками по 20 стимулов. Аппарат обладает различными программами с определенными характеристиками (частота, сила, длительность и количество стимулов). При применении различных стимуляционных программ происходит воздействие электрических импульсов на мышечные волокна в дискретном режиме, обуславливая имитацию естественного мышечного сокращения. В ходе применения электростимулятора на паравертебральные зоны происходит глубокое воздействие на окологривочные мышцы, стимулируется их глубокое безболезненное сокращение.

Полученные результаты электростимуляции глубоких паравертебральных мышц спины от аппарата на 12 здоровых добровольцах в возрасте 19–20 лет показали идентичную динамику электромиографических показателей параллельно с физической нагрузкой.

Электростимуляция от аппарата MB6.03 позволяет нормализовать симметрию биоэлектрической активности паравертебральных мышц, уменьшить степень ротации в горизонтальной плоскости. По результатам проведенного исследования учеными была выдвинута гипотеза о том, что электростимуляция глубоких мышц позвоночника частично заменяет упражнения с отягощением у больных со сколиозом и других заболеваний костно-мышечной системы, а также применяется для профилактики развития сколиотической деформации [18].

Большой опыт применения аппарата MB6.03 в лечении сколиоза у детей накоплен в ГБУЗ «Восстановительный Центр детской ортопедии и травматологии Огонек в г. Санкт-Петербурге. Для лечения сколиоза I и II степени использовался паравертебральный жилет, состоящий из двух съемных полостных графитовых электродов, соединенных с электродом электростимулятора. В первый день электроды располагали на выпуклой зоне позвоночника, тем самым увеличивая мышечное напряжение со стороны перерастянутых позвоночных мышц, одновременно растягивая и расслабляя сторону с высоким мышечным тонусом за счет мышечных сокращений. На второй день электроды локализовали симметрично друг к другу вдоль позвоночника для охвата всей площади паравертебральных мышц. Курс лечения состоял из ежедневного чередования расположения электродов по отношению к сколиотической дуге [37–39].

На современном этапе наиболее перспективными являются научные разработки по медицинской реабилитации больных сколиозом, включающие в себя технологии электростимуляции в составе комплексных методик лечения таких больных [40–43].

Применение интерференционных токов при сколиозе у детей

В этом плане интерес вызывает работа, посвященная изучению эффективности комплексного влияния

интерференционных токов и бальнеотерапии (хлоридных натриевых ванн) при начальных формах сколиоза (I–II степени) у детей. Интерференционные токи стимулируют сокращение скелетных и гладких мышц внутренних органов. Динамическое наблюдение за большинством пациентов, получавших комбинированное лечение интерференционными токами и хлоридными натриевыми ваннами, выявило урежение частоты жалоб на быструю истощаемость мышц при физической нагрузке и улучшение показателей клинко-ортопедического статуса (значительное уменьшение асимметрии надплечий, лопаток треугольников талии, уменьшение выраженности «мышечного валика»). Наиболее значимые благоприятные изменения клинко-функциональных показателей регистрировались у детей со сколиозом I степени. У пациентов контрольной группы динамика клинко-ортопедических показателей была менее существенна. Эффективность комплексного применения хлоридных натриевых ванн и интерференцтерапии составила 84 % по сравнению с изолированным применением интерференционных токов (72 %), хлоридных натриевых ванн (66,7 %) [44].

Применение функциональной программируемой электростимуляции при сколиозе у детей

В течение последних двух десятилетий исследователями изучается эффективность применения новых программно-аппаратных комплексов при сколиозе у детей. На современном этапе развития медицины метод функциональной программируемой электростимуляции (ФПЭС) мышц находит все более широкое применение при динамической оценке эффективности сокращений групп мышц при различных режимах двигательной активности человека (ходьба, бег, занятия на тренажерах и др.). В обычных условиях электростимуляция применялась в медицинской реабилитации при воздействии на статичные мышцы, при этом не оказывая положительное влияние на выработку нового стереотипа движений и механику двигательного акта.

При ходьбе электростимуляция происходит во время естественного сокращения и расслабления мышц. При ФПЭС электростимуляция пациентов оказывается в динамическом режиме, закрепляя новые двигательные стереотипы на уровне высших отделов центральной нервной системы (ствола и больших полушарий головного мозга), усиливая эффективность достигнутой моторной перестройки [45, 46].

Можно утверждать, что ФПЭС воплощает в себе три основных направления современной медицинской реабилитации — кинезиотерапию, аппаратную физиотерапию и современное ортезирование [45, 46].

Аппарат «Аккорд» представляет собой аппаратно-программный комплекс многоканальной электростимуляции низкочастотным биполярным импульсным током (научно-медицинская фирма «Статокин», Россия).

Интересны полученные данные, которые приводят в своем исследовании Доценко В.И. и др. (2012). Они сообщили о результатах успешного лечения 55 детей в возрасте 7–15 лет, страдающих начальными формами сколиоза (I–II ст.) [47].

В ходе лечения ФПЭС впервые получило 35 детей. Контрольная группа была представлена 10 пациентами,

получавшими в условиях покоя процедуры электромиостимуляции спины от аппарата «Стимул-1».

Все изучаемые пациенты в зависимости от верифицированного типа сколиоза были разделены на 2 клинические группы: первая группа сравнения с S-образным типом сколиоза — 14 детей (40 %), вторая группа сравнения с C-образным типом сколиоза — 21 ребенок (60 %).

Полученные и обработанные в ходе проведенного исследования многочисленные данные видеонализа движений с помощью аппарата «Аккорд» позволили ученым составить четкие представления о возможности применения данного устройства при сколиозе у детей. Результаты полученных исследований указывали на значительный рост максимальной электрической активности мышц в 1,5 раза, была выявлена коррекция общего угла искривления до 23 %, или 4,6° в сторону регрессии деформации. В результате применения многоканальной электростимуляции отмечено улучшение работы мышц при шаговых движениях и симметричность их включения в мышечную работу туловища в целом. В контрольной группе зарегистрирована незначительная динамика полученных результатов применения электромиостимуляции в режиме статики, при котором отмечена незначительная коррекция общего угла искривления — 1,0°, а максимальная электрическая активность возросла лишь на 4 %.

Отдаленные результаты лечения, полученные спустя 6–18 месяцев после завершения первого курса, свидетельствовали о сохранении благоприятных результатов клинко-функциональных показателей ортопедического статуса детей после примененной электромиостимуляции. Полученные катamnестические данные, зарегистрированные спустя 6–12 месяцев после повторных курсов, подтверждали устойчивое сохранение положительной динамики результатов лечения детей [47, 48].

Применение флюктуирующих токов при сколиозе у детей

Интересны результаты научного исследования по изучению результатов применения электростимуляции мышц спины с использованием флюктуирующих токов от аппарата «Адаптон ЭМИТ-4», предназначенного для лечебного воздействия на пациента переменным электрическим током со случайно меняющейся амплитудой и частотой с целью обезболивания и снятия воспалительных процессов. Продолжительность паравертебрального воздействия составляла от 10 до 20 минут.

Флюктуоризация, благодаря своим физическим характеристикам и беспорядочной генерации токов различной частоты, не вызывает адаптации в тканях на протяжении всего времени воздействия. Импульсы частотой от 0,5 до 10 Гц приводят к интенсивным мышечным сокращениям, слабо раздражая окружающие ткани. Кроме того, флюктуоризация благоприятно влияет на усиление локальной микроциркуляции и ликвидацию вегетососудистых нарушений.

У больных сколиозом I–II степени проводился анализ эффективности комплексного воздействия электростимуляции от аппарата «Адаптон ЭМИТ-4», массажа и лечебной гимнастики. Основную группу составили 55 пациентов. Средний возраст больных, среди которых в 70 % случаев преобладали девочки, составил 13,5 лет.

До начала лечения гипертонус мышц позвоночника и ягодич был выявлен у 30 (29,6 %) детей, гипотонус мышц и паравертебральная асимметрия — у 46 (43,4 %).

Контрольную группу составили 47 больных с аналогичными клиническими проявлениями, получавших процедуры магнитотерапии на область спины интенсивностью 10–35 мТл. В ходе лечения у 84 % детей основной группы достигнуто уменьшение выраженности гипертонуса паравертебральных мышц, у 62 % возросли гибкость позвоночника и скорость проведения импульса по двигательным волокнам.

По результатам проведенного научного исследования авторами сделан вывод о том, что ежедневное применение электростимуляции в сочетании с другими физиотерапевтическими процедурами резко увеличивает эффективность лечения таких детей [49, 50].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в настоящее время разработан широкий спектр технологий электростимуляции для медицинской реабилитации детей со сколиозом,

среди которых наиболее часто применяются СМТ и ДДТ за счет более глубокого их проникновения в мышечные ткани и воздействия на нервно-мышечные волокна, что создает условия для повышения силовой выносливости мышц спины в области выпуклой части сколиотической дуги.

Методы чрескожной электронейростимуляции (аппараты «Дельта», «ДЭНАС» и др.) также востребованы в медицинской реабилитации детей со сколиозом. Они обладают преимущественно антиноцицептивным действием, однако в последнее время появились данные о влиянии данного физического фактора на мышечные сокращения вследствие их воздействия на двигательные рецепторы мышц.

В последние годы в качестве перспективной технологии медицинской реабилитации больных особый интерес клиницистов обращен к ФПЭС мышц, активно применяемой в нейроортопедии. Вместе с тем данный метод требует дальнейшего научного обоснования и проведения научных исследований по изучению эффективности для медицинской реабилитации детей со сколиозом.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Хан Майя Алексеевна, доктор медицинских наук, профессор, заведующая отделом медицинской реабилитации детей и подростков, ГАУЗ «Московский научно-практический центр медицинской реабилитации, восстановительной и спортивной медицины им. С.И. Спасокукоцкого» Департамента здравоохранения города Москвы; заведующая центром медицинской реабилитации, ГБУЗ «Детская городская клиническая больница им. Н.Ф. Филатова» Департамента здравоохранения города Москвы.

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1081-1726>

Погонченкова Ирэна Владимировна, доктор медицинских наук, доцент, ГАУЗ «Московский научно-практический центр медицинской реабилитации, восстановительной и спортивной медицины им. С.И. Спасокукоцкого» Департамента здравоохранения города Москвы; главный внештатный специалист по медицинской реабилитации и санаторно-курортному лечению Департамента здравоохранения города Москвы.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5123-5991>

Тальковский Евгений Максимович, кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник, отдел медицинской реабилитации детей и подростков, ГАУЗ «Московский научно-практический центр медицинской реабилитации, восстановительной и спортивной медицины им. С.И. Спасокукоцкого» Департамента здравоохранения города Москвы. E-mail: talge21@mail.ru;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7517-4625>

Выборнов Дмитрий Юрьевич, доктор медицинских наук, главный внештатный детский специалист травматолог-ортопед, заместитель главного врача по медицинской части, ГБУЗ «Детская городская клиническая больница им. Н.Ф. Филатова» Департамента здравоохранения города Москвы; профессор кафедры детской хирургии, ФГАОУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова» Минздрава России.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8785-7725>

Куянцева Людмила Васильевна, кандидат медицинских наук, врач-физиотерапевт центра медицинской реабилитации,

ГБУЗ «Детская городская клиническая больница им. Н.Ф. Филатова» Департамента здравоохранения города Москвы.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4814-2935>

Тарасов Николай Иванович, кандидат медицинских наук, заведующий отделением травматологии и ортопедии им. В.П. Немсадзе, ГБУЗ «Детская городская клиническая больница им. Н.Ф. Филатова» Департамента здравоохранения города Москвы.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9303-2372>

Коротеев Владимир Викторович, кандидат медицинских наук, врач отделения травматологии и ортопедии им. В.П. Немсадзе, ГБУЗ «Детская городская клиническая больница им. Н.Ф. Филатова» Департамента здравоохранения города Москвы.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4502-1465>

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства согласно международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределен следующим образом: Хан М.А. — концепция протокола исследования, формулирование выводов, корректировка текста статьи; Погонченкова И.В. — концепция протокола исследования, формулирование выводов, корректировка текста статьи; Тальковский Е.М. — набор материала, написание статьи; Выборнов Д.Ю. — концепция протокола исследования, формулирование выводов, корректировка текста статьи; Куянцева Л.В. — набор материала, написание текста статьи; Тарасов Н.И. — набор материала; Коротеев В.В. — набор материала.

Источники финансирования. Данное исследование не было поддержано никакими внешними источниками финансирования.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии потенциального конфликта интересов.

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

ADDITIONAL INFORMATION

Maya A. Khan, D.Sc. (Med.), Professor, Head of the Department of Medical Rehabilitation of Children and Adolescents, S.I. Spasokukotsky Moscow Centre for Research and Practice in Medical Rehabilitation, Restorative and Sports Medicine; Head of the Medical Rehabilitation Center, Filatov Childrens City Clinical Hospital.

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1081-1726>

Irena V. Pogonchenkova, D.Sc. (Med.), Docent, Director of the S.I. Spasokukotsky Moscow Centre for research and practice in medical rehabilitation, restorative and sports medicine; Chief freelance specialist in medical rehabilitation and sanatorium-resort treatment of the Moscow Department of Health.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5123-5991>

Evgeny M. Talkovsky, Ph.D. (Med.), Researcher, Department of Medical Rehabilitation of Children and Adolescents, S.I. Spasokukotsky Moscow Centre for Research and Practice in Medical Rehabilitation, Restorative and Sports Medicine.

E-mail: talge21@mail.ru;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7517-4625>

Dmitry Yu. Vybornov, D.Sc. (Med.), Chief Freelance Pediatric Specialist Traumatologist-Orthopedist, Deputy Chief Physician, Filatov Childrens City Clinical Hospital; Professor of the Department of Pediatric Surgery, Pirogov Russian National Research Medical University.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8785-7725>

Lyudmila V. Kuyantseva, Ph.D. (Med.), Physiotherapist, Medical Rehabilitation Center, Filatov Childrens City Clinical Hospital.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4814-2935>

Nikolai I. Tarasov, D.Sc. (Med.), Head of the Department of Traumatology and Orthopedics named after V.P. Nemsadze, Filatov Childrens City Clinical Hospital.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9303-2372>

Vladimir V. Koroteev, Ph.D. (Med.), Physician of the Department of Traumatology and Orthopedics named after V.P. Nemsadze, Filatov Childrens City Clinical Hospital.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4502-1465>

Author Contributions. All authors confirm their authorship according to the international ICMJE criteria (all authors contributed significantly to the conception, study design and preparation of the article, read and approved the final version before publication). Special Contributions: Khan M.A. — concept of the study protocol, formulation of conclusions, correction of the text of the article; Pogonchenkova I.V. — concept of the study protocol, formulation of conclusions, correction of the text of the article; Talkovsky E.M. — typing material, writing the article; Vybornov D.Yu. — concept of the research protocol, formulation of conclusions, correction of the text of the article; Kuyantseva L.V. — typing of material, writing the text of the article; Tarasov N.I. — set of materials; Koroteev V.V. — set of materials.

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

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

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

Список литературы / References

1. Овчинников Е.Н., Стогов М.В. Стимуляция остеогенеза постоянным электрическим током (обзор литературы). Травматология и ортопедия России. 2019; 25(3): 185–191. <https://doi.org/10.21823/2311-2905-2019-25-3-185-191> [Ovchinnikov E.N., Stogov M.V. Stimulation of osteogenesis by direct electric current (literature review). Traumatology and orthopedics of Russia. 2019; 25(3): 185–191. <https://doi.org/10.21823/2311-2905-2019-25-3-185-191> (In Russ.).]
2. Каладзе Н.Н., Крадинова Е.А., Савенко Н.В., Кулик Е.И. Основы физиотерапии в педиатрии. Учебно-методическое пособие. Евпатория. 2012; 80 с. [Kaladze N.N., Kradinova E.A., Savenko N.V., Kulik E.I. Osnovy fizioterapii v pediatrii. Uchebno-metodicheskoe posobie. Evpatoriya. 2012; 80 s. (In Russ.).]
3. Хан М.А., Тальковский Е.М., Выборнов Д.Ю. и др. Методы физиотерапии в медицинской реабилитации детей со сколиозом. Физиотерапевт. 2023; 5: 104–111. <https://doi.org/10.33920/med-14-2305-11> [Khan M.A., Talkovsky E.M. Vybornov D.Yu. et al. Physiotherapy methods in medical rehabilitation of children with scoliosis. Physiotherapist. 2023; 5: 104–111. <https://doi.org/10.33920/med-14-2305-11> (In Russ.).]
4. Улащик В.С. Физиотерапия. Универсальная медицинская энциклопедия. Минск: Книжный Дом. 2008: 640 с. [Ulashchik V.S. Fizioterapiya. Universal'naya medicinskaya enciklopediya. Minsk: Knizhnyj Dom. 2008; 640 s. (In Russ.).]
5. Жукова В.Ю., Лобанов Ю.Ф. Применение динамической электростимуляции в медицине. Физиотерапия, бальнеология и реабилитация. 2012; 1: 42–44 [Zhukova V.Yu., Lobanov Yu.F. Application of dynamic electrical neurostimulation in medicine. Physiotherapy, balneology and rehabilitation. 2012; 1: 42–44 (In Russ.).]
6. Uwamahoro R., Sundaraj K., Subramaniam I.D. Assessment of muscle activity using electrical stimulation and mechanomyography: a systematic review. Biomed Eng Online. 2021; 3; 20(1): 1. <https://doi.org/10.1186/s12938-020-00840-w>
7. Saghbiny E, Da Silva J, Chaimi C, Chandanson T, Vialle R. Protocol for Electrical Conductivity Signal Collection and Processing in Scoliosis Surgery. Adv Orthop. 2023; 2023: 9955520. <https://doi.org/10.1155/2023/9955520>
8. Воронцова Т.С., Давыдов Т.С. Модель электростимуляции мышц спины при лечении сколиоза. Цифровая трансформация. 2023; 29(3): 75–81. <https://doi.org/10.35596/1729-7648-2023-29-3-75-81> [Vorontsova T.S., Davydov M.V. Model of Electrical Stimulation of Back Muscles in the Treatment of Scoliosis. Digital Transformation. 2023; 29(3): 75–81. <https://doi.org/10.35596/1729-7648-2023-29-3-75-81> (In Russ.).]
9. Хан М.А., Кривцова Л.А., Демченко В.И. Физиотерапия в педиатрии. Москва: ГЭОТАР-Медиа. 2014; 193 с. [Khan M.A., Krivcova L.A., Demchenko V.I. Fizioterapiya v pediatrii. Moskva: GEOTAR-Media. 2014; 193 s. (In Russ.).]
10. Прудникова О.Г., Губин А.В., Коваленко П.И., Хомченков М.В. Тактические подходы в лечении детей со сколиозами. Системная интеграция в здравоохранении. 2011; 3: 18. [Prudnikova O.G., Gubin A.V., Kovalenko P.I., Khomchenkov M.V. Tactical approaches in the treatment of children with scoliosis System integration in healthcare. 2011; 3: 14–18 (In Russ.).]
11. Зайцева Т.Н., Куликов А.Г., Ярустовская О.В. Сколиоз у детей: новые подходы к лечению и реабилитации. Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. 2017; 4: 43–47. <https://doi.org/10.17116/kurort201794443-47> [Zaitseva T.N., Kulikov A.G., Yarustovskaya O.V. Scoliosis in children: new approaches to treatment and rehabilitation. Issues of balneology, physiotherapy and therapeutic physical culture. 2017; 4: 43–47 <https://doi.org/10.17116/kurort201794443-47> (In Russ.).]

12. Новосельский А.Н., Пузырев О.И., Новосельская О.И. и др. Эффективность медицинской реабилитации у детей со сколиотической деформацией. Научный поиск. 2015; 2–3: 33–36. [Novoselsky A.N., Puzyrev O.I., Novoselskaya O.I., et al. The effectiveness of medical rehabilitation in children with scoliotic deformity. Scientific search. 2015; 2–3: 33–36 (In Russ.).]
13. Сарнадский В.Н., Михайловский М.В., Садовая Т.Н. и др. Распространенность структурального сколиоза среди школьников Новосибирска по данным компьютерной оптической топографии. Бюллетень сибирской медицины. 2017; 16(1): 80–91. <https://doi.org/10.20538/1682-0363-2017-1-80-91> [Sarnadsky V.N., Mikhailovsky M.V., Sadovaya T.N. et al. Prevalence of structural scoliosis among schoolchildren in Novosibirsk according to computer optical topography data. Bulletin of Siberian Medicine. 2017; 16(1): 80–91. <https://doi.org/10.20538/1682-0363-2017-1-80-91> (In Russ.).]
14. Сушко А.В., Тиханович А.А., Шулейко О.Б. Современный подход в реабилитации детей с нарушением осанки и сколиозом. Современные достижения молодых учёных в медицине. 2022; 286–289 [Sushko A.V., Tikhonovich A.A., Shuleiko O.B. Modern approach to the rehabilitation of children with poor posture and scoliosis. Modern achievements of young scientists in medicine. 2022; 286–289 (In Russ.).]
15. Куликов А.Г., Зайцева Т.Н., Пыжевская О.П., Иванова Е.Р. Сколиоз у детей: новые подходы к решению важной медико-социальной проблемы. Медико-социальная экспертиза и реабилитация. 2016; 19(4): 178–181. <https://doi.org/10.18821/1560-9537-2016-19-4-178-181> [Kulikov A.G., Zaitseva T.N., Pyzhevskaya O.P., Ivanova E.R. Scoliosis in children: new approaches to solving an important medical and social problem. Medical and social examination and rehabilitation. 2016; 19(4): 178–181. <https://doi.org/10.18821/1560-9537-2016-19-4-178-181> (In Russ.).]
16. Яшков А.В., Поляков В.А., Шелыхманова М.В. и др. Системный комплексный подход в лечении и реабилитации детей с диспластическим сколиозом II–III степени. Дневник казанской медицинской школы. 2017; 1(15): 65–70. [Yashkov A.V., Polyakov V.A., Shelykhanova M.V., et al. Systematic integrated approach in the treatment and rehabilitation of children with dysplastic scoliosis of II–III degree. Diary of the Kazan medical school. 2017; 1(15): 65–70 (In Russ.).]
17. Хан М.А., Гусакова Е.В., Иванова И.И. и др. Современные технологии медицинской реабилитации в педиатрии. Кремлевская медицина. Клинический вестник. 2020; 3: 123–128. <https://doi.org/10.26269/pfx-hr71> [Khan M.A., Gusakova E.V., Ivanova I.I., et al. Modern technologies of medical rehabilitation in pediatrics. Kremlin medicine. Clinical Bulletin. 2020; 3: 123–128. <https://doi.org/10.26269/pfx-hr71> (In Russ.).]
18. Хан М.А., Погонченкова И.В., Выборнов Д.Ю. и др. Медицинская реабилитация детей со сколиозом. Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. 2022; 99(4): 57–66 <https://doi.org/10.17116/kurort20229904157> [Khan M.A., Pogonchenkova I.V., Vybornov D. Yu., et al. Medical rehabilitation of children with scoliosis. Issues of balneology, physiotherapy and therapeutic physical culture. 2022; 99(4): 57–66. <https://doi.org/10.17116/kurort20229904157> (In Russ.).]
19. Пономаренко Г.Н. Физиотерапия: Практический атлас. Санкт-Петербург. 2013; 182 с. [Ponomarenko G.N. Fizioterapiya: Prakticheskij atlas. Sankt-Peterburg. 2013; 182 s. (In Russ.).]
20. Jones S., Man W.D., Gao W., et al. Neuromuscular electrical stimulation for muscle weakness in adults with advanced disease. The Cochrane Database of Systematic Reviews. 2016, Issue 17;10(10). CD009419. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD009419.pub3>
21. Bouguetoch A., Martin A., Grosprêtre S. Insights into the combination of neuromuscular electrical stimulation and motor imagery in a training-based approach. Eur J Appl Physiol. 2021; 121(3): 941–955. <https://doi.org/10.1007/s00421-020-04582-4>
22. Jang E.M., Park S.H. Effects of Neuromuscular Electrical Stimulation Combined with Exercises versus an Exercise Program on the Physical Characteristics and Functions of the Elderly: A Randomized Controlled Trial. Int J Environ Res Public Health. 2021; 18(5): 2463. <https://doi.org/10.3390/ijerph18052463>
23. Пономаренко Г.Н. Физическая и реабилитационная медицина: национальное руководство. Москва: ГЭОТАР-Медиа. 2016: 688 с. [Ponomarenko G.N. Fizicheskaya i reabilitatsionnaya meditsina: natsional'noye rukovodstvo. Moskva: GEOTAR-Media. 2016; 688 s. (In Russ.).]
24. Общая физиотерапия: учебник под ред. Пономаренко Г.Н. Издание 2-е, перераб. и доп. Санкт-Петербург: ВМедА, 2008. 288 с. [Obshchaya fizioterapiya. Uchebnik pod red. Ponomarenko G.N. Izdanie 2-e, pererab. i dop. Sankt-Peterburg: VMedA, 2008. 288 s. (In Russ.).]
25. Хан М.А., Разумов А.Н., Погонченкова И.В. и др. Детская курортология: руководство для врачей. Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2024. 448 с. <https://doi.org/10.33029/9704-8026-7-PRM-2024-1-488> [Khan M.A., Razumov A.N., Pogonchenkova I.V. i dr. Detskaya kurortologiya: rukovodstvo dlya vrachej. Moskva: GEOTAR-Media, 2024. 448 s. <https://doi.org/10.33029/9704-8026-7-PRM-2024-1-488> (In Russ.).]
26. Бектурганова К.М. Физиотерапия при сколиозе у детей. Вестник КазНМУ. 2012; 4: 121–122. [Bekturganova K.M. Physiotherapy for scoliosis in children. Vestnik KazNMU. 2012; 4: 121–122 (In Russ.).]
27. Зайцева Т.Н. Общие принципы диагностики и консервативного лечения идиопатического сколиоза. Физиотерапия, бальнеология и реабилитация. 2020; 19(2): 123–131 <https://doi.org/10.17816/1681-3456-2020-19-2-9> [Zaitseva T.N. General principles of diagnosis and conservative treatment of idiopathic scoliosis. Physiotherapy, balneology and rehabilitation. 2020; 19(2): 123–131. <https://doi.org/10.17816/1681-3456-2020-19-2-9> (In Russ.).]
28. Комилов М.К. Методы консервативного лечения сколиоза у детей. Российский педиатрический журнал. 2024; 27(51): 72–74. [Komilov M.K. Methods of conservative treatment of scoliosis in children. Russian pediatric journal. 2024; 27(51): 72–74 (In Russ.).]
29. Lee M., Song C., Jo Y., et al. The effects of core muscle release technique on lumbar spine deformation and low back pain. J Phys Ther Sci. 2015; 27(5): 1519–1522. <https://doi.org/10.1589/jpts.27.1519>
30. Балашова И.В. Отдаленные результаты использования дифференцированных лечебно-реабилитационных комплексов у детей с диспластическим сколиозом I–II степени. Актуальні проблеми сучасної медицини: Вісник української медичної стоматологічної академії. 2008; 8(4): 80–81. [Balashova I.V. Long-term results of the use of differentiated treatment and rehabilitation complexes in children with dysplastic scoliosis of I–II degrees. Current problems of daily medicine: Bulletin of the Ukrainian Medical Dental Academy. 2008; 8(4): 80–81 (In Russ.).]
31. Facci L.M., Nowotny J.P., Tormem F., Trevisani V.F. Effects of transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) and interferential currents (IFC) in patients with nonspecific chronic low back pain: randomized clinical trial. Sao Paulo Med J. 2011; 129(4): 206–216. <https://doi.org/10.1590/s1516-31802011000400003>
32. Johnson M.I., Claydon L.S., Herbison G.P., et al. Transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) for fibromyalgia in adults. The Cochrane Database of Systematic Reviews. 2017, Issue 10(10). CD012172. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD012172.pub2>
33. Буйавых А.Г. Физическая терапия хирургических, травматологических и ортопедических заболеваний и повреждений: Практическое руководство. Москва: Медицинское информационное агентство, 2019. 496 с. [Buyavykh A.G. Fizioterapiya khirurgicheskikh, travmatologicheskikh zabolevaniy i povrezhdeniy: Prakticheskoye rukovodstvo. Moskva: Meditsinskoye informatsionnoye agentstvo, 2019. 496 s. (In Russ.).]
34. Мирютова Н.Ф., Липина Е.В., Степаненко Н.П. Дифференцированная комплексная физиотерапия подростков с идиопатическим сколиозом. Врач. 2013; 1: 80–83. [Miryutova N.F., Lipina E.V., Stepanenko N.P. Differentiated complex physiotherapy for adolescents with idiopathic scoliosis. Doctor. 2013; 1: 80–83 (In Russ.).]
35. Rüwald J.M., Eymael R.L., Upenieks J., et al. An Overview of the Current State of Pediatric Scoliosis Management. Z Orthop Unfall. 2020; 158(5): 508–516. <https://doi.org/10.1055/a-0965-7760>
36. Яшков А.В., Лосев И.И., Поляков В.А., Шелыхманова М.В. Консервативное лечение детей со сколиозом II–III степени выраженности. Физиотерапия, бальнеотерапия и реабилитация. 2013; 4: 25–28. [Yashkov A.V., Losev I.I., Polyakov V.A., Shelykhanova M.V. Conservative treatment of children with scoliosis of II–III severity. Physiotherapy, balneotherapy and rehabilitation. 2013; 4: 25–28 (In Russ.).]

37. Штанько С.А., Мейгал А.Ю., Маркелов В.Е. Электромиографические критерии эффективности электромиостимуляции тренажером Маркелова. Петрозаводск. 2016; 1–8. [Shtan'ko S.A., Meygal A.YU., Markelov V.Ye. Electromyographic criteria of efficiency of electromyostimulation using Markelov's trainer. Petrozavodsk. 2016; 1–8 (In Russ.).]
38. Фалинский А.А. Дудин М.Г. Лечение детей с нарушениями опорно-двигательного аппарата в условиях восстановительного центра. Вестник восстановительной медицины. 2014; 4: 27–34. [Falinsky A.A. Dudin M.G. Treatment of children with musculoskeletal disorders in a rehabilitation center. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2014; 4: 27–34 (In Russ.).]
39. Баранцевич Е.Р., Тишков А.В., Ковальчук Ю.П. и др. Физическая реабилитация пациентов с применением электростимулятора МВ6.03.00а: оценка эффективности и безопасности. Медицинский алфавит. 2017; 15(312): 21–27. [Barantsevich E.R., Tishkov A.V., Kovalchuk Yu.P. et al. Physical rehabilitation of patients using an electrical stimulator MV6.03.00a: assessment of effectiveness and safety. Medical alphabet. 2017; 15(312): 21–27 (In Russ.).]
40. Sd P, Santhoshkumar M. Letter to the editor: «Effect of electrical stimulation on the fusion rate after spinal surgery: a systematic review and meta-analysis». Neurosurg Rev. 2024; 47(1): 663. <https://doi.org/10.1007/s10143-024-02928-6>
41. Ng S., Nan X.F., Lee S.G., Tournavitis N. The Role of Correction in the Conservative Treatment of Adolescent Idiopathic Scoliosis. Open Orthop J. 2017; 11: 1548–1557, <http://doi.org/10.2174/1874325001711011548>
42. Lau R., Cheuk K.Y., Tam E., et al. Feasibility and effects of 6-month home-based digitally supported E-Fit program utilizing high-intensity interval exercises in girls with adolescent idiopathic scoliosis: a randomized controlled pilot study. Studies in Health Technology and Informatics. 2021; (280): 195–198. <https://doi.org/10.3233/SHTI210466>
43. Ko E.J., Sung I.Y., Yun G.J. et al. Effects of lateral electrical surface stimulation on scoliosis in children with severe cerebral palsy: a pilot study. Disability and Rehabilitation. 2018; 40(2): 192–198. <https://doi.org/10.1080/09638288.2016.1250120>
44. Хан М.А., Попов В.В., Моргун В.А., Подгорная О.В. Физические факторы на этапе реабилитации детей со сколиозом. Детская хирургия. 2010; 3: 14–16. [Khan M.A., Popov V.V., Morgun V.A., Podgornaya O.V. Physical factors at the stage of rehabilitation of children with scoliosis. Russian Journal of Pediatric Surgery. 2010; 3: 14–16 (In Russ.).]
45. Витензон А.С., Петрушанская К.А. Физиологические обоснования метода искусственной коррекции движений посредством программируемой электростимуляции мышц при ходьбе. Российский журнал биомеханики. 2010; 14(2): 1–27 [Vitenzon A.S., Petrushanskaya K.A. Physiological justification for the method of artificial correction of movements through programmable electrical stimulation of muscles when walking Russian Journal of Biomechanics. 2010; 14(2): 1–27 (In Russ.).]
46. Скоблин А.А., Витензон А.С., Алексеенко И.Г. Клинико-биомеханические и физиологические результаты комбинированного консервативного лечения пациентов с идиопатическим сколиозом II–III степени. Хирургия позвоночника 2008; 3: 21–32 <https://doi.org/10.14531/ss2008.3.21-32> [Skoblin A.A., Vitenzon A.S., Alekseenko I.G.. Clinical, biomechanical and physiological results of combined conservative treatment of patients with idiopathic scoliosis of II–III degree. Spine Surgery 2008; 3: 21–32. <https://doi.org/10.14531/ss2008.3.21-32> (In Russ.).]
47. Доценко В.И., Куренков А.Л., Кочетков А.В. Теоретическое обоснование и практическое использование технологии функциональной программируемой электромиостимуляции в ходьбе у неврологических больных. Вестник восстановительной медицины. 2012; 2: 21–28. [Dotsenko V.I., Kurenkov A.L., Kochetkov A.V. Theoretical justification and practical use of the technology of functional programmable electromyostimulation in walking in neurological patients. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2012; 2: 21–28 (In Russ.).]
48. Доценко В.И., Титаренко Н.Ю. Объективные инструментальные критерии оценки эффективности функциональной программируемой электромиостимуляции в ходьбе у больных с ортопедо-неврологической патологией. Поликлиника, 2023; 3–2: 39–42. [Dotsenko V.I., Titarenko N.Yu. Objective instrumental criteria for assessing the effectiveness of functional programmable electrical myostimulation in walking in patients with orthopedic-neurological pathology. Polyclinic, 2023; 3–2: 39–42 (In Russ.).]
49. Щеколова Н.Б., Ладейщиков В.М., Ненахова Я.В., Лихачева Л.В. Профилактика сколиотической деформации позвоночника у детей с легкой нейроортопедической патологией. Пермский медицинский журнал. 2020; 3(37): 103–109. <https://doi.org/10.17816/pmj373103-109> [Shchekolova N.B., Ladeishchikov V.M., Nenakhova Ya.V., Likhacheva L.V. Prevention of scoliotic spinal deformity in children with mild neuroorthopedic pathology. Perm. Medical. Journal. 2020; 3(37): 103–109. <https://doi.org/10.17816/pmj373103-109> (In Russ.).]
50. Щеколова Н.Б., Лихачева Л.В., Печерский В.И. Эффективность лечебно-диагностических технологий при консервативном лечении ортопедической патологии у детей. Уральский медицинский журнал. 2012; 7(99): 96–100. [Shchekolova N.B., Likhacheva V., Pechersky V.I. The effectiveness of therapeutic and diagnostic technologies in the conservative treatment of orthopedic pathology in children. Ural Medical Journal. 2012; 7(99): 96–100 (In Russ.).]