Дата публикации: 25.12.2025
DOI: 10.24412/2588-0500-2025_09_S1_19
УДК 796.011.3

Publication date: 25.12.2025
DOI: 10.24412/2588-0500-2025_09_S1_19
UDC 796.011.3

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР МЕТОДОВ РЕАБИЛИТАЦИИ ДЕТЕЙ СО СПИНАЛЬНОЙ МЫШЕЧНОЙ АТРОФИЕЙ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОСТИМУЛЯЦИИ

М. Петрович[1,2], А.Н. Голикова[1]
[1]Государственное автономное образовательное учреждение высшего образования города Москвы «Московский городской педагогический университет», г. Москва, Россия
[2]Реабилитационной центр «Стимул», г. Москва, Россия

Аннотация. ***Введение.*** Исследование посвящено аналитическому обзору методов реабилитации детей со спинальной мышечной атрофией на основе применения электростимуляции. ***Методы.*** Для изучения проблемы исследования были использованы общенаучные методические подходы, такие как диалектика, структурно-функциональный анализ, теория систем. Был проведен критический анализ опыта оказания реабилитации людей с заболеванием спинальная мышечная атрофия. ***Результаты.*** Процесс лечения и реабилитации детей со спинальной мышечной атрофией является комплексным, что, в свою очередь, требует всестороннего подхода. ***Заключение.*** Проведенный анализ стратегий реабилитации детей со спинальной мышечной атрофией с применением электрической стимуляции демонстрирует положительную динамику определенных показателей. Это свидетельствует о том, что функциональная электрическая стимуляция способствует улучшению силы мышц и выносливости.

Ключевые слова: спинальная мышечная атрофия, генетическое заболевание, адаптивная физическая культура, физические упражнения, сила тока, лечение, функциональная электрическая стимуляция, реабилитация.

THE ROLE OF ELECTRICAL STIMULATION IN THE REHABILITATION OF CHILDREN WITH SPINAL MUSCULAR ATROPHY: AN ANALYTICAL REVIEW

M. Petrovich[1,2], A.N. Golikova[1]
[1]Moscow City University, Moscow, Russia
[2]Rehabilitation Center “Stimul”, Moscow, Russia

Abstract. ***Introduction.*** The study is devoted to an analytical review of methods of rehabilitation of children with spinal muscular atrophy based on the use of electrical stimulation. ***Methods.*** General scientific methodological approaches such as dialectics, structural and functional analysis, and systems theory were used to study the research problem. A critical analysis of the experience of providing rehabilitation for people with spinal muscular atrophy was conducted. ***Results.*** The process of treatment and rehabilitation of children with spinal muscular atrophy is complex, which, in turn, requires a comprehensive approach. ***Conclusion.*** The analysis of rehabilitation strategies for children with spinal muscular atrophy using electrical stimulation demonstrates the positive dynamics of certain indicators. This indicates that functional electrical stimulation improves muscle strength and endurance.

Keywords: spinal muscular atrophy, genetic disease, adaptive physical culture, physical exercise, current strength, treatment, functional electrical stimulation, rehabilitation.

Введение. Спинальная мышечная атрофия (СМА) – это аутосомно-рецессивное заболевание, которое характеризуется прогрессирующими дегенеративными нарушениями альфа-мотонейронов передних рогов спинного мозга и в некоторых, более редких случаях, ствола головного мозга. Среди аутосомно-рецессивных заболеваний спинальная мышечная атрофия занимает одну из лидирующих позиций, поскольку частота ее встречаемости составляет 1 на 6000-10000 новорожденных детей. А частота гена «носителя» варьируется в следующих пределах 1 на 40-60 человек [1, 2].

В основном, СМА вызвана генетическим изменением, при котором обе копии 7-го экзона в гене SMN1 (Survival of Motor Neuron 1), который, в свою очередь,

находится на хромосоме 5q13. Гораздо реже появление СМА обусловлено одновременной мутацией в одном и том же гене, по одной в каждой из двух хромосом, а именно – когда аллель SMN1 несет делецию, а другая – точечную мутацию. Ген SMN2 – это практически идентичная копия гена SMN1, но основным различием является одна нуклеотидная замена в 7-ом экзоне. Она приводит к нарушениям участков РНК, в результате чего ген SMN2 неспособен полноценно синтезировать необходимое количество белка SMN. Дефицит вышеупомянутого белка приводит сначала к дисфункции, а затем к гибели альфа-мотонейронов, что и вызывает нарушение иннервации скелетных мышц, их слабость и атрофию. Стоит отметить, что количество копий гена SMN2 может быть разным у людей с данным заболеванием (от 0 до 8), тем самым оно способно влиять на степень тяжести спинальной мышечной атрофии, в связи с чем данное заболевание может различаться по пяти типам [3-5].

Признанная в мире классификация СМА основана на возрасте манифестации и максимально допустимом уровне моторного развития, она представлена в таблице 1.

Таблица 1

Классификация типов спинальной мышечной атрофии (СМА)

Тип СМА	Возраст манифестации	Максимально допустимая функция	Число копий гена SMN2	Прогноз (без учета лечения)	№ в генетической базе данных
СМА 0	Пренатально	Минимальные движения, тяжелая гипотония при рождении	1	Смерть в первые дни жизни	–
СМА I	0-6 месяцев	Не сидит без поддержки	2	Смерть до 2 лет (обычно от дыхательной недостаточности)	OMIM 253300
СМА II	7-18 месяцев	Сидит без поддержки, но не ходит	3	Продолжительность жизни варьируется, часто сокращена (до взрослого возраста)	OMIM 253550
СМА III	>18 месяцев	Ходит самостоятельно (но может утратить эту способность с возрастом)	3-4	Нормальная или незначительно сокращенная продолжительность жизни	OMIM 253400
СМА IV	> 21 года	Сохраняет способность к ходьбе, медленно прогрессирующая слабость	>4	Нормальная продолжительность жизни	OMIM 271150

Что касается статистических данных, то СМА I типа является самой распространенной формой заболевания и составляет 60%, СМА II занимает второе место и его вероятность составляет 18%, СМА III – 15%. Взрослая форма спинальной мышечной атрофии, то есть IV тип, составляет около 5%, а самым редким типом является СМА 0, его процентное соотношение равно 2% от числа всех типов данного генетического заболевания.

До 2016 года лечение СМА было исключительно симптоматическим и поддерживающим, однако появление патогенетической терапии существенно изменило естественное течение болезни. На сегодняшний

день существуют три одобренных Минздравом России препарата: Спинраза, Золгенсма, Рисдиплам.

Механизм воздействия на организм препарата «Спинраза» заключается в том, что он повышает уровень выработки белка SMN. «Золгенсма» же направлена непосредственно на мутированный или отсутствующий ген SMN1, замещая его функционально полноценным геном. Лекарственное средство «Рисдиплам» по механизму воздействия напоминает «Спинразу», однако есть немаловажное отличие. Данный препарат принимается перорально, тем самым не требует своего введения инвазивно в спинномозговую жидкость. Также стоит отметить, что он подходит для всех типов спинальной мышечной атрофии и в клинических испытания показывает более высокую эффективность.

Выбор терапии и препарата зависит от нескольких факторов: возраст пациента, тип заболевания, наличие антител к вектору AAV9 и регуляторных особенностей страны. Клиническими исследованиями было доказано, что все три препарата способствуют значительному улучшению моторных функций и выживаемости пациентов, особенно если начало лечения произошло на ранних стадиях [6].

Важно понимать, что спинальная мышечная атрофия является неизлечимым заболеванием, и вышеперечисленные препараты не способны полностью остановить атрофию мышц и тем более поспособствовать набору мышечной массы. Для того, чтобы закрепить действие пройденных терапий, необходимы реабилитационные мероприятия, которые помогут развитию моторных функций, улучшат качество жизни и профилактику сопутствующих нарушений.

Реабилитация детей со спинальной мышечной атрофией является комплексной, поскольку включает в себя большое количество видов оздоровительных и коррекционных мероприятий, начиная от физической и заканчивая социальной. В физической реабилитации часто используются функциональные упражнения для мышечной работы, различные растяжки для избежания контрактур и тугоподвижности суставов, гидротерапия, вертикализация и позиционирование. Для выполнения упражнений необходимо иметь специальную ортопедическую обувь, индивидуальные ортезы и корсеты, а также туторы.

Помимо тех физических упражнений, которые позволяют ребенку со спинальной мышечной атрофией выполнить его двигательные навыки, следует выполнять координационно более сложные. Для достижения подобной задачи необходимо пользоваться вспомогательными средствами, которые будут оказывать пассивную помощь в выполнении двигательного действия. В их роли могут выступать такие простые средства, как вертикализаторы, различные подвесные системы, а также и сам реабилитолог. При затруднении детей с данным заболеванием самостоятельно выполнять некоторые физические упражнения в качестве помощи может послужить электрическая стимуляция. Также имеют и место более сложные средства, например, различные стимуляторы, которые будут подавать импульсы в мышцу, тем самым вызывая ее сокращение. Одним из таких методов может быть функциональная электрическая стимуляция [7-9].

Функциональная электрическая стимуляция (ФЭС) – это метод реабилитации, который заключается в передаче электрических импульсов на периферические нервы для того, чтобы вызвать сокращение парализованных или ослабленных мышц. Цель данного вида стимуляции – вызвать хаотичное сокращение мышцы в нужный момент при выполнении движения. Например, мышцы передней поверхности бедра должны работать при его выносе в цикле шага. Механизм действия заключается в том, что электроды размещаются на мышце, а аппарат-стимулятор подает импульсы, которые, в свою очередь, и заставляют мышцу сокращаться. Нейромышечная электрическая стимуляция (НМЭС) напоминает функциональную стимуляцию, но с небольшим отличием, которое заключается в стимуляции и нервов, и мышечных волокон. Также отличительной чертой служит то, что при нейромышечной стимуляции сокращение мышцы может быть выполнено в качестве упражнения или отдельного двигательного действия, а

функциональная стимуляция осуществляется исключительно в циклических движениях. Чрескожная стимуляция спинного мозга (ЧССМ) – это способ стимуляции спинного мозга путем наложения электродов на поверхности тела человека, на определенные участки, вдоль позвоночного столба. Данный вид стимуляции характерен для тренировки удержания тела в пространстве определенным образом.

Данный метод широко и успешно используется при тех состояниях и заболеваниях, когда патологический процесс состоит в поражении верхнего мотонейрона, который находится в коре и стволе головного мозга. То есть нарушение заключается в связи между головным или спинным мозгом и периферическим нервом, который должен доставлять сигнал до мышцы. При этом нижний мотонейрон и сама мышца должны быть здоровы. При СМА нижний мотонейрон поврежден, тем самым классическое применение ФЭС является малоэффективным. Однако если сочетать ФЭС с чрескожной стимуляцией спинного мозга (ЧССМ), то это будет стимулировать нейропластичность. В данном случае ФЭС при СМА теоретически имеет потенциал [10, 11].

Целью нашего исследования являлось изучение применения ФЭС в реабилитации детей со спинальной мышечной атрофией для оценки эффективности и потенциала данного метода.

Методы и организация исследования. Для изучения проблемы исследования были использованы общенаучные методические подходы, такие как диалектика, структурно-функциональный анализ, теория систем. Был проведен критический анализ опыта оказания реабилитации для людей со спинальной мышечной атрофией [12, 13]. Основополагающими источниками являлись научные труды отечественных и зарубежных авторов. Запросы по поиску необходимых материалов формировались на основе ключевых слов, терминов по выбранной теме и релевантных названий статей. Анализировались и отбирались научные статьи по следующим критериям: открытость доступа, индекс цитирования, новизна научной работы, совпадение по ключевым словам. В результативную выборку вошло 20 источников, которые были изучены и проанализированы для написания данной научной статьи. Для поиска необходимых материалов использовались следующие ресурсы, а именно, такие базы данных как PubMed, eLibrary и Web of Science. Поиск научных материалов осуществлен по ключевым словам: спинальная мышечная атрофия / spinal muscular atrophy, генетическое заболевание / genetic disease, адаптивная физическая культура / adaptive physical culture, физические упражнения / physical exercise, сила тока / current strength, лечение / treatment, функциональная электрическая стимуляция / functional electrical stimulation, реабилитация / rehabilitation. Всего нами было проанализировано 35 научных публикаций, но не все из них вошли в окончательный вариант списка литературных источников для написания работы. Критериями включения являлись: обзорные статьи, систематические обзоры и различные исследования по релевантным темам. Основным критерием исключения были статьи без полноценной текстовой версии. Предпочтение отдавалось научным работам не старше 7 лет, но среди теоретических ресурсов были исключения.

Результаты исследования и их обсуждение. Процесс лечения и реабилитации детей со спинальной мышечной атрофией является комплексным, что, в свою очередь, требует всестороннего подхода. Изначально первые труды по подобной тематике отражали клинические испытания на животных, а именно на мышах с моделью спинальной мышечной атрофии. После успешных испытаний на животных постепенно метод ФЭС стали применять и на людях. Положительная динамика роста исследуемых показателей в испытаниях сохранилась, но их прирост являлся незначительным. Это не дает права однозначно сказать, что метод применения ФЭС в реабилитации детей со СМА является полностью достоверным. Реабилитационные стратегии и результаты клинических исследований, связанных с реабилитацией людей со СМА на основе применения стимуляции ФЭС, отображены в таблице 2.

Таблица 2

Стратегии реабилитации детей с СМА и результаты клинических исследований

Ссылка	Реабилитационная стратегия	Результаты клинических исследований	Нозологическая группа
Athea Y. и др. [14]	Испытания электрической стимуляции на животных (мышах) с моделью спинальной мышечной атрофии.	У мышей, получавших электрическую стимуляцию, наблюдалось улучшение мышечной функции и структуры нервно-мышечного соединения по сравнению с контрольной группой.	Мыши с моделью СМА
Rabelo M. и др. [15]	Применение ФЭС на велотренажере. Стимуляция мышц нижних конечностей (полусухожильная, четырехглавая мышца бедра, большая и средняя ягодичные). На MOTOmed применялась стимуляция мышц нижних конечностей, сила тока варьировалась от 20 до 96 мА, а частота импульса – от 20-30 Гц, данные и показатели изменялись в зависимости от проводимости тока и других индивидуальных особенностей	Замедление атрофии мышц, повышение силовых показателей и выносливости. Функциональная электрическая езда на велосипеде с помощью стимуляции позволяет активировать несколько групп мышц в одном упражнении и считается интересной тренировочной стратегией.	Лица с ТБСМ
Gobbo M. и др. [16]	Стимуляция проходила в два этапа, на втором этапе НМЭС сочеталась с ФЭС и имитацией движения на велосипеде. Исследование заняло 18 недель. Первый этап использования НМЭС для укрепления четырехглавой мышцы бедра. Второй этап сочетал в себе НМЭС и ФЭС с упражнениями на велотренажере. НМЭС – Тип сокращения: изометрический – Мышцы: правая/левая четырехглавая мышца – Амплитуда стимула: 16-24 мА – Частота стимула: 35 Гц (фаза тетании); 3 Гц (фаза восстановления) – Доза: 22 мин/день (2-минутная разминка); 5 дней в неделю. Езда на велосипеде с поддержкой ФЭС – Тип сокращения: динамическое – Мышцы: правая/левая четырехглавая мышца, подколенные сухожилия, ягодичные мышцы – Амплитуда стимула: 45, 30, 25 мА – Частота вращения педалей: 30 об/мин –Сопротивление: 5-9 Нм – Доза: 26 мин/день (1 минута разминки); 1 сеанс в неделю – Место проведения: реабилитационная клиника.	Повышение осведомленности о потенциальной роли электростимуляции в реабилитации детей со СМА. С функциональной точки зрения шкала HFMSE показала улучшение, особенно в пунктах, касающихся работоспособности в положении стоя и двигательных навыков нижних конечностей. Точно так же шкала Тинетти позволила оценить существенное улучшение равновесия и походки. Оба результата согласуются с достижением более высоких уровней силы, развиваемых разгибателями коленного сустава.	Подростки со СМА III тип

Ссылка	Реабилитационная стратегия	Результаты клинических исследований	Нозологическая группа
Fehlings D. и др. [17]	Применение ТЭС на мышцы верхних конечностей. Исследование проводилось в рандомизированном контролируемом исследовании с шестимесячным контрольным периодом. ТЭС применялась к дельтовидной и двуглавой мышцам плеча. В исследовании приняло участие 13 человек со СМА в возрасте от 5 до 19 лет. 8 из них прошли 12-месячное обследование.	Статистически значимых различий между экспериментальными и контрольными группами не было обнаружено.	Дети со СМА II/III тип
Montes J. и др. [18]	Анализ стратегий по различным методам реабилитации детей со спинальной мышечной атрофией. Описание таких методов реабилитации, как растяжка, гидрокинезиотерапия, позиционирование и методы электрической стимуляции мышц.	В обзоре присутствуют упоминания об электрических стимуляциях в реабилитации детей со СМА, однако отмечается, что доказательная база по этому вопросу крайне ограничена.	Дети со СМА (все типы заболевания)
Prat-Ortega G. и др. [19]	Инвазивная стимуляция спинного мозга. Имплантация эпидуральных электродов над пояснично-крестцовым отделом спинного мозга, воздействие приходило на сенсорные аксоны ног.	Наблюдались улучшения по ряду показателей: сила мышц, длина шага и улучшение выносливости.	Взрослые пациенты со СМА III тип
Scott WB. и др. [20]	Применение НМЭС на мышцы-разгибатели колена (квадрицепсы) в течение 12 недель. Оценивали мышечную силу, объем мышц (с помощью МРТ) и функциональные тесты. НМЭС – Тип сокращения: изометрический – Мышцы: правая/левая четырехглавая мышца – Амплитуда стимула: 16-24 мА – Частота стимула: 30 Гц (фаза тетании); 2 Гц (фаза восстановления) – Доза: 30 мин/день.	Некоторое увеличение площади поперечного сечения мышц у участников. Также были замечены динамика увеличения таких показателей, как сила и выносливость мышц-разгибателей коленного сустава, а также улучшение функциональных показателей.	Дети со СМА II тип

Примечание: СМА – спинальная мышечная атрофия; ФЭС – функциональная электрическая стимуляция; ТБСМ – травматическая болезнь спинного мозга; НМЭС – нейромышечная электрическая стимуляция; HFMSE – Hammersmith Functional Motor Scale Expanded; ТЭС – терапевтическая электрическая стимуляция.

В реабилитации детей со спинальной мышечной атрофией могут быть использованы различные виды электрической стимуляции. Отличаются они по способу стимуляции (функциональная электрическая стимуляция, нейромышечная электрическая стимуляция, чрескожная стимуляция спинного мозга и др.) и по воздействию на определенные участки в пути нейронов:

- стимуляция мышечных волокон и периферических нервов;
- инвазивная стимуляция сегментов спинного мозга;
- чрескожная стимуляция спинного мозга.

В вышеупомянутой таблице мы проанализировали несколько методов стимуляции, которые применялись к детям со спинальной мышечной атрофией. По приведенным в таблице данным мы можем сказать, что увеличение силовых показателей определенных мышечных групп является следствием применения технологий, которые с помощью электрического тока стимулировали их. Однако большое количество исследований с применением подобных технологий проводились на лицах с другими нозологическими группами. Например, инсульт, травма спинного мозга, спина Бифида, церебральный паралич. Таким образом мы можем сделать вывод, что применение электрической стимуляции различных видов используется в реабилитации для широкой базы пациентов с разнообразием нозологической группы.

Помимо использования ФЭС на велотренажерах и беговой дорожке можно выполнять и более простые физические упражнения, в которых будет применяться данный вид электрической стимуляции, а также будет включена в работу сама мышца. Примерный перечень упражнений показан в таблице 3, который может быть дополнен.

Таблица 3

Примерный перечень физических упражнений с применением стимуляции

№	Упражнение	Мышечная группа	Сила тока, мА	Частота, Гц	Количество повторений
1	Сгибание – разгибание голеностопного сустава	Короткий разгибатель пальцев стопы, передняя большеберцовая мышца голени	35-50	40-65	30
2	Разгибание – сгибание коленного сустава	Четырехглавая мышца бедра	30-45	40-65	20
3	Отведение – приведение руки	Дельтовидная мышца, трапецевидная мышца и надостная	25-40	40-65	15
4	Разгибание – сгибание руки в локтевом суставе	Трехглавая мышца плеча	25-35	40-65	20

Заключение. Таким образом, проведенный анализ стратегий реабилитации детей со спинальной мышечной атрофией с применением функциональной электрической стимуляции демонстрирует положительную динамику определенных показателей. Это свидетельствует о том, что функциональная электрическая стимуляция способствует улучшению силы мышц и выносливости.

Поскольку сам процесс реабилитации детей со спинальной мышечной атрофией является комплексным, применение функциональной электрической стимуляции должно сочетаться с другими методами. Чрескожная стимуляция спинного мозга будет хорошим дополнением к методике ФЭС. По нашему мнению, именно вместе они способны восстановить и улучшить проводимость нервных импульсов, что в

дальнейшем поспособствует развитию двигательного потенциала.

Физические упражнения сами по себе оказывают колоссальное влияние на занимающегося, поскольку физическая нагрузка благоприятно влияет на все системы организма человека. Детям со спинальной мышечной атрофией может быть достаточно тяжело выполнять некоторые упражнения самостоятельно в связи с их заболеванием, однако даже пассивно выполненное упражнение будет задействовать необходимые мышечные группы и укреплять их, ведь любая двигательная активность и нагрузка на мускулатуру будут препятствовать прогрессу заболевания.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айрапетян, Э.Н. Спинальная мышечная атрофия / Э.Н. Айрапетян // Здоровье нации в XXI веке. – 2021. – № 2. – С. 122-125.
2. Ретроспективный анализ естественного течения спинальной мышечной атрофии 1-го типа у детей / Д.В. Влодавец, Н.В. Ганина, Е.С. Ильина [и др.] // Российский вестник перинатологии и педиатрии. – 2021. – Т. 66. – № 4. – С. 64-73.
3. Евтушенко, С.К. Нейромышечные заболевания у детей: проблемы ранней диагностики и современной медицинской и социальной реабилитации (научный обзор и собственные наблюдения) / С.К. Евтушенко, М.Р. Шаймурзин // Межд. невр. журн. – 2013. – Т. 5. – № 59. – С. 13-33.
4. Клинические рекомендации: Проксимальная спинальная мышечная атрофия 5q. – 2021. – URL: https://f-sma.ru/wpcontent/uploads/2020/08/klinrecsma2021.pdf (дата обращения: 30.10.2025).
5. Селиверстов, Ю.А. Спинальные мышечные атрофии: понятие, дифференциальная диагностика, перспективы лечения / Ю.А. Селиверстов, С.А. Клюшников, С.Н. Иллариошкин // Нервные болезни. – 2015. – № 3. – С. 9-17
6. Симард, Л. Генетические основы спинальной мышечной атрофии: пер. на рус. яз. «Семьи СМА» / Л. Симард. – URL: http://wiki/f-sma/ru/wp-content/uploads/2019/06/Genetics_of_SMA.pdf (дата обращения: 25.10.2025).
7. Нутритивная поддержка ребенка. со спинальной мышечной атрофией Верднига-Гоффмана / Е.А. Балакирева, А.В. Слепухина, П.В. Сериков [и др.] // Рос. вестник перинат-ии и пед-ии. – 2020. – № 6. – С. 72-75.
8. Социально-экономическое бремя спинальной мышечной атрофии в России / А.С. Колбин, Д.В. Влодавец, А.А. Курылев [и др.] // Фармакоэко номика. Современная фармакоэкономика и фармакоэпидемиология. – 2020. – Т. 13. – № 4. – С. 337-354.
9. Корсакова, Е.А. Гидрокинезиотерапия в структуре реабилитации пациентов со спинальной мышечной атрофией / Е.А. Корсакова, Л.К. Неустроев, А.В. Соколова // XXI Давиденковские чтения, сборник тезисов. – 2019. – С. 137-138.
10. Прототип регистра пациентов со СМА. – 2021. – URL: https://mednet.ru/novosti/uchenyie-czniioiz-razrabotali-prototip-registra-paczientov-so-sma (дата обращения: 25.10.2025).
11. Спинальная мышечная атрофия: особенности клиники и лечения деформаций позвоночника и конечностей протокол межгосударственного консенсуса / С.О. Рябых, Д.М. Савин, Е.Ю. Филатов [и др.] // Хирургия позвоночника. – 2020. – № 2. – С. 79-94.
12. Шаймурзин, М.Р. Диагностические возможности ранней идентификации спинальных амиотрофий и перспективы выявления маркеров прогредиенции заболевания у детей / М.Р. Шаймурзин // Вестник Чеченского государственного университета. – 2018. – № 1(13). – С. 40-50
13. A Study to Investigate the Safety, Tolerability, Pharmacokinetics, Pharmaco dynamics and Efficacy of Risdiplam (RO707034067) in Type 2 and 3 Spinal Muscular Atrophy (SMA) Participants (SUNFISH) – URL: https://clinicaltrials.gov/ct2/show/NCT02908685 (дата обращения: 25.10.2025).
14. Daily electrical stimulation of the tibialis anterior muscle improves muscle function in a mouse mode; of spinal muscular atrophy / Y. Athea, M. Fodil, S. Le-Lamer [et al.] // Journal of Physiology. – 2021. – Vol. 599(9). – P. 2441-2457.
15. Overview of FES-Assisted Cycling Approaches and Their Benefits on Functional Rehabilitation and Muscle Atrophy / M. Rabelo, R.V.B. de Moura Jucá, L.A.O. Lima [et al.] // Adv Exp Med Biol. – 2018. – Vol. 1088. – P. 561-583.
16. Exercise Combined with Electrotherapy Enhances Motor Function in an Adolescent with Spinal Muscular Atrophy Type III / M. Gobbo, S.

Lazzarini, L. Vacchi [et al.] // Case Rep Neurol Med. – 2019. – Vol. 2019. – P. 4839793.
17. Evaluation of therapeutic electrical stimulation to improve muscle strength and function in children with types II/III spinal muscular atrophy / D.L. Fehlings, S. Kirsch, A. McComas [et al.] // Dev Med Child Neurol. – 2002 – Vol. 44(11). – P. 741-744.
18. Physical therapy and rehabilitation for patients with spinal muscular atrophy: a systematic review / J. Montes, S. Dunaway Young, E.S. Mazzone [et al.] // Physical Therapy. – 2019. – Vol. 99(10). – P. 1368-1386.
19. First-in-human study of epidural spinal cord stimulation in individuals with spinal muscular atrophy / G. Prat-Ortega, S. Ensel, S. Donadio [et al.] // Nat Med. – 2025. – Vol. 31(4). – P. 1246-1256.
20. Neuromuscular electrical stimulation for children with spinal muscular atrophy: a single-subject experimental study / W.B. Scott, R.M. Bendixen, J.R. Hiemenz [et al.] // Physical Therapy. – 2014. – Vol. 94(5). – P. 689-697.

REFERENCES

1. Ajrapetyan E.N. Spinal Muscular Atrophy. *Zdorovye natsii v XXI veke*, 2021, no. 2, pp. 122-125. (in Russ.)
2. Vlodavets D.V., Ganina N.V., Ilina E.S., Kokorina A.A., Kuzenkova L.M., Sapego E.Yu., Smirnov D.S., Shevtsova Yu.A., Saulina A.V., Petrov A.N., Zolkin N.A., Linkova Yu.N., Zinkina-Orikhan A.V. Retrospective analysis of the natural history of type 1 spinal muscular atrophy in children. *Rossiyskiy Vestnik Perinatologii i Pediatrii (Russian Bulletin of Perinatology and Pediatrics)*, 2021, vol. 66, no. 4, pp. 64-73. (in Russ.)
3. Evtushenko S.K., Shaymurzin M.R., Evtushenko O.S. Neuromuscular diseases in children: the problem of early diagnosis and current medical and social rehabilitation (literature review and our own observations). *International Neurological Journal*, 2013, vol. 5, no. 59, pp. 13-33. (in Russ.)
4. Clinical recommendations. Proximal spinal muscular atrophy 5q. 2021. Available at: https://f-sma.ru/wpcontent/uploads/2020/08/klinrecsma2021.pdf (accessed: 30.10.2025) (in Russ.)
5. Seliverstov Yu.A., Klyushnikov S.A., Illarioshkin S.N. Spinal muscular atrophies: definition, differential diagnostics, prospects of treatment. *Nervnye bolezni,* 2015, no. 3, pp. 9-17. (in Russ.)
6. Simard L. Genetics of SMA. Translated into Russian by the "SMA Families" Available at: http://wiki/f-sma/ru/wp-content/uploads/2019/06/Genetics_of_SMA.pdf (accessed: 25.10.2025). (in Russ.)
7. Balakireva E.A., Slepukhina A.V., Serikov P.V., Puchenkova O.A., Mikhareva V.M., Bagreeva Yu.A. Nutritional Support for Child with Werdnig–Hoffmann Spinal Muscular Atrophy. *Rossiyskiy Vestnik Perinatologii i Pediatrii (Russian Bulletin of Perinatology and Pediatrics),* 2020, no. 6, pp. 72-75. (in Russ.)
8. Kolbin A.S., Vlodavets D.V., Kurylev A.A., Balykina Yu.Y., Proskurin M.A., Mishinova S.A., Germanenko O.Yu., Kolbina N.Yu. The social-economic burden of spinal muscular atrophy in Russia. *FARMAKOEKONOMIKA. Modern Pharmacoeconomic and Pharmacoepidemiology*, 2020, vol. 13, no. 4, pp. 337-354. (in Russ.)
9. Korsakova E.A., Neustroev L.K., Sokolova A.V. Hydrokinesiotherapy in the structure of rehabilitation of patients with spinal muscular atrophy. XXI Davidenkov readings, collection of abstracts. 2019. pp. 137-138. (in Russ.)
10. Registry prototype of patients with SMA. 2021. Available at: https://mednet.ru/novosti/uchenyie-czniioiz-razrabotali-prototipregistra-pacz ientov-so-sma (accessed: 25.10.2025). (in Russ.)
11. Ryabykh S.O., Savin D.M., Filatov E.Yu., Medvedeva S.N., Tretjakova A.N., Popkov D.A., Ryabykh T.V., Shchurova E.N., Saifutdinov M.S. Spinal muscular atrophy: clinical features and treatment of spinal and limb deformities. Interstate Consensus Protocol. *Russian Journal of Spine Surgery (Khirurgiya Pozvonochnika),* 2020, no. 2, pp. 79-94. (in Russ.)
12. Shajmurzin M.R. Diagnostic possibilities of early identification of spinal amyotrophy and prospects for identifying markers of disease progression in children. *Bulletin of the Chechen State University,* 2018, no. 1(13), pp. 40-50. (in Russ.)
13. A Study to Investigate the Safety, Tolerability, Pharmacokinetics, Pharmaco dynamics and Efficacy of Risdiplam (RO707034067) in Type 2 and 3 Spinal Muscular Atrophy (SMA) Participants (SUNFISH). Available at: https://clinicaltrials.gov/ct2/show/NCT02908685 (accessed: 25.10.2025).
14. Athea Y., Fodil M., Le-Lamer S. et al. Daily electrical stimulation of the tibialis anterior muscle improves muscle function in a mouse mode; of spinal muscular atrophy. *Journal of Physiology*, 2021, vol. 599(9), pp. 2441-2457.
15. Rabelo M., de Moura Jucá R.V.B., Lima L.A.O. et al. Overview of FES-Assisted Cycling Approaches and Their Benefits on Functional Rehabilitation and Muscle Atrophy. *Adv Exp Med Biol*, 2018, vol. 1088, pp. 561-583
16. Gobbo M., Lazzarini S., Vacchi L. et al. Exercise Combined with Electrotherapy Enhances Motor Function in an Adolescent with Spinal Muscular Atrophy Type III. *Case Rep Neurol Med*, 2019, vol. 2019, p. 4839793.

17. Fehlings D.L., Kirsch S., McComas A. et al. Evaluation of therapeutic electrical stimulation to improve muscle strength and function in children with types II/III spinal muscular atrophy. *Dev Med Child Neurol*, 2002, vol. 44(11), pp. 741-744.
18. Montes J., Dunaway Young S., Mazzone E.S. et al. Physical therapy and rehabilitation for patients with spinal muscular atrophy: a systematic review. *Physical Therapy*, 2019, vol. 99(10), pp. 1368-1386.
19. Prat-Ortega G., Ensel S., Donadio S. et al. First-in-human study of epidural spinal cord stimulation in individuals with spinal muscular atrophy. *Nat Med*, 2025, vol. 31(4), pp. 1246-1256.
20. Scott W.B., Bendixen R.M., Hiemenz J.R. et al. Neuromuscular electrical stimulation for children with spinal muscular atrophy: a single-subject experimental study. *Physical Therapy*, 2014, vol. 94(5), pp. 689-697.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:
Марко Петрович – реабилитационный центр «Стимул», аспирант департамента образовательного проектирования института естествознания и спортивных технологий Московского городского педагогического университета, Москва, e-mail: PetrovichM@mgpu.ru, ORCID: 0009-0004-5497-9338.
Анна Николаевна Голикова – доктор биологических наук, профессор института естествознания и спортивных технологий, Московский городской педагогический университет, Москва, e-mail: NalobinaAN@mgpu.ru, ORCID: 0000-0001-6574-1609.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:
Marko Petrovich – Rehabilitation Center “Stimul”, Postgraduate Student at the Department of Educational Design, Institute of Natural Sciences and Sports Technologies, Moscow City University, Moscow, e-mail: PetrovichM@mgpu.ru, ORCID: 0009-0004-5497-9338.
Anna N. Golikova – Doctor of Biological Sciences, Professor, Institute of Natural Sciences and Sports Technologies, Moscow City University, Moscow, e-mail: NalobinaAN@mgpu.ru, ORCID: 0000-0001-6574-1609.

Для цитирования: Петрович, М. Аналитический обзор методов реабилитации детей со спинальной мышечной атрофией на основе применения электростимуляции / М. Петрович, А.Н. Голикова // Современные вопросы биомедицины. – 2025. – Т. 9. – № S1(35). DOI: 10.24412/2588-0500-2025_09_S1_19

For citation: Petrovich M., Golikova A.N. The role of electrical stimulation in the rehabilitation of children with spinal muscular atrophy: an analytical review. *Modern Issues of Biomedicine*, 2025, vol. 9, no. S1(35). DOI: 10.24412/2588-0500-2025_09_S1_19