

ЭЛЕКТРОСТИМУЛЯЦИЯ НЕРВНО-МЫШЕЧНОГО АППАРАТА: ЛЕЧЕБНЫЙ ЭФФЕКТ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ В МЕДИЦИНСКОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ

Ерохин А.Н., Бачурина М.Ю.

*ФГБОУ ВО «Тюменский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения
Российской Федерации, Тюмень, e-mail: alexnico59@yandex.ru*

Электростимуляция нервно-мышечного аппарата является одним из часто применяемых методов физиотерапевтического воздействия в современной медицинской реабилитации. Целью настоящей работы явился анализ современных публикаций, отражающих направления и методические особенности электростимуляции нервно-мышечного аппарата, а также перспективы, которые раскрываются в связи с применением электростимуляции в процессе медицинской реабилитации. Материалом для анализа послужили публикации, посвященные электростимуляции нервно-мышечного аппарата. Поиск работ указанного характера осуществляли в специализированных базах данных научного цитирования: MEDLINE, PubMed, Web of Science, Scopus, РИНЦ. Вся совокупность публикаций, посвященных электростимуляции, составила 4500 работ за период с 2014 по 2024 г. Для анализа отбирали работы, соответствующие специфике целевого определения и не выходящие за рамки временного периода глубиной в 10 лет, что составило 29 источников. Отмечено, что электростимуляция может применяться как при сохранной, так и при нарушенной иннервации. Особый интерес у исследователей вызывает возможность применения электростимуляции в условиях реализации двигательного акта, в частности при ходьбе. Для обозначения данного способа электростимуляции был введен термин «функциональная электростимуляция». Разными авторами была подтверждена эффективность функциональной электростимуляции и целесообразность ее использования для улучшения показателей походки, повышения скорости ходьбы, коррекции симметричности походки. В рамках персонифицированного подхода описан случай применения электростимуляции для активации дыхания при травматическом повреждении ствола головного мозга и шейного отдела спинного мозга у ребенка девяти лет. Электростимуляция нервно-мышечного аппарата является эффективным методом физиотерапевтического воздействия, который еще не исчерпал своих функциональных возможностей. Развитие нового направления – функциональной электростимуляции, формирование персонифицированного подхода в сложных клинических ситуациях свидетельствует о том, что электростимуляция входит в совокупность перспективных методов немедикаментозного воздействия, востребованных современной медицинской реабилитацией.

Ключевые слова: электростимуляция, нервно-мышечный аппарат, медицинская реабилитация.

ELECTRICAL STIMULATION OF THE NEUROMUSCULAR APPARATUS: THERAPEUTIC EFFECT AND PROSPECTS OF APPLICATION IN MEDICAL REHABILITATION

Erokhin A.N., Bachurina M.Yu.

*Tyumen State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation,
Tyumen, e-mail: alexnico59@yandex.ru*

Electrical stimulation of the neuromuscular apparatus is one of the most frequently used methods of physiotherapy in modern medical rehabilitation. The purpose of this work is to analyze modern publications reflecting the directions and methodological features of electrical stimulation of the neuromuscular apparatus, as well as the prospects that are revealed in connection with the use of electrical stimulation in the process of medical rehabilitation. The publications devoted to electrical stimulation of the neuromuscular apparatus served as the material for the analysis. The search for works of this nature was carried out in specialized scientific citation databases - MEDLINE, PubMed, Web of Science, Scopus, RSCI. The total number of publications devoted to electrical stimulation amounted to 4500 papers for the period from 2014 to 2024. For the analysis, we selected works that correspond to the specifics of the target definition and do not exceed the period of 10 years, which amounted to 29 sources. It is noted that electrical stimulation can be used both with preserved and impaired innervation. Researchers are particularly interested in the possibility of using electrical stimulation in the context of a motor act, in particular when walking. To designate this method of electrical stimulation, the term "functional

electrical stimulation" was introduced. Various authors have confirmed the effectiveness of functional electrical stimulation and the expediency of its use to improve gait performance, increase walking speed, and correct gait symmetry. Within the framework of a personalized approach, a case of the use of electrical stimulation to activate breathing in case of traumatic injury to the brain stem and cervical spinal cord in a nine-year-old child is described. Electrical stimulation of the neuromuscular apparatus is an effective method of physiotherapy, which has not yet exhausted its functional capabilities. The development of a new direction – functional electrostimulation, the formation of a personalized approach in complex clinical situations – indicates that electrostimulation is part of a set of promising methods of non-drug treatment that are in demand in modern medical rehabilitation.

Keywords: electrical stimulation, neuromuscular apparatus, medical rehabilitation.

Введение

Электростимуляция широко применяется в современной аппаратной физиотерапии и основана на применении импульсного электрического тока, у которого варьирует форма, частота и длительность импульсов, что обеспечивает большой диапазон воздействия, когда в процесс вовлекаются в основном двигательные и чувствительные нервы, а также поперечно-полосатые и гладкие мышцы [1]. Наиболее значимой в лечебно-реабилитационном отношении является электростимуляция мышц или нервно-мышечного аппарата с сохранной или нарушенной иннервацией. Следует отметить, что более глобальным является разделение электростимуляции по способу применения, привязанному к положению тела пациента. В этом отношении электростимуляцию разделяют на пассивную (электростимуляцию в покое) при статичном положении пациента и электростимуляцию, осуществляемую при движении пациента (функциональную электростимуляцию), когда электрические импульсы воздействуют на мышцу в момент произвольного сокращения, облегчая и усиливая то движение, которое она производит. Исходные характеристики нервно-мышечного аппарата, планируемый эффект от применения электростимуляции, технические возможности электростимулятора – все это в совокупности обуславливает методические особенности и подходы к реализации данного метода физиотерапии.

Цель исследования – анализ современных публикаций, отражающих направления и методические особенности электростимуляции нервно-мышечного аппарата, а также перспективы, которые раскрываются в связи с применением электростимуляции в процессе медицинской реабилитации.

Материалы и методы исследования

Материалом для анализа послужили публикации, посвященные электростимуляции нервно-мышечного аппарата. Поиск работ указанного характера осуществляли в специализированных базах данных научного цитирования: MEDLINE, PubMed, Web of Science, Scopus, РИНЦ. Вся совокупность публикаций, посвященных электростимуляции, составила 4500 работ за период с 2014 по 2024 г. Для анализа отбирали работы,

соответствующие специфике целевого определения и не выходящие за рамки временного периода глубиной в 10 лет.

Результаты исследования и их обсуждение

Электростимуляция нервно-мышечного аппарата с сохранной и нарушенной иннервацией в покое

Электростимуляция мышц с сохранной иннервацией

При анализе публикаций выяснилось, что электростимуляция мышц с сохранной иннервацией преследует различные цели. Выявлена высокая эффективность низкочастотной электростимуляции мышц нижних конечностей у больных с декомпенсированной хронической сердечной недостаточностью и отмечены как повышение физической работоспособности и активности, так и повышение уровня качества жизни и общего самочувствия [2]. Продолжаются исследования, направленные на определение оптимальных параметров стимулирующего тока. В частности выявлено, что импульсный ток с импульсной модуляцией позволяет достичь большей силы мышечного сокращения, чем переменный ток с импульсной модуляцией при стимуляции мышц с сохранной иннервацией без ощущений дискомфорта, связанного с ноцицептивным действием стимулирующего тока [3]. В работе других авторов приведены результаты, подтверждающие более высокую эффективность применения переменного тока с импульсной модуляцией и двухфазного прямоугольного импульсного тока с импульсной модуляцией 1000 Гц в сравнении с переменным током с импульсной модуляцией 2500 Гц для стимуляции четырехглавой мышцы бедра у здоровых испытуемых [4]. Уделяя внимание исходному положению сегмента конечности, авторы определили, что согнутый до 90° коленный сустав усиливает действие электростимуляции общего малоберцового нерва на икроножную мышцу [5]. Таким образом, оптимизация параметров стимулирующего тока важна для достижения конечного эффекта электростимуляции – получения выраженного, но безболезненного сокращения. Кроме того, исходное положение конечности при электростимуляции также способствует усилению сократительного эффекта. Применение электростимуляции обусловлено и тем обстоятельством, что данный фактор увеличивает мышечную массу и ее тонус. В частности, как фактор, способствующий увеличению объема брюшной мускулатуры у здоровых испытуемых, один сеанс динамической электростимуляции оказывает позитивное действие [6]. Сходный эффект был выявлен при применении электростимуляции с целью коррекции плоскостопия. Авторы констатируют, что по данным бароподометрии уменьшение давления в области продольного свода стопы после курса электростимуляции подошвенных мышц отмечалось у 70 % испытуемых [7]. Характерной тенденцией современной медицинской реабилитации является расширение диапазона показаний для применения

физиотерапевтических факторов. Так, использование электростимуляции в комплексе консервативных мероприятий и липосакции существенно повышает эффективность реабилитации больных раком молочной железы с поздней лимфедемой верхней конечности II–IV степени [8]. У больных с хронической болезнью почек, получающих лечение программным гемодиализом, накожная билатеральная электромиостимуляция выполняет функцию замещения активных физических упражнений [9]. У пациенток разных возрастных групп с ректоцеле после оперативного вмешательства был применен комплекс, включающий общую магнитотерапию, электростимуляцию, упражнения для укрепления мышц тазового дна и фракционную микроаблятивную терапию, благодаря которому был получен выраженный вазокорригирующий эффект [10]. Электростимуляция нервно-мышечного аппарата в подобных клинических ситуациях выполняет роль замены активных движений и восполняет дефицит сократительной деятельности мышечных волокон. Как составная часть многокомпонентных реабилитационных комплексов, электростимуляция способствует повышению эффективности восстановительных мероприятий. В частности, при восстановлении глотательной функции у пациентов в постинсультном периоде применение в едином комплексе реабилитационных упражнений, рефлексотерапии, электростимуляции глоточных мышц, транскраниальной магнитной стимуляции и метода биологической обратной связи повышает уровень эффективности [11]. Как альтернатива нехирургического способа лечения пациентов с неосложненным храпом и храпом при синдроме обструктивного апноэ сна легкой степени тяжести, обусловленным гипотонией мышц мягкого неба, электростимуляция мышц мягкого неба является эффективным физиотерапевтическим средством [12]. Подобное введение электростимуляции в комплекс реабилитационных мероприятий возможно вследствие высокого уровня сочетаемости данного физического фактора с другими методами физиотерапии. В литературе описаны случаи применения электростимуляции в тех ситуациях, когда потребность пациента в данном виде физиотерапии превысила риск возможных осложнений [13, 14]. Приведенные результаты свидетельствуют о высокой физиологичности электростимуляции, но не исключают необходимости соблюдать осторожность ее применения при наличии искусственного водителя ритма сердца и декомпенсированных состояний сердечно-сосудистой системы.

Электростимуляция мышц с нарушенной иннервацией

Электростимуляция нервно-мышечного аппарата с нарушенной иннервацией составляет важную часть медицинской реабилитации, так как сохранение специфичности мышечных волокон и восстановление сократительной функции поперечно-полосатой и гладкой мышечной ткани во многих случаях является приоритетной задачей восстановительных мероприятий. Методические особенности сочетания прямой

электростимуляции нейронов спинномозгового узла и сегментов спинного мозга в эксперименте на крысах, а также чрескожной стимуляции мышц голени позволили повысить в несколько раз регенераторный потенциал поврежденных аксонов [15]. В данном случае авторы в экспериментальных условиях попытались восстановить деятельность проводящих путей спинного мозга, периферического нерва и конечного органа – скелетной мышцы. Судя по результатам эффективность указанного подхода с использованием электростимуляции оказалась высокой. Возможность моделирования естественного акта мышечного сокращения при нарушенной иннервации обусловила широкое применение электростимуляции в клинических условиях. Применение электростимуляции расширяет реабилитационные возможности у детей со спастической диплегией [16], повышает функциональный статус сердечно-сосудистой системы у пациентов после перенесенного инсульта [17], уменьшает уровень постинсультной спастичности [18]. Приведенные выше результаты свидетельствуют о широком спектре возможностей электростимуляции при применении в клинике. Высокий уровень повреждения при спинномозговой травме, сопровождающейся развитием спастических состояний, не препятствует использованию электростимуляции, но требует тщательной коррекции параметров режима стимуляции для предотвращения усиления спастичности. При нарушении функции органов, содержащих гладкомышечные волокна, электростимуляция также показала свою эффективность. Так, применение биологической обратной связи в сочетании с электростимуляцией мышц тазового дна при лечении нейрогенных нарушений мочеиспускания у детей позволило улучшить результаты восстановительного лечения [19]. Включение электростимуляции в реабилитационный комплекс на этапах медицинской реабилитации детей с врожденной патологией спинного мозга при нарушении функции мочевого пузыря и мышц нижних конечностей существенно повышает эффективность реабилитационных мероприятий [20]. Сочетание электростимуляции с биологической обратной связью, несомненно, является перспективным направлением в современной медицинской реабилитации, поскольку задействует не только механизмы пассивной реализации сокращения мышечных волокон, но и включает активную составляющую в виде аудио- и визуальной афферентации.

Функциональная электростимуляция

В настоящее время активно развивается направление, которое получило название функциональной электростимуляции. Особенностью данного способа электростимуляции является то, что электрический импульс подается на мышцу в тот момент, когда она совершает (или должна совершать) сократительный акт. Об актуальности синхронизации электростимуляции с двигательным актом свидетельствуют публикации, в которых отражены результаты клинических наблюдений. В частности, достоверно лучшие результаты были

получены при применении реабилитационного комплекса у пациентов с детским церебральным параличом в форме спастической диплегии с включением функциональной программируемой электростимуляции мышц, чем при электростимуляции мышечных групп в покое [21, 22]. Применение функциональной электростимуляции у пациентов со сколиотической болезнью улучшает биомеханические характеристики шаговой последовательности [23]. После прохождения курса функциональной электрической стимуляции у пациента в раннем восстановительном периоде ишемического инсульта в бассейне правой средней мозговой артерии наибольшие изменения, с позиции биомеханики движений, наблюдались в коленном и тазобедренном суставах, а также, но в меньшей степени, в голеностопном суставе [24]. Авторы отмечают, что функциональная электростимуляция решает комплексную задачу, формируя в итоге адекватный двигательный стереотип ходьбы [25]. Указанный спектр возможностей функциональной электростимуляции обуславливает ее поступательное развитие и расширение круга практического применения. Так, применение функциональной электростимуляции нижних конечностей в составе комплексной терапии у пациентов с сахарным диабетом позволило снизить степень функциональных нарушений и нейропатических жалоб [26]. Разработана методика функциональной реципрокной нейромышечной стимуляции, основанная на чередующейся активации мышц-антагонистов одновременно с выполняемым пассивно (либо пассивно с активной поддержкой) кинезитерапевтическим упражнением, которая повышает эффективность стандартной программы комплексной терапии пациентов в раннем восстановительном периоде после инсульта на 49,15 %. [27]. Применение функциональной электростимуляции в рамках программы физической реабилитации больных с последствиями травматической болезни спинного мозга выявило повышение бытовой и двигательной активности на фоне прироста мышечной силы, улучшение способа передвижения у большего количества пациентов, улучшение функций тазовых органов, снижение трофических расстройств [28]. Таким образом, функциональная электростимуляция направлена на решение круга задач, связанных с улучшением движения пациента в режиме реального времени. Реализация шаговой последовательности представляет собой сложный фазовый процесс, в котором каждая мышечная группа включается в определенную фазу движения. Синхронизация подачи электрического тока для возбуждения активирующейся мышцы осуществляется посредством современных устройств, принцип действия которых основан на использовании биологической обратной связи. Функциональная электростимуляция максимально приближает действие физиотерапевтического фактора к естественным условиям и потребностям пациента, а именно – восстановлению двигательного стереотипа и согласованному действию мышц при реализации двигательного акта.

Персонализированный подход при электростимуляции нервно-мышечного аппарата

Новые подходы в комплексном использовании электростимуляции позволяют адаптировать данный метод воздействия в сложных клинических ситуациях, когда требуется максимально возможный учет особенностей клинического случая. Подобный случай описан авторами при медицинской реабилитации пациента с тяжелой травмой спинного мозга на уровне шейного отдела и потребовал разработки имплантируемого устройства с автоматически запускаемой программой стимуляции диафрагмального нерва, что обеспечило возможность проведения курса физиотерапии в домашних условиях [29].

Заключение

Применение электростимуляции нервно-мышечного аппарата в условиях современных подходов к восстановительному лечению с применением немедикаментозных методов сохраняет свою актуальность. Это обусловлено тем, что электростимуляция позволяет моделировать естественный акт мышечного сокращения как при сохранной, так и при нарушенной иннервации. Кроме того, современные устройства, генерирующие последовательность электрических импульсов, обладают возможностью синхронизировать подачу импульсов в момент сократительного акта мышцы, участвующей в реализации двигательного акта, например шаговой последовательности. Это значительно расширяет круг применения электростимуляции и приближает ее к совокупности немедикаментозных воздействий, которые могут быть использованы в режиме реального времени, соотношенного с выполнением функции комплекса скелетных мышц при локомоциях, в частности при ходьбе. Другим аспектом, отражающим важность и значимость электростимуляции, является возможность включения в многокомпонентные комплексы восстановительного лечения. Об этом свидетельствуют публикации, в которых отражены результаты применения электростимуляции при различных хронических заболеваниях. Современная аппаратура позволяет приспособить устройства для генерации электрических импульсов к потребностям пациента при тяжелых повреждениях спинного мозга. Таким образом, анализ публикаций за последние 10 лет показал, что электростимуляция нервно-мышечного аппарата является высокоэффективным методом физиотерапевтического воздействия, который еще не исчерпал своих функциональных возможностей. Развитие нового направления – функциональной электростимуляции, формирование персонализированного подхода в сложных клинических ситуациях, использование современных полифункциональных генераторов электрических импульсов свидетельствует о том, что электростимуляция входит в совокупность перспективных методов немедикаментозного воздействия, востребованных современной медицинской реабилитацией.

Список литературы

1. Кульчицкая Д.Б., Фесюн А.Д., Кончугова Т.В., Рябков Е.Н., Колбахова С.Н. Применение электростимуляции, воздушной локальной криотерапии, массажа и роботизированной механотерапии с биологической обратной связью у пациентов после эндопротезирования коленного сустава в поздний послеоперационный период // Russian Journal of Environmental and Rehabilitation Medicine. 2023. № 1. С. 11–15. URL: <https://scinetwork.ru/articles/31331> (дата обращения: 29.07.2025).
2. Полтавская М.Г., Свириденко В.П., Бранд А.В., Андреев Д.А., Коряк Ю.А., Велиев Г.О., Дикур О.Н., Куликов В.М., Вайсман Ю.Д., Томиловская Е.С. Применение «космической» электромиостимуляции в земной клинической кардиологии // Физиология человека. 2021. Т. 47. № 4. С. 26–35. DOI: 10.31857/S0131164621040135.
3. Bellew J.W., Allen M., Biefnes A., Grantham S., Miglin J., Swartzell D. Efficiency of neuromuscularelectricalstimulation: Acomparison of elicited force and subject tolerance using three electrical waveforms // Physiother. Theory Pract. 2018. Vol. 34 (7) P. 551–558. DOI: 10.1080/09593985.2017.1422820.
4. Adams C., Scott W., Basile J., Hughes L., Leigh J., Schiller A., Walton J. Electrically Elicited Quadriceps Muscle Torque: A Comparison of 3 Waveforms // J Orthop Sports PhysTher. 2018. Vol. 48 (3). P. 217–224. DOI: 10.2519/jospt.2018.7601.
5. Gavin J.P., Cooper M., Wainwright T.W. The effects of knee joint angle on neuromuscular activity during electrostimulation in healthy older adults // J Rehabil Assist Technol Eng. 2018. Vol. 5. P. 2–10. URL: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/2055668318779506> (дата обращения: 29.07.2025). DOI: 10.1177/2055668318779506.
6. Álvarez-Barrio L., Rodríguez-Pérez V., Calvo-Lobo C., Leirós-Rodríguez R., Alba-Pérez E., López-Rodríguez A.F. Immediate Effects of Whole-Body versus Local Dynamic Electrostimulation of the Abdominal Muscles in Healthy People Assessed by Ultrasound: A Randomized Controlled Trial // Biology (Basel). 2023. Vol. 16, Is. 12 (3) P. 454. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/369791в47/> (дата обращения: 29.07.2025). DOI: 10.3390/biology12030454.
7. Кармазин В.В., Сливин А.В., Парастаев С.А. Оценка эффективности локальной электростимуляции с осевой нагрузкой в коррекции комбинированного плоскостопия и постуральной асимметрии методом электростимуляции // Лечащий врач. 2023. № 5 (26). С. 36–41.; URL: <https://www.lvrach.ru/2023/05/15438702> (дата обращения: 29.07.2025). DOI: 10.51793/OS.2023.26.5.006.

8. Грушина Т.И., Сидоров Д.Б. Обоснованность междисциплинарного подхода к лечению постмастэктомической лимфедемы // Сибирский онкологический журнал. 2020. № 19 (1). С. 57–63. DOI: 10.21294/1814-4861-2020-19-1-57-63.
9. Вишневецкий К.А., Румянцев А.Ш., Коростелева Н.Ю. Общие принципы применения дозированных физических нагрузок у больных на гемодиализе // Нефрология. 2018. № 22 (4). С. 102–107.; URL: https://journal.nephrolog.ru/jour/article/view/547?locale=ru_RU (дата обращения: 29.07.2025). DOI: 10.24884/1561-6274-2018-22-4-102-107.
10. Лядов К.В., Котенко К.В., Жуманова Е.Н. Вазокорригирующий эффект общей магнитотерапии и электромиостимуляции с биологической обратной связью в сочетании с фракционной микроаблятивной терапией СО₂-лазером у пациенток с опущением задней стенки влагалища после оперативного вмешательства // Физиотерапия, бальнеология и реабилитация. 2020. Т. 19. № 2. С. 116–122.; URL: <https://rjpbr.com/1681-3456/article/view/57000> (дата обращения: 29.07.2025). DOI: 10.17816/1681-3456-2020-19-2-8.
11. Сорокин Ю.Н. Нарушения глотания при инсультах. Особенности ведения пациента с дисфагией // Медицина неотложных состояний. 2015. № 3 (66). С. 144–149.; URL: <http://www.mif-ua.com/archive/article/40625> (дата обращения: 18.07.2025).
12. Волков А.Г., Золотова Т.В., Лешина Л.С. Современный алгоритм диагностики храпа и синдрома апноэ сна // Российская оториноларингология. 2018. № 4 (95). С. 22–25.; URL: <https://entru.org/en//2018-4-22-25.html> (дата обращения: 18.07.2025). DOI: 10.18692/1810-4800-2018-4-22-25.
13. Безденежных А.В., Сумин А.Н., Олейник П.А. Первый опыт применения электромиостимуляции при ранней реабилитации реципиента донорского сердца с осложненным послеоперационным периодом // Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний. 2018. № 7. С. 146–150.; URL: https://www.nii-kpssz.com/jour/article/view/519?locale=ru_RU (дата обращения: 18.07.2025). DOI: 10.17802/2306-1278-2018-7-4S-146-150.
14. Полтавская М.Г., Свириденко В.П., Козловская И.Б., Бранд А.В., Андреев Д.А., Патченская И.В., Коряк Ю.А., Томиловская Е.С., Саенко И.В., Гиверц И.Ю., Дикур О.Н., Долецкий А.А., Сыркин А.Л. Сравнение эффективности нейромышечной электростимуляции и интервальных физических тренировок в ранней реабилитации пациентов, госпитализированных с декомпенсацией хронической сердечной недостаточности // Физиология человека. 2018. Т. 44. № 6. С. 67–78.; URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?doi=10.1134/S0131164618060097> (дата обращения: 29.07.2025). DOI: 10.1134/S0131164618060097.

15. Нинель В.Г., Коршунова Г.А., Пучиньян Д.М., Иванов А.Н., Щаницын И.Н., Матвеева О.В., Айтемиров Ш.М., Норкин И.А. Нейрофизиологическое и морфометрическое обоснование комплексного электроимпульсного воздействия на репаративно-регенеративные процессы в седалищном нерве крыс после его пересечения и нейрорафии // Российский нейрохирургический журнал им. профессора А.Л. Поленова. 2017. Т. 9. № 3. С. 26–32.; URL: <https://drive.google.com/file/d/1fr60jd0GwffAPt6RjEEYi2LyS92RQiTG/view> (дата обращения: 18.07.2025).
16. Икоева Г.А., Никитюк И.Е., Кивоенко О.И., Мошонкина Т.Р., Солопова И.А., Сухотин И.А., Виссарионов С.В., Умнов В.В., Герасименко Ю.П. Клинико-неврологическая и нейрофизиологическая оценка эффективности двигательной реабилитации у детей с церебральным параличом при использовании роботизированной механотерапии и чрескожной электрической стимуляции спинного мозга // Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. 2016. Т. 4. № 4. С. 47–55.; URL: <https://journals.eco-vector.com/turner/article/view/5895> (дата обращения: 29.07.2025). DOI: 10.17816/PTORS4447-55.
17. Якупов Р.Н., Павлов Д.А., Ананьев С.С., Голоднова В.А., Балыкин М.В. Влияние неинвазивной электростимуляции спинного мозга и механостимуляции мышц ног на системную гемодинамику при сохранных и нарушенных супраспинальных связях // Журнал медико-биологических исследований. 2020. Т. 8. № 3. С. 319–323.; URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-neinvazivnoy-elektrostimulyatsii-spinnogo-mozga-i-mehanostimulyatsii-myshts-nog-na-sistemnyuyu-gemodinamiku-pri-sohrannyh-i-narushennyh-supraspinalnykh-svyazhah> (дата обращения: 18.07.2025). DOI: 10.37482/2687-1491-Z024.
18. Дробышев В.А. Влияние нейробиоуправления и ботулинотерапии на эффективность лечения постинсультной спастичности // Journal of Siberian Medical Sciences. 2016. № 4. С. 12.; URL: <https://jsms.elpub.ru/jour/article/view/444> (дата обращения: 30.07.2025).
19. Ромих В.В., Борисенко Л.Ю., Захарченко А.В. Применение метода биологической обратной связи в сочетании с электростимуляцией мышц тазового дна при нарушениях функции нижних мочевых путей нейрогенной природы у детей // Экспериментальная и клиническая урология. 2014. № 3. С. 100–102.; URL: <https://ecuro.ru/article/primenenie-metoda-biologicheskoi-obratnoi-svyazi-v-sochetanii-s-elektrostimulyatsiei-myshts> (дата обращения: 18.07.2025).
20. Новикова Е.В., Хан М.А., Николаев С.Н., Иванова И.И. Медицинская реабилитация детей со спинальным дизрафизмом // Детская и подростковая реабилитация. 2020. № 1 (41). С. 41–44.; URL: http://association-dcp.ru/?page_id=13713 (дата обращения: 30.07.2025).

21. Елисеев В.В., Кулишова Т.В. Эффективность коррекции функции ходьбы у пациентов с детским церебральным параличом в форме спастической диплегии // Вестник Северо-Западного государственного медицинского университета им. И.И. Мечникова. 2015. Т. 7. № 4. С. 43–46.; URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/effektivnost-korreksii-funktsii-hodby-u-patsientov-s-detskim-tserebralnym-paralichom-v-forme-spasticheskoy-dipleгии> (дата обращения: 18.07.2025).
22. Елисеев В.В., Кулишова Т.В., Назаренко Н.В. Результаты катamnестического наблюдения за пациентами с детским церебральным параличом в форме спастической диплегии после курса электростимуляции мышц // Саратовский научно-медицинский журнал. 2016. Т. 12. № 2. С. 254–256.; URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rezultaty-katamnesticeskogo-nablyudeniya-za-patsientami-s-detskim-tserebralnym-paralichom-v-forme-spasticheskoy-dipleгии-posle-kursa> (дата обращения: 18.07.2025).
23. Марчук И.А., Лавриненко В.А. Функциональная электростимуляция мышц при сколиотической деформации позвоночника // Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. 2021. Т. 98. № 3. С. 124–125.; URL: <https://www.mediasphera.ru/issues/voprosy-kurortologii-fizioterapii-i-lechebnoj-fizicheskoy-kultury/2021/3/1004287872021032021> (дата обращения: 22.07.2025).
24. Скворцов Д.В., Климов Л.В., Лобунько Д.А., Кауркин С.Н. Результат использования метода функциональной электростимуляции мышц при ходьбе у пациента в раннем восстановительном периоде после инсульта // Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация. 2024. Т. 6. № 1. С. 73–83.; URL: <https://journals.eco-vector.com/2658-6843/article/view/626296> (дата обращения: 22.07.2025). DOI: 10.36425/rehab626296.
25. 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. С. 49–52.; URL: <https://poliklin.ru/imagearticle/20196/20196-49.pdf> (дата обращения: 22.07.2025).
26. Фролов Д.В. Функциональная электростимуляция в лечении пациентов с сахарным диабетом 2 типа, осложненным диабетическими ангиопатиями и полинейропатиями // Физиотерапевт. 2021. № 2. С. 16–26.; URL: <https://panor.ru/articles/funktsionalnaya-elektrostimulyatsiya-v-lechenii-patsientov-s-sakharnym-diabetom-2-tipa-oslozhnennym-diabeticheskimi-angiopatiyami-i-polineyropatiymi/58336.html#> (дата обращения: 18.07.2025). DOI: 10.33920/med-14-2104-02.
27. Лукашевич В.А., Пономарев В.В., Тарасевич М.И., Живолупов С.А. Функциональная реципрокная нейромышечная электростимуляция в адаптивной кинезитерапии у

постинсультных пациентов // Наука и здравоохранение. 2020. Т. 22. № 3. С. 80–88.; URL: <https://newjournal.ssmu.kz/publication/421/ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ%20РЕЦИПРОКНАЯ%20НЕЙРОМЫШЕЧНАЯ%20ЭЛЕКТРОСТИМУЛЯЦИЯ%20В%20АДАПТИВНОЙ%20КИНЕЗИТЕРАПИИ%20У%20ПОСТИНСУЛЬТНЫХ%20ПАЦИЕНТОВ/> (дата обращения: 22.07.2025). DOI: 10.34689/SH.2020.22.3.010.

28. Маликова С.А. Эффективность реабилитации пациентов с последствиями травматической болезни спинного мозга с применением функциональной электростимуляции // Наукосфера. 2020. № 12–2. С. 16–25.; URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44602740> (дата обращения: 18.07.2025).

29. Ерохин А.Н., Кобызов А.Е., Сергеенко О.М., Туровина Е.Ф. Стимуляция диафрагмального нерва посредством модифицированного имплантируемого устройства в комплексе реабилитационных мероприятий после повреждения шейного отдела спинного мозга (случай из практики) // Гений ортопедии. 2020. Т. 26. № 1. С. 89–94.; URL: <https://www.ilizarov-journal.com/jour/article/view/2516> (дата обращения: 27.07.2025). DOI: 10.18019/1028-4427-2020-26-1-89-94.