

Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Научно-исследовательский детский ортопедический институт им. Г.И.Турнера»
Министерства здравоохранения Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
«Институт физиологии имени И. П. Павлова» Российской Академии Наук

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Северо-Западный государственный
медицинский университет им. И.И.Мечникова»
Министерства здравоохранения Российской Федерации



“УТВЕРЖДАЮ”

Директор
ФГБУ «НИДОИ» им. Г.И.Турнера» Минздрава России
А.М.Б., профессор, академик РАН
Баиндурашвили А.Г.

Протокол № 4 заседания Ученого совета
НИДОИ им. Г.И. Турнера от 01.03.2018 г.

МЕТОДИКА **неинвазивной чрескожной электрической** **стимуляции спинного мозга** **в комплексной реабилитации детей** **с позвоночно-спинномозговой травмой**

Пособие для врачей

Санкт-Петербург
2018

МЕТОДИКА неинвазивной чрескожной электрической стимуляции спинного мозга в комплексной реабилитации детей с позвоночно-спинномозговой травмой. *Пособие для врачей* — СПб.: ООО «СПб СРП «Павел» ВОГ», 2018. — 32 с.

АННОТАЦИЯ

В пособии для врачей изложена методика восстановительного лечения детей с позвоночно-спинномозговой травмой с использованием неинвазивной чрескожной электростимуляции спинного мозга (ЧЭССМ) в сочетании с роботизированной механотерапией. Предложенная методика и подбор характеристик электрической стимуляции спинного мозга обеспечивает возможность значительно улучшить и интенсифицировать восстановление неврологических нарушений у пациентов с осложненными переломами позвоночника.

Результаты комплексного реабилитационного лечения 34 детей в возрасте от 4 до 17 лет с позвоночно-спинномозговой травмой с неврологическим дефицитом типа А и В по шкале ASIA показали эффективность восстановления нарушений с применением чрескожной электростимуляции спинного мозга в сочетании с роботизированной механотерапией. Из 19 больных, имевших исходно неврологический уровень тип В по шкале ASIA, у 9 пациентов отмечен переход в тип С, у 6 — в тип D. В 79% наблюдений у больных с этим типом неврологического дефицита отмечено улучшение в клинической картине, подтвержденное нейрофизиологическим исследованием. У пациентов с неврологическими нарушениями типа А после курсов восстановительного лечения отмечено улучшение в чувствительной сфере в среднем на 10 баллов по шкале ASIA, что подтверждалось данными нейрофизиологического исследования (ССВП).

Пособие для врачей предназначено для врачей физиотерапевтов, реабилитологов, инструкторов и методистов ЛФК, неврологов, травматологов-ортопедов.

Масштаб использования: реабилитационные отделения стационаров и поликлиник, реабилитационные центры, санатории.

Составители:

Сотрудники ФГБУ «НИДОИ им. Г.И. Турнера» Минздрава России:

Баиндурашвили А. Г. — д.м.н., профессор, академик РАН, директор; **Виссарионов С. В.** — д.м.н., профессор, заместитель директора по научной и учебной работе, руководитель отделения патологии позвоночника и нейрохирургии; **Кокшун Д. Н.** — к.м.н., старший научный сотрудник отделения патологии позвоночника и нейрохирургии; **Солохина И. Ю.** — научный сотрудник отделения патологии позвоночника и нейрохирургии.

Сотрудники ФГБУН «Институт физиологии им. И. П. Павлова» РАН:

Герасименко Ю. П. — д.б.н., профессор, член-корр. РАН, зав. лабораторией физиологии движения; **Мошонкина Т. Р.** — д.б.н., старший научный сотрудник лаборатории физиологии движения.

ВВЕДЕНИЕ

Повреждения позвоночника и спинного мозга у детей до настоящего времени остаются важной и актуальной медико-социальной проблемой. Частота переломов позвоночного столба в сочетании с повреждением спинного мозга варьирует от 15 до 80 случаев на один миллион населения (Леонтьев М. А., 2003, De Vivo M., 2012, National Spinal Cord Injury Statistical Center, 2009). В США ежегодно регистрируется от 18 до 38 тысяч повреждений позвоночника, 20% из них сопровождается параличом, при этом средний возраст пострадавших составляет 38 лет (Yugu I. et al., 2011). В Санкт-Петербурге ежегодно 300-320 человек получают нестабильные и осложненные переломы позвоночника, что в пересчете на один миллион населения соответствует уровню 62 человека и превышает показатели 1975 года в 4-6,4 раза (Баринев А. Н., Кондаков Е. Н., 2010). Анализ отчетов нейрохирургических отделений Москвы за период с 1997 по 2005 годы показывает, что количество пациентов с позвоночно-спинномозговой травмой увеличилось в 3,5 раза (с 289 до 1014 человек), что составляет 79 случаев на один миллион жителей (Гринь А. А., 2008). Распространенность нестабильных и осложненных повреждений позвоночника в городе Новосибирске составляет 317 случаев в год на один миллион населения, что в общей структуре травм опорно-двигательного аппарата занимает 1,5%, из них 0,12% составляет позвоночно-спинномозговая травма (Рерих В. В., 2009).

У детей травма позвоночника среди всех повреждений костно-мышечной системы колеблется от 0,65% до 9,47% (Белянчиков С. М., 2012, Виссарионов С. В. с соавт., 2010). По данным детских стационаров Санкт-Петербурга за 2010-2013 годы ежегодно переломы позвоночника составляют 5-7% в общей структуре травм опорно-двигательного аппарата (Виссарионов С. В. с соавт., 2014). Основными причинами повреждений позвоночника и спинного мозга, по данным литературы,

являются дорожно-транспортные происшествия и кататравма (Белянчиков С. М., 2012, Виссарионов С. В. с соавт., 2014, Щербук Ю. А. с соавт., 2010, De Vivo M. J. et al., 2012, National Spinal Cord Injury Statistical Center (University of Alabama at Birmingham), 2009).

Среди взрослого населения частота позвоночно-спинномозговой травмы несовместимой с жизнью при дорожно-транспортных происшествиях не имеет существенных различий в зависимости от возрастных категорий. Однако среди детского населения удельный вес летальной травмы при ДТП в различных возрастных группах не одинаков. Так, например, у пострадавших младше 11 лет он составлял 78,3%, у подростков от 11 до 17 лет — 66,7% (Дорофеев Ю. Ю., 2013). Госпитальная смертность в раннем периоде позвоночно-спинномозговой травмы составляет 16,3-28,7%. Смертность от травм позвоночника и спинного мозга среди сельских жителей на 10,9% превышает аналогичный показатель среди городского населения.

Свыше 8 тысяч человек ежегодно становятся инвалидами после позвоночно-спинномозговой травмы, что составляет от 380 до 547 человек на один миллион населения (Леонтьев М. А., 2003, Ипатов А. В., 2013). Мужчины в сравнении с женщинами получают подобную травму в 2,5-4 раза чаще (Sekhon L. H., Fehlings M. G., 2001). Средства, затраченные на стационарное лечение одного пострадавшего с параплегией в странах Европы и Северной Америки, составляют около 85 тысяч долларов. Стоимость социального обеспечения пациента с параплегией около 200 тысяч долларов в год. Отсутствие ликвидации сдавления спинного мозга в первые часы от момента травмы вызывает в нем изменения, которые на 80% необратимы.

По мнению ряда исследователей, восстановление двигательных функций нижних конечностей при клинике полного поражения спинного мозга выше уровня сегмента Th9 маловероятно (Белова А. Н. с соавт., 2010. Коновалов А. Н. с соавт.,

1994, Морозов И. Н., 2011, De Vivo M. J., 2012). К благоприятным признакам в отношении восстановления ходьбы относят возможность сгибания нижних конечностей в тазобедренных суставах, сохранность функции разгибателей бедра, хотя бы на одной стороне, а также чувствительности в голеностопных и тазобедренных суставах (Коновалов А. Н. с соавт., 1994). Другие авторы утверждают, что если у пациентов с синдромом полного нарушения проводимости спинного мозга стабильно сохраняется и не наступает минимального регресса со стороны чувствительных и двигательных нарушений в течение первых 2 суток от момента хирургического вмешательства, то рассчитывать на частичное восстановление потерянных функций можно только в 25% наблюдений (Белова А. Н. с соавт., 2010).

В развитии поражений спинного мозга при позвоночно-спинномозговой травме принимает участие большое количество различных механизмов, находящихся в тесной взаимосвязи (контузия паренхимы мозга, дисциркуляторные расстройства). В патогенезе травматического повреждения спинного мозга рассматривают два основных взаимосвязанных механизма гибели клеток — это некроз и апоптоз (Белова А. Н., Прокопенко С. В., 2010). Некроз — возникает в результате первичного повреждения тканей в момент травмы. Апоптоз — отсроченная программированная клеточная смерть (вторичный механизм повреждения клеток). Морфологическое изучение травмированного спинного мозга указывает на то, что повреждение тканей не ограничивается областью воздействия разрушающей силы, а захватывает первично интактные участки и приводит к образованию более обширного повреждения. Все это приводит к восходящей и нисходящей дегенерации и демиелинизации нервных проводников, гибели части аксонов и глии. Однако, сохранение лишь 10% аксонов способно обеспечить существенное функциональное восстановление, что связывают с процессом спраутинга (образования новых отростков) (Коновалов А. Н.,

1994). Они образуют синапсы с клетками, которые до травмы были связаны с поврежденными аксонами длинных трактов, обеспечивая регресс неврологической симптоматики (восстановление функциональности 1-2 сегментов спинного мозга).

Для оценки эффективности лечения пациентов с позвоночно-спинномозговой травмой важна четкая клиническая характеристика исходного состояния пострадавшего. У пострадавших с травмой спинного мозга определяющее место в оценке его функции занимает информативная клиническая классификация. В литературе встречается большое количество публикаций, посвященных осложненной травме позвоночника, где для оценки неврологических нарушений наиболее часто используют шкалы F. Frankel и ASIA (Cengiz S. L., 2008, Frankel H. L., 1969). Однако, в данных работах недостаточно полно раскрываются возможности и методология применения последней. В частности отсутствуют цифровые показатели двигательных и чувствительных нарушений (по шкале ASIA), без которых трудно проследить динамику восстановления функций спинного мозга (Ларькин И. И., Ларькин В. И., 2005, Морозов И. Н., 2011, Седлова Н. С., Кислицын Ю. В., 2007).

Восстановление двигательной функции у детей с позвоночно-спинномозговой травмой зависит не только от уровня и характера травмы, но и от сроков оперативного лечения. Остаются актуальными и до конца не раскрытыми вопросы, освещающие динамику и темпы восстановления неврологических нарушений в зависимости от сроков выполненного хирургического лечения.

Восстановительное лечение пациентов с травматическими повреждениями спинного мозга является одной из актуальных проблем современной медицины. Важность и значимость такого лечения продиктована высокой частотой позвоночно-спинальной травмы, сопровождающейся сложностью патогенеза травматической болезни спинного мозга и недостаточной эф-

фективностью различных методов реабилитационной терапии (Коновалов А. Н. с соавт., 1986; Лившиц А. В., 1990, Георгиева С. А. с соавт., 1993, Городничев Р. М. с соавт., 2012). Одним из методов, позволяющих получить хороший результат в восстановлении двигательных функций у спинальных больных, является электрическая стимуляция спинного мозга, направленная на вызов шагоподобных движений нижних конечностей. Недостатком предлагаемого способа лечения является его инвазивность, заключающаяся в имплантации стимулирующих электродов непосредственно на поверхность твердой мозговой оболочки спинного мозга и требующая проведения оперативного вмешательства. Кроме того, как и все хирургические манипуляции, он сопряжен с рядом рисков и возможных осложнений. Несколько лет назад был разработан метод чрескожной электрической стимуляции спинного мозга (ЧЭССМ), приводящий к возникновению локомоторных движений у человека и животных (Мошонкина Т. Р. с соавт., 2012). Сущность метода заключается в использовании электрических импульсов сложной формы вместо стандартных прямоугольных импульсов. Особая форма стимулирующих импульсов делает токи большой интенсивности, необходимые для эффективного воздействия на спинной мозг, безболезненными для человека с нормальной чувствительностью. Одновременно в нескольких клиниках его начали использовать для двигательной реабилитации спинальных пациентов. В результате этих исследований показано, что неинвазивная электрическая стимуляция спинного мозга приводит к увеличению мышечной силы, улучшению тактильной и болевой чувствительности, к возникновению произвольных движений и восстановлению баланса тела (Ромоданов А. П., Рудяк К. Э., 1980, Шапкова Е. Ю., 2005, Gerasimenko Y. P. et al., 2015). В ряде исследований имеются данные, посвященные оценке результатов реабилитации пациентов с осложненными повреждениями позвоночника методом чрескожной стимуля-

ции спинного мозга (Ромоданов А. П., Рудяк К. Э., 1980; Шапкова Е. Ю., 2005; Gerasimenko Y. P. et al., 2015). В нескольких клиниках для двигательной реабилитации спинальных пациентов начали использовать ЧЭССМ в сочетании с механотерапией, в том числе и роботизированной, что показало более высокую эффективность методики с позиции увеличения мышечной силы, улучшения тактильной и болевой чувствительности, возникновения произвольных движений и восстановления функции баланса тела.

Однако, до настоящего времени в литературе отсутствовали работы, посвященные неинвазивной стимуляции спинного мозга в сочетании с механотерапией, у пациентов детского возраста после позвоночно-спинномозговой травмы.

МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МЕТОДА

Для проведения метода используются аппараты и расходные материалы:

1. Аппаратно-программный комплекс для чрескожной стимуляции спинного мозга Биостим-5, регистрационное удостоверение № РЗН 2014/1523 от 27.03.2014 (разработан ГУАП, Санкт-Петербург).

2. Накожные электроды для ЧЭССМ, производство: «Axelgaard, ValuTrode® Cloth», США.

3. Роботизированный локомоторный тренажёр «Локомат», регистрационное удостоверение № 0174 от 09.12.2008, ФС 2005/1111 («Носома», Швейцария).

4. Велотренажер «Тера» (ВЕКА Hospitec GmbH, Германия).

5. Имитатор подошвенной опорной нагрузки «Корвит», регистрационное удостоверение № ФСР 2009/04901 (разработан ООО «Центр авиакосмической медицины» совместно с ГНЦ РФ-ИМБП РАН).

6. Пассивная подвесная система «Экзарта», регистрационное удостоверение № ФСР 2011/10990 от 09 июня 2011 (производитель ООО НПФ «Реабилитационные технологии», Нижний Новгород).

Эксплуатация аппаратов осуществляется согласно паспорту и медицинской инструкции, а аппаратно-программного комплекса дополнительно в соответствии с инструкцией пользователя.

ПОКАЗАНИЯ К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ МЕТОДА НЕИНВАЗИВНОЙ ЧРЕСКОЖНОЙ ЭЛЕКТРОСТИМУЛЯЦИИ СПИННОГО МОЗГА

1. Пациенты в возрасте старше 4 лет.

2. Пациенты с позвоночно-спинномозговой травмой или ее последствиями с тяжестью неврологических нарушений типа А и В по шкале ASIA (глубокие парезы, парезы).

3. Сроки проведения стимуляции — после заживления послеоперационной раны (у пациентов, перенесших хирургическое вмешательство) или через 2 недели от момента травмы (у пациентов с повреждениями типа SCIWORA).

ПРОТИВОПОКАЗАНИЯ К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ МЕТОДА

1. Общее тяжелое соматическое состояние пациента, обусловленное травмирующим агентом (кома, повреждение внутренних органов, задержка психического развития и т. д.).

2. Нарушение целостности кожных покровов в зоне наложения электродов.

3. Непереносимость процедуры ребенком (эмоциональная лабильность, сниженный болевой порог).

4. Эпилепсия с некупируемыми приступами.

5. Выраженная гиперемия кожных покровов в зоне наложения электродов.

ОПИСАНИЕ МЕТОДА

ЧЭССМ выполняли у пациентов детского возраста с выраженным неврологическим дефицитом (тип А и В по шкале ASIA) на пятиканальном стимуляторе Биостим-5 в период от 2 недель до 9 лет от момента получения позвоночно-спинномозговой травмы и проведенного хирургического лечения.

Основным преимуществом данного метода является возможность проведения электростимуляции с помощью накожных электродов в отличие от прямой электростимуляции, которую проводят с помощью электродов, накладываемых на твердую мозговую оболочку спинного мозга посредством проведения хирургического вмешательства с целью установки электродов на поверхности спинного мозга.

Комплекс представляет собой портативный радиоуправляемый 5-канальный электростимулятор, который состоит из пяти идентичных каналов (рис. 1).

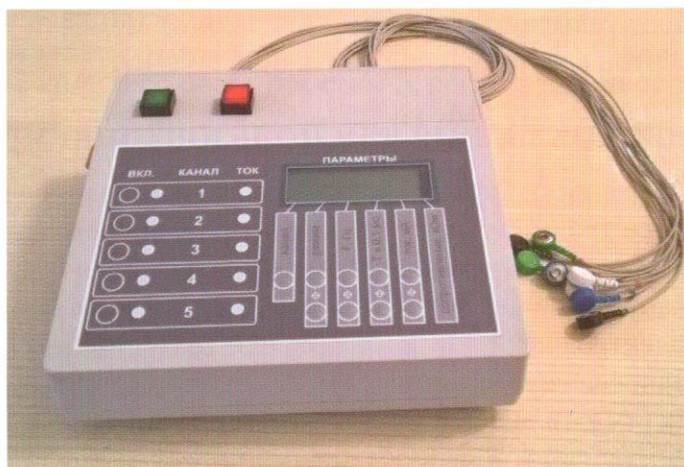


Рис. 1. Аппаратно-программный комплекс Биостим-5 для неинвазивной чрескожной стимуляции спинного мозга

Каждый из пяти каналов соединен с микроконтроллером, который связан с алфавитно-цифровым дисплеем и клавиатурой. Микроконтроллер связан с радиомодулем. Базовой методикой, на основе которой был разработан комплекс, является чрескожное электрическое воздействие на спинной мозг. Каждый из каналов стимулятора выдает импульсы тока в диапазоне от 0 до 300 мА с шагом 1 мА. Важной особенностью стимуляции является ее безболезненность для человека. Благодаря использованию электрического импульса специальной формы можно безболезненно подавать токи большой амплитуды, которые эффективно проникают с поверхности кожи в структуры спинного мозга и инициируют произвольные шагательные движения. Биостим-5 генерирует импульсы трех форм, что позволяет использовать его с разными целями: для исследования проводящих путей спинного мозга в норме и при патологических состояниях, для лечения/реабилитации пациентов с разной степенью поражения спинного мозга. Существенными преимуществами является возможность воздействия одновременно на 5 сегментов спинного мозга, или на 3 сегмента спинного мозга и на 2 корешка, или на 1 сегмент спинного мозга и 4 корешка спинного мозга. Средний ток, выдаваемый стимулятором по каждому каналу (постоянная составляющая тока), равен нулю. Это обеспечивает нулевой потенциал на коже в месте приложения электродов, что предотвращает возможный ожог кожи в случае большой амплитуды импульсов.

У пациентов с повреждением шейного отдела позвоночника стимулировали два уровня спинного мозга (шейное и поясничное утолщение). Во всех наблюдениях начинали стимуляцию с уровня Th11 позвонка. Электроды (катод) фиксировали между остистыми отростками позвонков Th11-Th12 и L1-L2 (круглые электроды с адгезивным слоем диаметром около 3 см, BF-4, «LEADLOC, Inc.»), индифферентный электрод (анод) располагали над гребнями подвздошных костей (овальные

электроды с адгезивным слоем длиной 10 см по длинной оси, SS-3) (рис. 2).

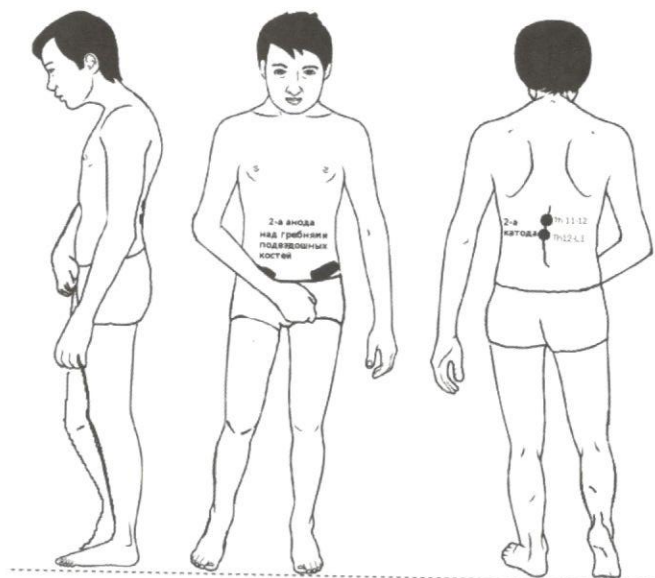


Рис. 2. Схема расположения электродов для ЧЭССМ

Через 5-10 минут проводили стимуляцию на уровне С5 позвонка. Синхронная стимуляция на двух уровнях вызывала движения в конечностях у всех испытуемых. Сила тока на уровне шейного утолщения всегда была невысокой и не превышала 40-50 мА, что обусловлено опасностью возможного отрицательного влияния электростимуляции этого отдела спинного мозга на жизненно важные функции: анатомическая близость сердца, иннервация инспираторных мышц, близость ствола головного мозга.

При травме грудных сегментов спинного мозга использовали 2 пары электродов: первую пару устанавливали на уровне поврежденных невралных структур позвоночного канала,

а два других устанавливали на уровне поясничного утолщения. Силу тока подбирали в процессе процедуры в зависимости от ощущений пациента либо появления двигательной активности в нижних конечностях. Сила тока варьировала в пределах от 10 до 150 мА, амплитуду тока увеличивали в процессе каждой процедуры.

При травматическом поражении позвоночника в зоне грудно-поясничного перехода с повреждением поясничного утолщения для проведения ЧЭССМ использовали 2 электрода.

В зависимости от возраста пациента и уровня расположения стимулирующих электродов подбирали оптимальные параметры силы тока. В результате проведенного анализа были определены предельно допустимые величины силы, рекомендуемые для проведения ЧЭССМ в различных возрастных группах.

Данные, отражающие силу электрического импульса в миллиамперах, подаваемого на электроды, отражены в табл. 1.

Таблица 1
Сила электроимпульса в мА, подаваемого на электроды

УРОВЕНЬ СТИМУЛЯЦИИ	До 7 лет	7-12 лет	>12 лет
	мА	мА	мА
Шейное утолщение	10-40*	10-45	10-50
Грудные сегменты	10-40	10-80	10-150
Поясничное утолщение	10-40	10-80	10-150

*В таблице отражены начальные величины силы тока, используемого для стимуляции спинного мозга и предельно допустимые величины.

Частота стимуляции составила 5-30 Гц, длительность импульса — 1 мс. Зависимости частоты электрического импульса, подаваемого на электроды, от возраста пациентов с ПСМТ не выявлено. Однако, в ходе исследования было установлено,

что в ряде случаев повышение частоты электрического импульса приводит к появлению болевых ощущений у ребенка, что определяло необходимость уменьшения частоты импульса (табл. 2).

Таблица 2

Частота электроимпульса в Гц, подаваемого на электроды

Сеансы, N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Среднее, Гц
Минимум, Гц	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	21,93
Максимум, Гц	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	
Среднее, Гц	22,99	20,38	20,01	20,03	21,08	25,18	24,7	24,08	20,7	21,3	

Длительность процедуры составляла 30-40 минут с кратностью 1 раз в день (через день). Продолжительность курса 10-30 занятий (1-3 курса).

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА

Проведен анализ результатов хирургического лечения и восстановительного лечения 34 детей (22 мальчика и 12 девочек) в возрасте от 4 до 17 лет с повреждениями шейного, грудного отдела и грудопоясничного перехода позвоночника, сопровождающиеся различной выраженностью неврологического дефицита. Для оценки костных повреждений позвоночника использовали классификацию F. Magerl. Переломы типа A3 встречались у 19 (56%) пациентов и типа C — у 15 (44%) детей. По локализации перелома позвоночника и уровню травматического поражения спинного мозга отмечали повреждения от C5-C6 до Th12-L1 сегментов: повреждение шейного уровня отмечено у 4 пациентов, грудного — 9, поясничного — у 21 пациента. Давность повреждения позвоночника и спинного мозга у пациентов до поступления

в стационар варьировалась от нескольких часов до 18 месяцев от момента повреждения.

У всех пациентов в возрасте от 4 до 17 лет с позвоночно-спинномозговой травмой после выполнения хирургического вмешательства по общепринятым методикам в зависимости от локализации и характера костных повреждений позвоночно-двигательных сегментов осуществляли восстановительное лечение. Все пациенты были прооперированы по поводу позвоночно-спинномозговой травмы в сроки от нескольких часов до 18 месяцев в объеме декомпрессии спинного мозга и стабилизации поврежденного позвоночно-двигательного сегмента.

Всем пациентам с неврологическими нарушениями проводилась гормональная терапия по схеме, рекомендуемой протоколом NASCIS-I. После осуществления оперативного лечения продолжалась начатая во время операции гормональная терапия в течение 48 часов. В ближайшем послеоперационном периоде при условии стабильной гемодинамики проводилась дегидратационная, гемостатическая терапия, назначались сосудистые препараты и нейропротекторы.

В комплексе с двигательной реабилитацией с применением медикаментозной терапии, лечебной физкультуры, массажа конечностей, физиотерапевтического лечения и роботизированной механотерапии, направленных на восстановление утраченных функций поврежденного спинного мозга, проводили неинвазивную чрескожную электрическую стимуляцию спинного мозга с использованием аппаратно-программного комплекса БИОСТИМ-5.

Для оценки неврологических изменений с целью максимальной стандартизации результатов клинического исследования использовали шкалу ASIA, разработанную американской ассоциацией спинальной травмы. Шкала позволяет проводить балльную оценку мышечной силы и чувствительности (тактильная и болевая). После неврологического обследования,

было установлено, что из 34 пациентов: 15 имели исходный уровень неврологических нарушений тип А (синдром полного нарушения проведения импульсов от спинного мозга на грудном уровне), 19 пациентов — тип В по шкале ASIA.

Всем пациентам до и после курса ЧЭССМ проводили нейрофизиологические исследования: электронейромиографию (ЭНМГ), электромиографию, соматосенсорные вызванные потенциалы (ССВП). Пациентами и их родителями заполнялся дневник мочеиспускания.

ЭНМГ исследование проводили на 4-канальном электронейромиографе методом оценки скорости проведения и определения амплитудных показателей сенсорных и моторных ответов при стимуляции большеберцового, малоберцового, икроножного нервов, методом F-волны и Н-рефлекса с двух сторон по стандартной методике (Команцев В. Н., Заболотных В. А., 2001). Для оценки функционального состояния проводящих путей спинного мозга проводили исследование соматосенсорных вызванных потенциалов на стимуляцию большеберцового нерва (ССВП n. tibialis) с обеих сторон с регистрацией потенциалов поясничного утолщения P20-N22, коркового потенциала P38-N46, с учетом амплитуд, абсолютных и межпиковых латентностей ответов.

Все пациенты, проходившие курс ЧЭССМ, дополнительно получали двигательную реабилитацию на механизированных и роботизированных тренажерах. Использовали роботизированную систему «Локомат» (рис. 3) для восстановления функции нижних конечностей и паттерна ходьбы, велотренажер «Тера» (рис. 4), роботизированный механотренажер и имитатор подошвенной опорной нагрузки «Корвит» (рис. 5), пассивную подвесную систему «Экзарта» (рис. 6).

Тренажеры «Тера» и «Локомат» обеспечивали механостимуляцию нижних конечностей в режиме поочередного сгибания-разгибания в тазобедренных, коленных и голеностопных



Рис. 3. Роботизированная система «Локомат»



Рис. 4. Велотренажер Тера

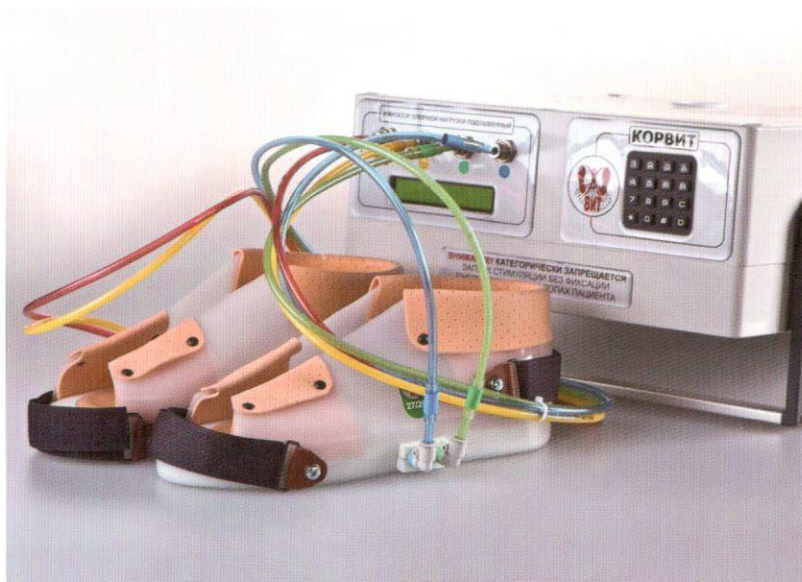


Рис. 5. Имитатор подошвенной опорной нагрузки «Корвит»

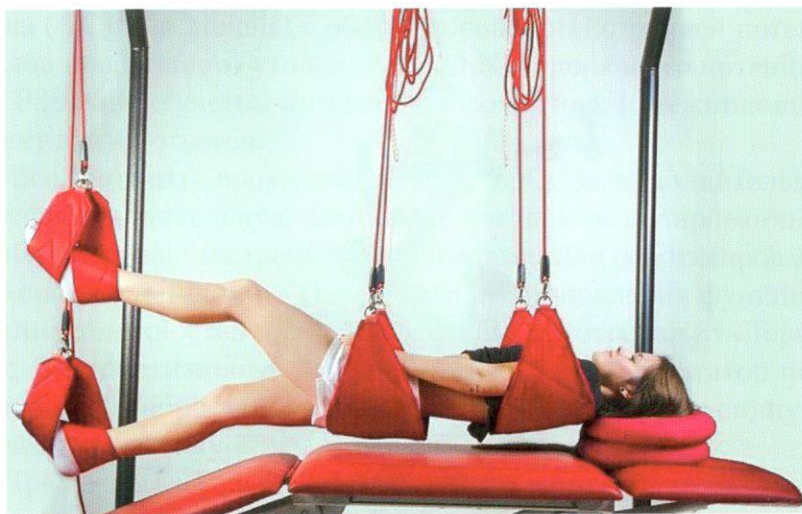


Рис. 6. Пассивная подвесная система «Экзарта»

суставах. Пациентов инструктировали стараться прикладывать усилия в том же направлении, в каком тренажер двигал конечностями. Ранее было установлено, что вибрация сухожилий мышц бедра инициирует у испытуемых в положении лежа на боку с внешней поддержкой ног (в рамах-качелях) произвольные шагательные движения. В нашей клинике мы использовали кинезиотерапевтическую установку «Экзарта» как аналог, позволяющий синхронно со стимуляцией выполнять упражнения в подвешенном состоянии, позиционировать тело и преодолевать влияние гравитации.

При неврологическом осмотре у 11 детей (из разных групп по шкале ASIA) после 5 процедур отмечались изменения функции тазовых органов в виде лучшего ощущения наполнения мочевого пузыря, минимальное урегулирование цикла мочеиспускания, проявляющееся в увеличении объема выделяемой мочи и частоты мочеиспускания. После проведения полного курса стимуляции отмечена положительная динамика в разной степени выраженности у 16 пациентов из 34. Субъективно пациенты отмечали ощущение увеличения мышечной силы и повышение переносимости более тяжелых нагрузок (более сложные задания) во время воздействия электрической стимуляции при выполнении заданий на механотренажерах и кинезиотренажерах. Отмечалось увеличение количества выполняемых упражнений и заданий инструктора лечебной физкультуры (ЛФК), уменьшение интервала между заданиями во время процедуры ЧЭССМ.

Установлены клинически значимые улучшения функции нижних конечностей у 15 пациентов из 34, подтвержденные инструментальными методами исследования и результатом неврологической оценки. У данных пациентов отмечалась положительная динамика после 2-3 курсов ЧЭССМ. Из 19 больных, имевших исходно неврологический уровень тип В по шкале ASIA, у девяти пациентов отмечен переход в тип

С, у шести — в тип D. Четверо больных, исходно имевшие неврологические нарушения типа В, остались в этом же неврологическом статусе. На наш взгляд, такой результат неврологической картины был связан с поздними сроками проведения хирургического вмешательства и, соответственно, восстановительного лечения. Длительный период компрессии спинного мозга и его элементов привел к необратимым их изменениям и не позволил улучшить картину неврологических нарушений. У 15 детей с типом неврологических расстройств А значимой динамики в двигательной сфере не отмечалось. Объясняется это тяжестью и выраженностью повреждения спинного мозга, а также длительностью от момента повреждения. У данной группы детей средние значения двигательных функций соответствовали 50 баллам. Однако в чувствительной сфере отмечался минимальный прирост показателей и в среднем составил 10 баллов по шкале ASIA. По данным ЭМГ, ЭНМГ значимых изменений по сравнению с результатами, выполненными до курса ЧЭССМ, зарегистрировано не было. Анализ ССВП у одного из пациентов с повреждением спинного мозга на грудном уровне выявил положительную динамику в виде появления коркового потенциала P38-N46 при стимуляции n. tibialis справа, что свидетельствует об улучшении проведения соматосенсорной афферентации по проводникам спинного мозга выше поясничного утолщения (рис. 7).

По данным ЭНМГ отмечалось в значительной степени снижение амплитуд М-ответов при стимуляции большеберцового нерва слева (2 мВ), отсутствие сенсорных потенциалов при исследовании сенсорных волокон левой нижней конечности, что указывало на поражение мотонейронов спинного мозга на уровне S1-S2 слева и периферических сенсорных волокон левой нижней конечности. Признаки поражения периферических сенсорных и моторных волокон правой нижней конечности, мотонейронов спинного мозга на уровне поясничного

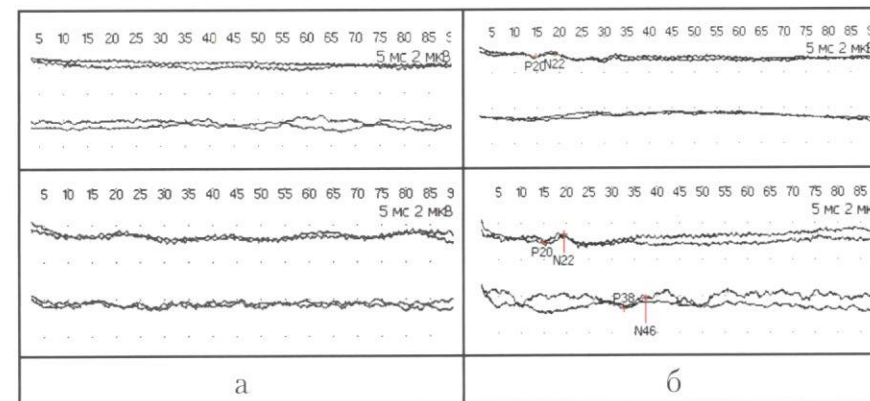


Рис. 7. Соматосенсорные вызванные потенциалы при стимуляции n. tibialis:
а — до проведения курса ЧЭССМ,
б — после проведения курса ЧЭССМ (появление коркового потенциала P38-N46 при стимуляции n. tibialis справа)

утолщения справа отсутствовали. Отмечалось увеличение амплитуды Н-рефлекса справа до 35%, что указывало на снижение супрасегментарного контроля мышечной активности. Исследование ССВП n. tibialis при стимуляции справа показало наличие только потенциала поясничного утолщения P20-N22, а P38-N46 отсутствовал, что свидетельствовало о полном нарушении проведения соматосенсорной афферентации по проводящим путям спинного мозга выше уровня поясничного утолщения. При исследовании ССВП n. tibialis слева P20-N22 не регистрировался, что объяснялось нарушением проведения по сенсорным волокнам на периферическом уровне.

У большинства пациентов по ССВП отмечалась положительная нейрофизиологическая динамика в виде появления нейрофизиологических признаков проведения до мышц-эффекторов на конечностях, ускорения времени моторного проведения, некоторого повышения функциональной активности нейронов.

Одновременно с этим необходимо отметить, что не у всех пациентов положительная динамика или ее отсутствие по ССВП, совпадали с клинической картиной заболевания (неврологический осмотр с использованием шкалы ASIA).

На основании проведенного исследования нами был разработан алгоритм проведения ЧЭССМ у пациентов детского возраста, получивших повреждение спинного мозга (рис. 8).

На первом этапе мероприятий реализации схемы алгоритма проводят оценку тяжести неврологического дефицита с определением типа по шкале ASIA. С учетом этой оценки и в зависимости от характера неврологических нарушений осуществляют отбор пациентов для проведения ЧЭССМ в целом. Затем выполняют оценку уровня повреждения спинного мозга, что позволяет определить оптимальное количество и уровень расположения стимулирующих электродов. Необходимо отметить, что пациентам с изолированным повреждением только элементов конского хвоста проведение ЧЭССМ не показано. Далее проводят дозированный подбор оптимальных параметров силы тока с учетом переносимости процедуры пациентом и его возрастных особенностей (табл. 1, 2).

Полученные положительные результаты в комплексной реабилитации детей с позвоночно-спинномозговой травмой с применением неинвазивной ЧЭССМ позволяют рекомендовать данную методику к использованию в клинической практике и осуществлять ее в ранние сроки после проведенного хирургического вмешательства.

Алгоритм проведения ЧЭССМ у детей с позвоночно-спинномозговой травмой

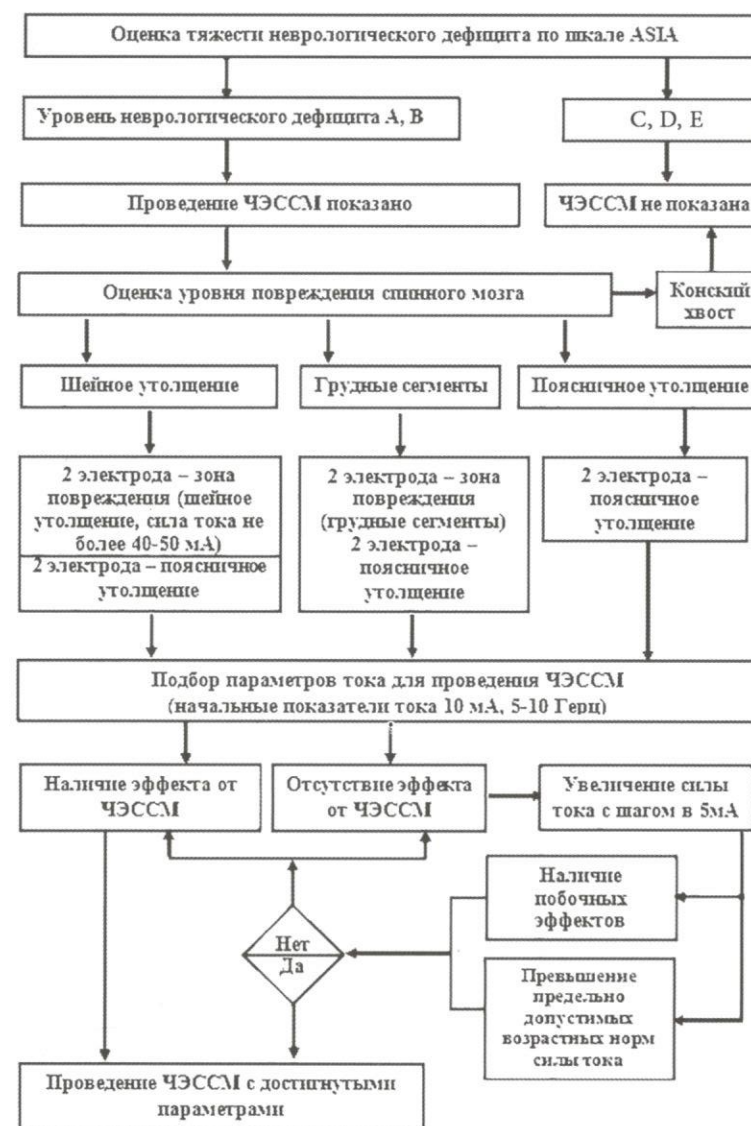


Рис. 8. Алгоритм проведения ЧЭССМ у детей с позвоночно-спинномозговой травмой

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Установлена клиническая эффективность применения метода чрескожной электростимуляции спинного мозга у пациентов детского возраста со спинальной травмой шейного, грудного и поясничного отделов позвоночника.

2. Установлены показания к проведению неинвазивной чрескожной электростимуляции спинного мозга у детей с позвоночно-спинномозговой травмой: тяжесть неврологического дефицита (глубокие парезы, парезы; шкала ASIA — тип A, B); возраст ребенка старше 4 лет; время от момента получения повреждения спинного мозга — через 2 недели после травмы (SCIWORA) или после заживления п/операционной раны; срок начала проведения ЧЭССМ — после заживления п/операционной раны (2 недели).

3. Противопоказанием для проведения ЧЭССМ является: общее тяжелое соматическое состояние пациента, обусловленное травмирующим агентом (кома, повреждение внутренних органов); нарушение целостности кожных покровов в зоне наложения электродов; непереносимость процедуры ребенком (эмоциональная лабильность, сниженный болевой порог); выраженная гиперемия кожных покровов в зоне наложения электродов.

4. При повреждении спинного мозга на уровне шейного утолщения и грудных сегментов показано проведение ЧЭССМ на двух уровнях — в зоне повреждения и на уровне поясничного утолщения; при повреждении спинного мозга на уровне поясничного утолщения показано проведение ЧЭССМ на одном уровне (поясничное утолщение). При повреждении конского хвоста спинного мозга проведение ЧЭССМ не показано.

5. Предельно допустимая сила тока для проведения ЧЭССМ у детей с ПСМТ в возрасте до 7 лет составляет — 40 мА, от 7 до 12 лет — 80 мА, старше 12 лет — 150 мА.

6. Метод ЧЭССМ способствует лучшему и более интенсивному восстановлению неврологических нарушений у пациентов с вертебро-медуллярным конфликтом. Выполнение ЧЭССМ в комплексной терапии с роботизированной механотерапией дает выраженный положительный эффект, что способствует более полноценному восстановлению неврологических нарушений у детей с данной патологией. Восстановление функций даже одного сегмента спинного мозга значительно улучшает социальную адаптацию и качество жизни таких пациентов.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Андрианов В.Л., Баиров Г.А., Садофьева В.И. и др. Заболевания и повреждения позвоночника у детей и подростков. Л., 1985.
2. Баиндурашвили А.Г., Виссарионов С.В., Александрович Ю.С., Пшениснов К.В. Позвоночно-спинномозговая травма у детей // СПб.: Онли-Пресс, 2016. — 88 стр.
3. Баинов А.Н., Кондаков Е.Н. Клинико-статистическая характеристика острой позвоночно-спинномозговой травмы // Хирургия позвоночника. 2010. № 4. С. 15-18.
4. Белова А.Н., Прокопенко С.В. Нейрореабилитация. — 3-е изд., перераб. и доп. — М., 2010. — 1288 с.
5. Белянчиков С.М. Тактика лечения нестабильных и осложненных переломов позвоночника грудной и поясничной локализации у детей: Дис. ... канд. мед. наук. СПб., 2012.
6. Ветрилэ С.Т., Кулешов А.А. Хирургическое лечение переломов грудного и поясничного отделов позвоночника с использованием современных технологий // Хирургия позвоночника. 2004. № 3. С. 33-39.
7. Виссарионов С.В. Хирургическое лечение сегментарной нестабильности грудного и поясничного отделов позвоночника у детей: Дисс....докт. мед. наук. СПб, 2008, С. 130.
8. Виссарионов С.В., Белянчиков С.М. Оперативное лечение детей с осложненными переломами позвонков грудной и поясничной локализации // СПб, Травматология и ортопедия России № 2, 2010. — С. 48-51.
9. Виссарионов С.В., Белянчиков С.М., Солохина И.Ю., Икоева Г.А., Кокушин Д.Н. Характер неврологических нарушений у детей с осложненными повреждениями позвоночника в грудном и поясничном отделах до и после хирургического лечения // Хирургия позвоночника. — 2014. — № 3. — С. 8-21.
10. Виссарионов С.В., Белянчиков С.М., Солохина И.Ю., Кокушин Д.Н. Влияние сроков оперативного лечения детей с позвоночно-спинномозговой травмой на динамику неврологических нарушений // Хирургия позвоночника. — 2015. — Т.12. — № 4. — С.17-24.

11. Виссарионов С.В., Белянчиков С.М., Солохина И.Ю., Кокушин Д.Н. Оценка временного фактора операции на динамику неврологических нарушений у детей с позвоночно-спинномозговой травмой // Успехи современного естествознания — 2015. — № 4. — С.14-18.

12. Виссарионов С.В., Белянчиков С.М., Солохина И.Ю., Икоева Г.А., Кокушин Д.Н. Характер неврологических нарушений у детей с осложненными повреждениями позвоночника в грудном и поясничном отделах до и после хирургического лечения // Хирургия позвоночника. — 2014. — № 3. — С. 8-21.

13. Виссарионов С.В., Залетина А.В., Долженко Н.В., Соловьева К.С. Результаты медико-социального мониторинга пациентов детского возраста после хирургического лечения врожденных и приобретенных заболеваний позвоночника // Успехи современного естествознания — 2015. — № 1 (часть 5). — С. 746-750.

14. Гайдар Б.В., Дулаев А.К., Орлов В.П., Надулич К.А., Терешонок А.В. Хирургическое лечение пациентов с повреждениями позвоночника грудной и поясничной локализаций // Новосибирск, Хирургия позвоночника № 3, 2004. — С. 40-45.

15. Георгиева С.А., Бабиченко И.Е., Пучиньян Д.М. Гомеостаз, травматическая болезнь головного и спинного мозга. Саратов, 1993.

16. Городничев Р.М. и др. Новый способ активации генераторов шагательных движений у человека // Физиология человека. — 2010. — № 6. — С.95.

17. Городничев Р.М., Пивоварова Е.А., Пухов А., Моисеев С.А., Савохин А.А., Мошонкина Т.Р., Щербакова Н.А., Килимник В.А., Селионов В.А., Козловская И.Б., Эджерстон Р., Герасименко Ю.П. Чрескожная электрическая стимуляция спинного мозга: неинвазивный способ активации генераторов шагательных движений у человека // Физиология человека. 2012. Т. 38. № 2. С. 46-56.

18. Гринь А.А. Хирургическое лечение больных с повреждением позвоночника и спинного мозга при сочетанной травме: Дис. ... д-ра мед. наук. М., 2008.

19. Дорощев Ю.Ю., Назаренко Н.В., Ремнев А.Г. и др. Анализ смертности от травм позвоночника и спинного мозга в Алтайском крае в 2000-2011 годах // Неотложные состояния в вертебологии: М-лы науч.-практ. конф. СПб., 2013. С. 52-53.

20. Журавлев С.М., Новиков П.Е., Теодоридис К.А., Декайло В.П. Статистика переломов позвоночника // Проблемы хирургии позвоночника и спинного мозга — Новосибирск, 1996. — С. 129-130.

21. Ипатов А.В., Тарасенко О.Н., Гондуленко Н.А. и др. Инвалидность вследствие позвоночно-спинномозговых травм в Украине в 2012 г. // Неотложные состояния в вертебологии: М-лы науч.-практ. конф. СПб., 2013. С. 72.

22. Команцев В.Н., Заболотных В.А. Методические основы клинической электромиографии. СПб., 2001.

23. Коновалов А.Н., Лихтерман Л.Б., Лившиц А.В., Ярцев В.В. Отраслевая научно-техническая программа «Травма центральной нервной системы» (к ускорению научно-технического прогресса в нейрохирургии) // Вопросы нейрохирургии. 1986. №3. С. 3-8.

24. Коновалов А.Н., Лихтерман Л.Б., Потапов А.А. Нейротравматология. — М., 1994. — 356 с.

25. Корнилов Н.В., Усиков В.Д. Повреждения позвоночника. Тактика хирургического лечения — АВ МОРСАР, СПб, 2000.

26. Крылов В.В. Причины летальных исходов и ошибки диагностики при повреждениях позвоночника и спинного мозга у больных с сочетанной травмой // Нейрохирургия. 2003. №3. С. 17-21.

27. Ларькин И.И., Ларькин В.И. Некоторые аспекты травмы спинного мозга у детей // Хирургия позвоночника. 2005. №4. С. 15-19.

28. Леонтьев М.А. Эпидемиология спинальной травмы и частота полного анатомического повреждения спинного мозга // Актуальные проблемы реабилитации инвалидов. Новокузнецк, 2003. С. 37-38.

29. Лившиц А.В. Хирургия спинного мозга. М., 1990.

30. Луцик А.А., Бондаренко Г.Ю., Булгаков В.Н. и др. Передние декомпрессивно-стабилизирующие операции при осложненной

травме грудного и грудопоясничного отделов позвоночника // Хирургия позвоночника. 2012. №3. С. 8-16.

31. Макаревич С.В. Спондилодез универсальным фиксатором грудного и поясничного отделов позвоночника. — Пособие для врачей — «Юникап», Минск, 2001.

32. Морозов И.Н. Оценка эффективности восстановительного лечения пациентов с позвоночно-спинномозговой травмой // Фундаментальные исследования. 2011. №3. С. 108-113.

33. Мошонкина Т.Р., Мусиенко П.Е., Богачева И.Н., Щербакова Н.А., Никитин О.А., Савохин А.А., Герасименко Ю.П. Регуляция локомоторной активности при помощи эпидуральной и чрескожной стимуляции спинного мозга у животных и человека // Ульяновский медико-биологический журнал. 2012.

34. Рерих В.В. Хирургическая тактика и организация специализированной помощи при неосложненных повреждениях позвоночника: Автореф. дис. ... д-ра мед. наук. Новосибирск, 2009.

35. Ромоданов А.П., Рудяк К.Э. Некоторые проблемы травмы позвоночника и спинного мозга по данным зарубежной литературы // Вопросы нейрохирургии. 1980. №1. С. 56-62.

36. Садофьева В.И. Нормальная рентгеноанатомия костноуставной системы у детей. М., Медицина, 1990.

37. Седлова Н.С., Кислицын Ю.В. Динамика неврологического статуса у пациентов с травмой позвоночника // Неврол. вестн. им. В.М. Бехтерева. 2007. Т. XXXIX, прил. №1. С. 231-232.

38. Ситиц В.П., Виссарионов С.В., Каминский А.В., Череватенко Р.И., Крутелёв Н.А., Белянчиков С.М. Организация оказания этапной медицинской помощи детям с множественной или сочетанной автодорожной травмой в ленинградской помощи // Травматология жэне ортопедия — 2015. — 3-4 (33-34). — С.16-17.

39. Ульрих Э.В., Мушкин А.Ю. Вертебология в терминах, цифрах, рисунках. СПб: ЭЛБИ; 2004. — С. 3-7.

40. Усиков В.Д., Фадеев Е.М. Тактика оперативного лечения позвоночно-спинномозговой травмы грудопоясничного отдела // Поленовские чтения: Тез. докл. конф. СПб., 2005. С. 11.

41. Шаниро К.И., Савельев Л.Н., Эпштейн Г.Г. Социально-медицинские аспекты инвалидности от осложненных переломов позвоночника. Вопросы нейротравм и пограничных состояний. — Л., 1991. — С. 87-93.

42. Шапкова Е.Ю. Вызванная спинальная локомоторная активность у человека: Автореф. дис.... канд. биол. наук. СПб., 2005.

43. Щербук Ю.А., Багненко С.Ф., Дулаев А.К. и др. Организация специализированной медицинской помощи пострадавшим и больным с неотложной хирургической патологией позвоночника в условиях мегаполиса // IX съезд травматологов-ортопедов: Тез. докл. Саратов, 2010. С. 717.

44. Allain J. Anterior spine surgery in recent thoracolumbar fractures: An update. OrthopTraumatolSurg Res. 2011; 97: 541-554.

45. American Spinal Injury Association and International Medical Society of Paraplegia, eds. Reference manual of the international standards for neurological classification of spinal cord injury. Chicago, IL: American Spinal Injury Association, 2003.

46. Cengiz S.L., Kalkan E., Bayir A., et al. Timing of thoracolumbar spine stabilization in trauma patients; impact on neurological outcome and clinical course. A real prospective (rct) randomized controlled study. Arch Orthop Trauma Surg. 2008; 128: 959-966.

47. Chapman J.R., Anderson P.A. Thoracolumbar spine fractures with neurologic deficit // Orthop. Clin.N. Amer. — 1994. — V. 25, N 4. — P. 595-612.

48. DeAngelis J. P., Aubin M., Krompinger W. J. Open fracture dislocation of the thoracic spine: a case report. Spine J. 2007; 7: 491-494.

49. DeVivo M. J. Epidemiology of traumatic spinal cord injury: trends and future implications. Spinal Cord. 2012; 50: 365-372. doi: 10.1038/sc.2011.178.

50. Gerasimenko Y. P., Lu D. C., Modaber M., Zdunowski S., Gad P., Sayenko D. G., Morikawa E., Haakana P., Ferguson A. R., Roy R. R., Edgerton V. R. Noninvasive reactivation of motor descending control after paralysis. J Neurotrauma. 2015; 32: 1968-1980.

51. Haiyun Y., Rui G., Shucai D., et al. Three-column reconstruction through single posterior approach for the treatment of unstable thoracolumbar fracture. Spine. 2010; 35: E295 — E302.

52. E. Jankowska [et al.]. The effect of DOPA on the spinal cord. Acta Physiologica Scandinavica — 1967. — Vol.70 — P.389.

53. Magerl F., Aebi M., Gertzbein S. D. et al. A comprehensive classification of thoracic and lumbar injuries. Eur Spine J. 1994; 3: 184-201.

54. McLain R. F. Functional outcomes after surgery for spinal fractures: return to work and activity. Spine. 2004; 29: 470-477.

55. Meyer P. R. Surgery of the spine trauma. — N. Y., etc.: Churchill Livingstone, 1989. — P. 867.

56. Schnee Ch.L., Ansell L. V. Selection criteria and outcome of operative approaches for thoracolumbar burst fractures with and without neurological deficit // J. Neurosurg. — 1997. — V.86, N1. — P. 42-55.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
Материально-техническое обеспечение метода	8
Показания к использованию метода неинвазивной чрескожной электростимуляции спинного мозга	9
Противопоказания к использованию метода	9
Описание метода.....	10
Эффективность применения метода	14
Заключение	24
Использованная литература.....	26

МЕТОДИКА

неинвазивной чрескожной электрической стимуляции
спинного мозга в комплексной реабилитации детей
с позвоночно-спинномозговой травмой

Пособие для врачей

Подписано в печать 27.03.2018 г. Формат 60х84/16.

Объем 2 п. л. Тираж 300 экз. Заказ 142

Отпечатано в типографии ООО «СПб СРП "Павел" ВОГ»
196620, Санкт-Петербург – Павловск, ул. Березовая, 16/20
Тел. (812) 452-37-58