

Случай из практики

© Баиндурашвили А.Г., Виссарионов С.В., Белянчиков С.М., Картавенко К.А., Солохина И.Ю., Козырев А.С., Пухов А.М., Мошонкина Т.Р., Герасименко Ю.П., 2020

УДК 616.711.5-001.516:616.832-085.84

DOI 10.18019/1028-4427-2020-26-1-79-88

Комплексное лечение пациента с осложненной травмой грудного отдела позвоночника с использованием методики чрескожной электрической стимуляции спинного мозга (клиническое наблюдение)

А.Г. Баиндурашвили¹, С.В. Виссарионов¹, С.М. Белянчиков¹, К.А. Картавенко¹, И.Ю. Солохина¹, А.С. Козырев¹, А.М. Пухов², Т.Р. Мошонкина³, Ю.П. Герасименко³

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-исследовательский детский ортопедический институт им. Г. И. Турнера» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Санкт-Петербург, Россия

²Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Великолукская государственная академия физической культуры и спорта», г. Великие Луки, Россия

³Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт физиологии им. И.П. Павлова» Российской академии наук, г. Санкт-Петербург, Россия

Comprehensive treatment of a patient with complicated thoracic spine injury using percutaneous electrical spinal cord stimulation (case report)

A.G. Baindurashvili¹, S.V. Vissarionov¹, S.M. Belianchikov¹, K.A. Kartavenko¹, I.Yu. Solokhina¹, A.S. Kozыrev¹, A.M. Pukhov², T.R. Moshonkina³, Yu.P. Gerasimenko³

¹The Turner Scientific and Research Institute for Children's Orthopedics, Saint Petersburg, Russian Federation

²The Velikiye Luki State Academy of Physical Culture and Sports, Velikiye Luki, Russian Federation

³Pavlov First St. Petersburg State Medical University, Saint Petersburg, Russian Federation

Цель. Демонстрация результата комплексного лечения подростка с переломо-вывихом в грудном отделе позвоночника, сопровождающимся глубокой нижней параплегией с нарушением функции тазовых органов, с применением неинвазивной чрескожной стимуляции спинного мозга и механической стимуляции опорной поверхности стопы. **Клиническое наблюдение.** Проведено комплексное лечение пациента Г., 17 лет, с сочетанной травмой, полученной во время спортивной тренировки на лыжных роллерах. После травмы ребенок предъявлял жалобы на боли в спине, невозможность активных движений в нижних конечностях и затрудненное дыхание. Отмечал утрату чувствительности нижней части туловища, промежности, нижних конечностей. По шкале ASIA – тип В (оценка двигательных нарушений составляет 50 баллов, чувствительных – 88 баллов суммарно). В первые часы от момента травмы выполнено хирургическое вмешательство, после которого в комплекс реабилитационного лечения включены стимуляции опорной поверхности стоп с использованием имитатора опорной подошвенной нагрузки «Корвит» и чрескожная неинвазивная стимуляция спинного мозга. Через 1 год после операции неврологический статус по шкале ASIA соответствовал уровню D (двигательная функция – 85 баллов, чувствительность восстановилась до 175 баллов). **Заключение.** Проведенное в первые часы от момента повреждения хирургическое лечение пациента с позвоночно-спинномозговой травмой с использованием неинвазивной чрескожной электрической стимуляции спинного мозга и механической стимуляции опорной поверхности стопы обеспечило регресс неврологических нарушений, способствовало более интенсивному восстановлению двигательных функций, раннему восстановлению навыков опоры и ходьбы. Пациент в течение 1 года от момента получения травмы восстановил регуляцию произвольного контроля мышечной активности, самостоятельного стояния и ходьбы с опорой на трость.

Ключевые слова: позвоночно-спинномозговая травма, спинальный стеноз, неинвазивная чрескожная электрическая стимуляция спинного мозга

Objective Demonstrate an outcome of comprehensive treatment of an adolescent with fracture-dislocation of the thoracic spine accompanied by deep lower paraplegia and pelvic floor dysfunction using noninvasive percutaneous spinal cord stimulation and mechanical stimulation of the foot bearing surface. **Case study** Comprehensive treatment was performed for a 17-year-old patient who sustained a combined injury during roller ski training. The patient presented with back pain, breathing difficulty, being unable to perform active movements of lower extremities. He reported loss of sensitivity in the lower part of the body, perineum and lower limbs. The injury was classified as ASIA grade B with motor impairment scored 50 and overall sensory score of 88. Surgical intervention was produced within the first hours after injury and was followed by rehabilitation program including stimulation of the foot bearing surface with Korvit plantar support load simulator and noninvasive percutaneous spinal cord stimulation. Neurologic status of the patients was graded as ASIA level D at one-year follow-up with motor score of 85 and sensory level improved to 175. **Conclusion** Surgical treatment produced for the patient with spinal cord injury within the first hours after trauma using noninvasive percutaneous spinal cord stimulation and mechanical stimulation of the foot bearing surface provided regress of neurological disorders facilitating more intense lower-limb motor recovery and other important gait characteristics. The patient could regain voluntary control of muscle activity, stand unassisted and walk with a cane at one year post-injury.

Keywords: spinal cord injury, spinal stenosis, noninvasive percutaneous spinal cord stimulation

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы прослеживается неуклонный рост количества детей с травматическими повреждениями позвоночника и спинного мозга. В общей структуре травм позвоночного столба у пациентов детского воз-

раста на долю нестабильных и осложненных повреждений приходится не более 2 %. Одновременно с этим в последние годы тяжесть этих переломов становится все более значительной. Согласно анализу статистиче-

Баиндурашвили А.Г., Виссарионов С.В., Белянчиков С.М., Картавенко К.А., Солохина И.Ю., Козырев А.С., Пухов А.М., Мошонкина Т.Р., Герасименко Ю.П. Комплексное лечение пациента с осложненной травмой грудного отдела позвоночника с использованием методики чрескожной электрической стимуляции спинного мозга (клиническое наблюдение) // Гений ортопедии. 2020. Т. 26, № 1. С. 79-88. DOI 10.18019/1028-4427-2020-26-1-79-88

ских данных пациентов детского возраста с позвоночно-спинномозговой травмой в городе Санкт-Петербурге и Ленинградской области, в 2010 году количество пострадавших с нестабильными переломами позвоночника составляло 85,7 %, оставшаяся часть – 14,3 % – приходилась на осложненные повреждения. При этом в 2017 году доля детей с нестабильными переломами составила 67,7 %, а количество пострадавших с повреждениями позвоночника и спинного мозга достигло уже 32,4 %.

Актуальность лечения детей с позвоночно-спинномозговой травмой обусловлена ростом числа пациентов с данным типом переломов, тяжестью и сложностью самого повреждения, а также возможностью возникновения и развития необратимых осложнений. Выживаемость лиц младше 29 лет, получивших позвоночно-спинномозговую травму грудного, грудопоясничного или поясничного уровня, довольно высока и может составлять до 86 % от всех пострадавших данной возрастной категории [1].

Хирургическому лечению пациентов с ПСМТ посвящены многочисленные исследования. В этих исследованиях подтверждается, что проведение вмешательств при повреждениях, сопровождающихся дислокацией позвонков, формированием стеноза позвоночного канала и неврологическим дефицитом, показано в раннем периоде с момента получения травмы [2, 3]. Большинство авторов склонны считать, что на восстановление локомоторной функции у пациентов с позвоночно-спинномозговой травмой влияют сроки

выполненной операции, ее объем, исходная тяжесть неврологического дефицита, полноценность и комплексность реабилитационного лечения [4].

Основными задачами хирургического лечения являются коррекция посттравматической деформации позвоночника во всех плоскостях с обязательной ликвидацией спинального стеноза и сдавления спинного мозга, стабилизация поврежденного позвоночно-двигательного сегмента с минимально допустимой протяженностью металлоконструкции, ранняя активизация пациента, индуцирование восстановления неврологических сегментарных расстройств [5, 6]. В литературе имеются немногочисленные исследования, направленные на изучение восстановления чувствительных и двигательных функций у пациентов детского возраста [7–9].

Несмотря на соблюдение общепринятых принципов и ранних сроков оперативного лечения больных с осложненными повреждениями позвоночника только единичные пациенты с исходно тяжелым неврологическим дефицитом (тип А и В по шкале ASIA) способны восстановить свою функциональную и двигательную активность [7, 8].

Целью работы явилась демонстрация результата комплексного лечения подростка с переломо-вывихом в грудном отделе позвоночника, осложненным глубокой нижней параплегией и нарушением функции тазовых органов с применением в программе реабилитации неинвазивной чрескожной стимуляции спинного мозга и механической стимуляции опорной поверхности стопы.

КЛИНИЧЕСКОЕ НАБЛЮДЕНИЕ

Пациент Г., 17 лет. Получил сочетанную травму во время спортивной тренировки на лыжных роллерах. После падения отмечалась кратковременная потеря сознания, непроизвольный акт мочеиспускания и дефекации. Сразу после травмы, придя в сознание, предъявлял активные жалобы на боли в спине и невозможность активных движений в нижних конечностях, затрудненное дыхание. Отмечал утрату чувствительности нижней части туловища, промежности, нижних конечностей. Бригадой скорой помощи доставлен в одну из центральных районных больниц Ленинградской области, где в течение 3 часов ему оказывали помощь, направленную на компенсацию витальных функций: дренирование правой плевральной полости по Редону, противошоковую, церебропротекторную (цитофлавин, цераксон), гемостатическую (дицинон, викасол, гордокс), антибактериальную (цефтриаксон 2,0 г × 2 р/с, метрогил 500 мг × 2 р/с), инфузионную, гормональную терапию, обезболивание (НПВС, промедол). Через 3 часа от момента травмы в связи с выявлением тяжелого повреждения позвоночника и неврологических нарушений пациент доставлен в ФГБУ «НИДОИ им. Г.И. Турнера» Минздрава России для проведения хирургического лечения.

При поступлении: состояние тяжелое, обусловлено характером и совокупностью полученных повреждений. По правой ключичной линии в проекции 2-го межреберья и по правой средней подмышечной линии в проекции 6-го межреберья установлены плевральные дренажи, центральное венозное русло катетеризировано через правую подключичную вену, отток по катетеру сохранен. Множественные ссадины, гематомы туловища, верхних и нижних конечностей. Пульс симметрич-

ный, 96 ударов в мин., ритмичный, удовлетворительно-го наполнения и напряжения. АД 110/70 мм рт. ст. Тоны сердца звучные, ясные. Экскурсия грудной клетки асимметричная (Sin > Dex), пониженной амплитуды. Аускультативно – дыхание везикулярное, проводится во все отделы легких, ослаблено по всем полям справа. Хрипов нет. Живот незначительно вздут, симметричный, участвует в акте дыхания, мягкий, безболезненно доступен глубокой пальпации во всех отделах. Перистальтика вялая. Диурез по мочевого катетеру, моча светлая, прозрачная, макроскопически – без патологических примесей.

Неврологически: сознание ясное. Ориентирован во времени и пространстве. Глазные щели – D = S. Зрачки – OD = OS = 2,0 мм с живой и симметричной фото-реакцией на свет. Горизонтальный мелкокоразмашистый нистагм в крайних отведениях. Лицо симметричное, язык по средней линии. Глотание и фонация не нарушены. Активные движения в верхних конечностях в полном объеме, мышечная сила достаточная. Сухожильные рефлексы живые, равные. В нижних конечностях произвольные движения отсутствуют, сухожильные рефлексы не вызываются. Мышечный тонус верхних конечностей удовлетворительный, симметричный, в нижних – снижен до атонии. Отмечается нарушение глубокой и поверхностной чувствительности с уровня сегментов Th4-5. Брюшные рефлексы не вызываются. Перианальные рефлексы сохранены. Sph. ani не зияет. Менингеальных знаков нет. Функция тазовых органов нарушена. По шкале ASIA – тип В (оценка двигательных нарушений составляет 50 баллов, чувствительных – 88 баллов суммарно) (рис. 1).

ASIA
STANDARD NEUROLOGICAL CLASSIFICATION OF SPINAL CORD INJURY

MOTOR
KEY MUSCLES

	R	L
C2		
C3		
C4		
C5	5	5
C6	5	5
C7	5	5
C8	5	5
T1		5
T2		
T3		
T4		
T5		
T6		
T7		
T8		
T9		
T10		
T11		
T12		
L1		
L2	0	0
L3	0	0
L4	0	0
L5	0	0
S1	0	0
S2		
S3		
S4-5		

0 = total paralysis
1 = palpable or visible contraction
2 = active movement, gravity eliminated
3 = active movement, against gravity
4 = active movement, against some resistance
5 = active movement, against full resistance
NT = not testable

☐ Voluntary anal contraction (Yes/No)
☐ Any anal sensation (Yes/No)

TOTALS: R=50, L=50 → **MOTOR SCORE = 50**
(MAXIMUM) (50) (50) (100)

SENSORY
KEY SENSORY POINTS

	R	L
C2	2	2
C3	2	2
C4	2	2
C5	2	2
C6	2	2
C7	2	2
C8	2	2
T1	2	2
T2	2	2
T3	2	2
T4	0	0
T5	0	0
T6	0	0
T7	0	0
T8	0	0
T9	0	0
T10	0	0
T11	0	0
T12	0	0
L1	0	0
L2	0	0
L3	0	0
L4	0	0
L5	0	0
S1	0	0
S2	0	0
S3	0	0
S4-5	0	0

0 = absent
1 = impaired
2 = normal
NT = not testable

☐ Any anal sensation (Yes/No)

TOTALS: R=48, L=48 → **PIN PRICK SCORE = 48**
(MAXIMUM) (56) (56) (56) (56)

TOTALS: R=40, L=40 → **LIGHT TOUCH SCORE = 40**
(MAXIMUM) (56) (56) (56) (56)

NEUROLOGICAL LEVEL
The most caudal segment with normal function

SENSORY: R=Th5, L=Th5
 MOTOR: R=Th5, L=Th5

COMPLETE OR INCOMPLETE? ☐ I

Incomplete = Any sensory or motor function in S4-S5

ASIA IMPAIRMENT SCALE ☐ B

This form may be copied freely but should not be altered without permission from the American Spinal Injury Association. 2000 Rev.

Рис. 1. Регистрационная карта неврологических нарушений пациента Г., 17 лет, по шкале ASIA, после травмы

Лабораторно – компенсирован. ЭКГ без патологии. УЗИ органов брюшной полости, почек – арефлекторный мочевого пузыря.

Заключение рентгенографии и МСКТ позвоночника от 21.07.2017 г.: картина перелома-вывиха Th5-6 позвонков (тип С по АО) со стенозом позвоночного канала, ушиба легких, с признаками разрыва в проекции нижней доли справа, двустороннего «малого» гемоторакса, перелома правой ключицы, правой лопатки, поперечных отростков Th3-Th8 позвонков слева (рис. 2).



Рис. 2. КТ позвоночника: визуализируется перелома-вывих Th5-Th6 позвонков: а – сагиттальная плоскость; б – аксиальная плоскость

Проведено МРТ-исследование головного мозга, шейного, грудного и пояснично-крестцового отделов

позвоночника и спинного мозга. МР-признаков ушиба, отека вещества мозга не выявлено.



Рис. 3. МР-томограммы позвоночника: визуализируется перелома-вывих Th5-Th6 позвонков, ушиб спинного мозга: а – сагиттальная плоскость; б – аксиальная плоскость

После клинко-неврологического, лабораторного, функционального и лучевого обследования установлен окончательный диагноз: тяжелая сочетанная позвоночно-спинномозговая травма. ЗЧМТ. Сотрясение головного мозга. Закрытый перелома-вывих на уровне Th5-Th6 позвонков (тип С по АО). Перелом поперечных отростков позвонков Th2-Th8 слева. Стеноз позвоночного канала на уровне Th5-Th6. Ушиб спинного мозга. Нижняя параплегия с нарушением функции тазовых органов, арефлекторный мочевого пузыря.

Правосторонний гемопневмоторакс, состояние после дренирования. Ушиб правого легкого. Закрытый перелом правой ключицы без смещения.

21–22.07.2017 г. в срочном порядке выполнено хирургическое вмешательство: ликвидация стеноза позвоночного канала с циркулярной декомпрессией спинного мозга на уровне Th5–Th6 позвонков. Коррекция и стабилизация травматической деформации позвоночника многоопорной транспедикулярной металлоконструкцией. Задний локальный спондилодез аутокостью, корпорорез. ПХО ушибленных ран тела, верхних и нижних конечностей.

Особенности проведения хирургического вмешательства: разрез кожи по линии остистых отростков от Th2 до Th10, определяется выраженная субпонеуротическая гематома на уровне грудного отдела позвоночника на всем протяжении доступа. Выявлено повреждение дорсальных костных структур позвонков Th5–Th6 со смещением дуги позвонка Th5 в просвет позвоночного канала. Дуральный мешок компремирован дугой позвонка Th5, пульсацию не передает. Определяются переломы левых поперечных отростков Th2–Th8 позвонков, повреждение реберно-позвоночного сочленения позвонка Th6 слева. Выполнена реконструкция позвоночного канала на уровне позвонков Th5–Th6 и циркулярная декомпрессия спинного мозга. Удален поврежденный диск на этом уровне и частично резецированы тела позвонков, вызывающие стеноз канала и компримирующие дуральный мешок. Восстановлено физиологическое положение дурального мешка, последний не поврежден, появилась его отчетливая пульсация. В тела позвонков Th3, Th4, Th7, Th8, Th9 с обеих сторон и в тело позвонка Th6 справа установлены транспедикулярные винты. Устранена посттравматическая деформация позвоночника и все виды дислокационных смещений позвонков посредством сегментарной коррекции. После проведенной коррекции между сохранившимися частями тел Th5–Th6 позвонков после их частичной резекции сформировали корпорорез. Выполнен задний локальный спондилодез аутокостью (рис. 4). Установлена дренажная система “Uno-Vac”.

Ключица и правый плечевой сустав иммобилизованы повязкой Дезо.

После операции глубина неврологического дефицита сохранялась на уровне типа В по ASIA.

В послеоперационном периоде пациенту проводили ИВЛ в течение первых 12 часов после вмешательства, инфузионно-трансфузионную терапию в режиме нормогидратации коллоидно-кристаллоидными растворами, препаратами альбумина, плазмы, крови, по протоколу NASCIS-3 [12], стабилизацию и поддержание перфузионного давления спинного мозга (дофамин 5 мкг/кг в минуту 3 дня), а также профилактику тромбоэмболических осложнений. Также был назначен метилпреднизолон 5 мг/кг в течение 3 дней.

Со 2 суток после хирургического вмешательства ребенку начат курс стимуляции опорной поверхности стоп с использованием имитатора опорной подошвенной нагрузки «Корвит». Всего на протяжении острого послеоперационного периода проведено 10 процедур.

С 4-х суток на фоне восстановленной опороспособности позвоночника в комплекс лечения включена активная двигательная реабилитация с проведением

дыхательной гимнастики (до 8-ми раз в день), массажа воротниковой области, верхних и нижних конечностей, ягодичной области, ЛФК с адаптацией к вертикальной нагрузке на наклонной плоскости, укладкой нижних конечностей, Экзарта-терапия (рис. 5).

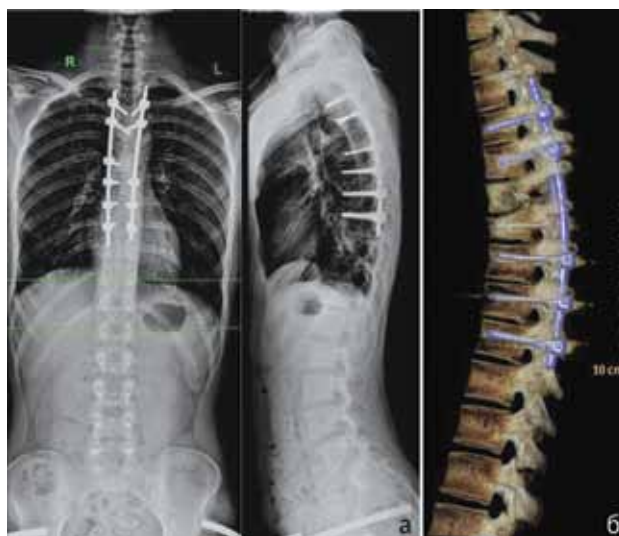


Рис. 4. Спондилограммы в 2-х проекциях (а) и КТ-3D-реконструкция (б) позвоночного столба пациента после операции



Рис. 5. Кинезиологическая установка Экзарта

С 8-х суток после хирургического вмешательства начат курс неинвазивной стимуляции спинного мозга. Два стимулирующих электрода (катоды) фиксировали между остистыми отростками позвонков Th11–Th12 и L1–L2 (круглые электроды с адгезивным слоем, диаметром около 3 см, BF-4, LEAD-LOC Inc., США). Индифферентные электроды (аноды) располагали симметрично над гребнями подвздошных костей (овальные электроды с адгезивным слоем, протяженностью около 10 см по длинной оси). Частота стимуляции составила от 5 до 30 Гц, интенсивность тока подбирали в процессе каждой процедуры в зависимости от ощущений пациента либо появления двигательной активности в нижних конечностях. Интенсивность тока варьировала в пределах от 20 до 90 мА, амплитуду тока увеличивали постепенно, в процессе каждой процедуры. Длительность процедуры составляла 30 минут 1 раз в день, курс стимуляции осуществляли на протяжении 10 суток.

На фоне проводимого комплексного восстановительного лечения на 14 сутки после операции была

отмечена положительная неврологическая динамика в виде улучшения чувствительности и появления ее с уровня Th6-7 сегментов, отмечались видимые сокращения мышц бедер.

На 20 сутки отмечена положительная динамика в виде появления чувствительности в нижних конечностях (по мозаичному типу, с зонами гиперестезий). Первоначально начали восстанавливаться поверхностные виды чувствительности (болевая, температурная, тактильная), затем отмечали восстановление проприоцептивной чувствительности. С каждым последующим днем зона восстановления чувствительности расширялась.

На 21 сутки после операции на фоне комплексного реабилитационного лечения появились движения в коленном, тазобедренном и голеностопном суставах, а также в дистальных сегментах стоп (тыльная флексия, движения пальцев). Начала прослеживаться возможность сгибания и разгибания в коленных суставах, кратковременное удержание на поверхности нижних конечностей в согнутом положении в коленном и тазобедренном суставах.

Через 30 дней после оперативного лечения пациент имел уровень неврологического дефицита типа С по шкале ASIA (двигательная функция 70 баллов, чувствительность – 130 баллов). В этот же период отмечалась положительная динамика в виде увеличения мышечной силы в проксимальных отделах нижних конечностей до 2 баллов, появилось чувство наполнения мочевого пузыря, частичный контроль мочеиспускания и дефекации.

На протяжении последующих 4 месяцев пациент постоянно ежедневно занимался самостоятельно, выполняя индивидуальные комплексы лечебной физкультуры по 1,5–2 часа в день, адаптировался к положению сидя, постепенно увеличивая время нахождения в этом положении на 5–10 минут ежедневно, получал курсы массажа конечностей и спины, проводилась вертикализация в ортезе, фиксирующем коленные и тазобедренные суставы.

Через 6 месяцев после операции пациент начал ходить самостоятельно с помощью дополнительных приспособлений.

Амбулаторное наблюдение проводили 1 раз в 3 месяца. Через 1 год неврологический статус по шкале ASIA соответствовал уровню D (двигательная функция 85 баллов, чувствительность – 175 баллов (91 + 84)) (рис. 6).

На рисунке 7 представлены фотоматериалы, показывающие этапы восстановления двигательной активно-

сти данного пациента. Через 30 дней после выполнения операции, проведения курса электрической стимуляции спинного мозга (10 процедур) и механической ритмической стимуляции опорной поверхности стопы (14 процедур), имитирующей условия ходьбы, пациент был способен выполнять произвольные движения в коленном и голеностопном суставах в положении лежа на спине (а). Следующий этап был связан с вертикализацией и восстановлением самостоятельного стояния (б). Затем пациент при стоянии с внешней поддержкой восстановил способность инициировать шагательные движения небольшой амплитуды. При стоянии пациент переносил центр тяжести на одну ногу и после этого делал короткий шаг другой ногой, потом опять переходил к стоянию. Движение противоположной ноги осуществлялось аналогичным образом (в). Через 6 месяцев после операции пациент мог идти по ровной поверхности с тростью, опираясь второй рукой на руку методиста (г). На заключительном этапе (1 год после операции) пациент выполнял хорошо координированные шагательные движения по ровной поверхности с тростью в одной руке (д).

Результаты нейрофизиологического тестирования на заключительном этапе лечения показали, что ходьба на движущемся тредбане с опорой руками на брусья сопровождалась хорошо координированной ритмической ЭМГ-активностью в мышцах нижних конечностей. Электрическая неинвазивная стимуляция с частотой 30 Гц на уровне Th11-Th12 улучшала выполнение шагательных движений (рис. 8). Так, в левой ноге траектория движения конечной точки (движение маркера на большом пальце ноги) без стимуляции составляла 0,98 м (амплитуда 47 мм), тогда как при стимуляции спинного мозга эти значения увеличивались соответственно до 1,02 мм и 50 мм. В правой ноге траектория движения конечной точки до стимуляции составляла 1 м (амплитуда 60 мм), а при стимуляции 1,02 и 68 мм соответственно. Гистограммы, представленные на рисунке 8 в и г, показывают величины угловых перемещений в тазобедренном, коленном и голеностопном суставах правой и левой конечности при выполнении шагательных движений. Согласно этим данным, при стимуляции спинного мозга наблюдается тенденция к увеличению амплитуды движений в коленном суставе левой ноги и к уменьшению амплитуды движений в коленном суставе правой ноги (в, г).

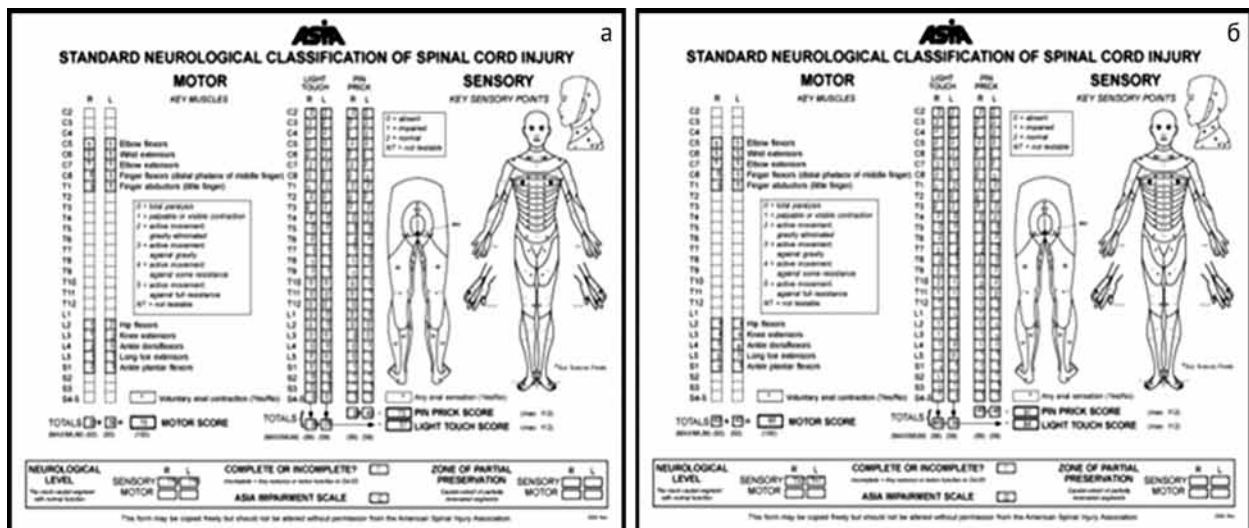


Рис. 6. Динамика восстановления неврологического статуса пациента в течение 1 года по шкале ASIA: а – через 6 месяцев, б – через 1 год



Рис. 7. Этапы восстановления двигательной активности у пациента Г, 17 лет. Произвольные движения ног в положении лежа на спине (а), стояние в вертикализаторе (б), инициация первых шагов (в), ходьба с тростью и поддержкой методиста (г), хорошо координированная ходьба с тростью (д)

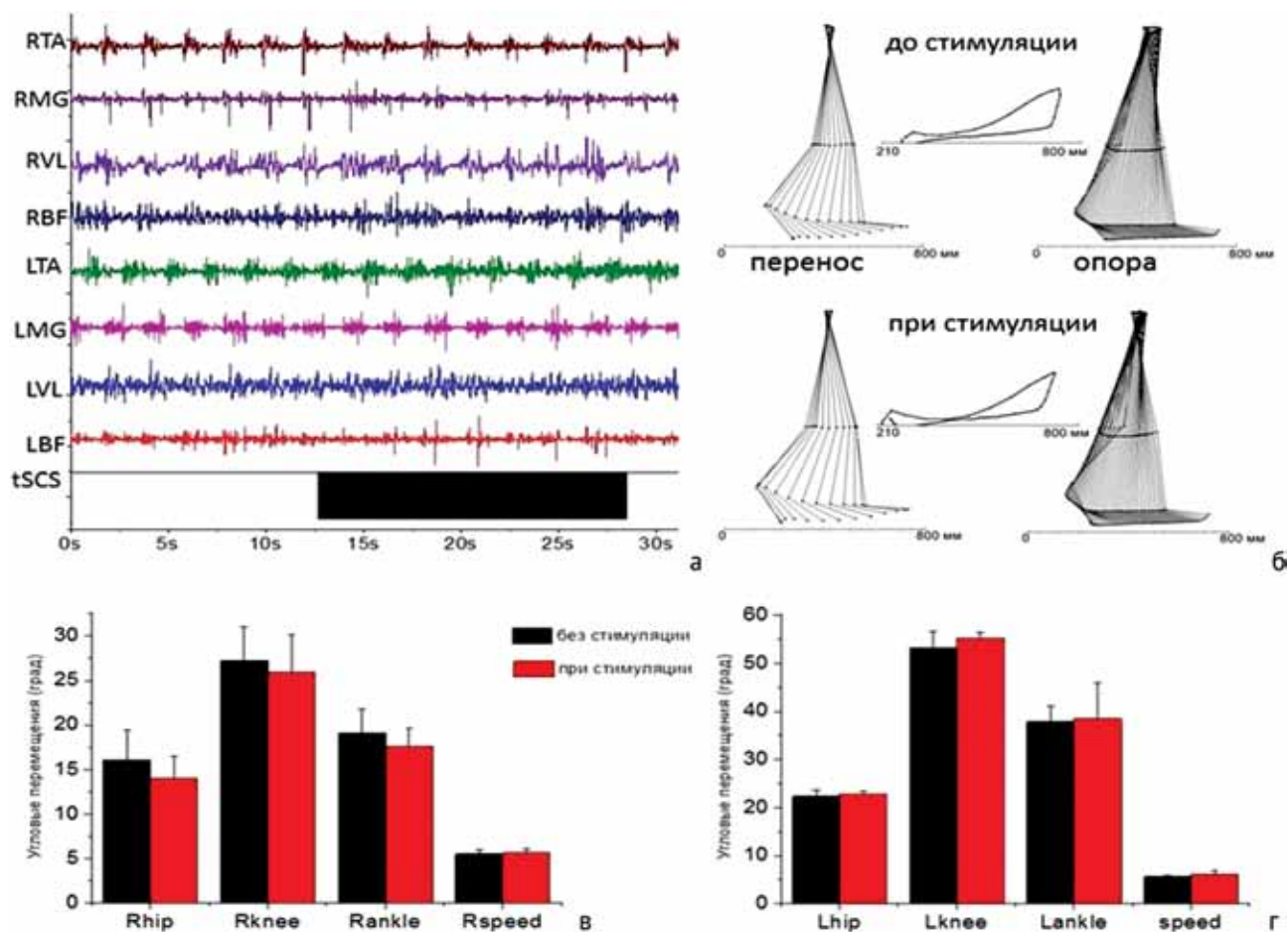


Рис. 8. Электромиографические и кинематические характеристики выполнения шагательных движений на движущемся тредбане без стимуляции и при электрической стимуляции спинного мозга: а – ЭМГ-активность мышц нижних конечностей: RTA (правая tibialis anterior), RMG (правая medial gastrocnemius), RVL (правая vastus lateralis), RBF (правая biceps femoris), LTA (левая tibialis anterior), LMG (левая medial gastrocnemius), LVL (левая vastus lateralis), LBF (левая biceps femoris), tSCS (стимуляция спинного мозга); б – реконструкция шагательного цикла до и при стимуляции спинного мозга; в и г – гистограммы угловых перемещений в тазобедренном (hip), коленном (knee) и голеностопном (ankle) суставах при выполнении шагательных движений. Speed – скорость траектории конечной точки

При выполнении шагательных движений по ровной поверхности эффект стимуляции спинного мозга был выражен достаточно четко. Стимуляция спинного мозга укорачивала шагательный цикл и увеличивала частоту шагания (рис. 9). Если траектория движений конечной точки в правой ноге без стимуляции составляла 0,94 м, то при стимуляции спинного моз-

га – 0,79 м. В левой ноге эти значения были соответственно 0,87 м (без стимуляции) и 0,69 м (при стимуляции). Согласно данным угловых перемещений в отдельных суставах, укорочение шагательного цикла при стимуляции спинного мозга связано, главным образом, с уменьшением амплитуды движений в голеностопном суставе (рис. 9, в, г).

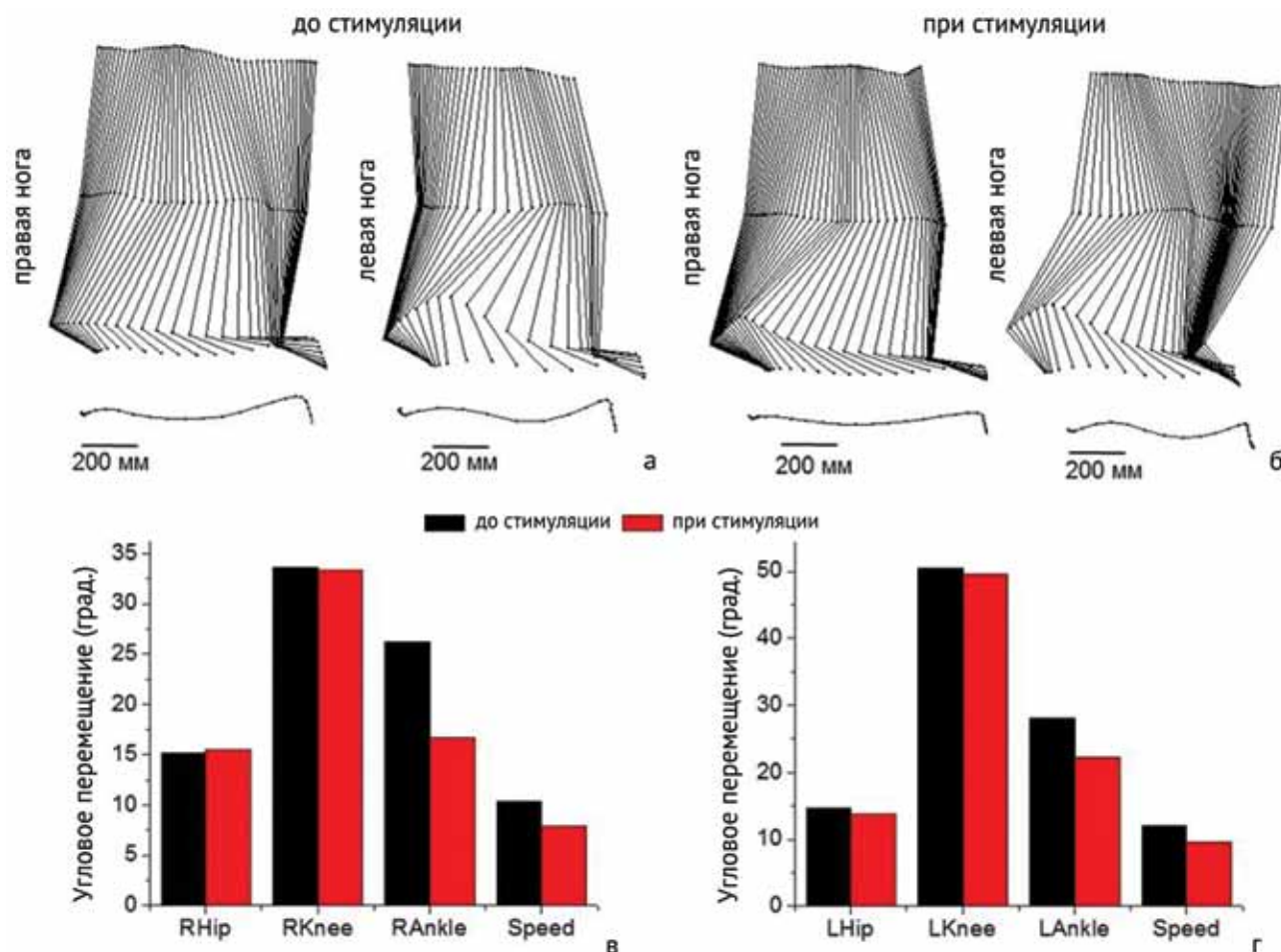


Рис. 9. Кинематические характеристики шагательных движений по ровной поверхности при электрической стимуляции спинного мозга. Реконструкция шагательного цикла правой и левой ноги до (а, б) и при стимуляции (в, г) спинного мозга

ОБСУЖДЕНИЕ

Проблеме лечения детей с позвоночно-спинномозговой травмой посвящены немногочисленные исследования. В большинстве из них разбираются основные подходы и принципы хирургического лечения данной категории пациентов [13, 14]. В этих работах результат восстановления чувствительной и двигательной функции конечностей в основном рассматривается с точки зрения сроков проведенного вмешательства, прошедшего от момента травмы, а также варианта хирургического подхода и полноценности объема самой операции [15–17]. В настоящее время не вызывает сомнения, что хирургическое лечение пациенту с позвоночно-спинномозговой травмой должно быть выполнено в первые часы с момента повреждения.

Однако на восстановление активной локомоторной функции пострадавших влияние оказывает не только ликвидированный вертебро-медуллярный конфликт, но и исходная степень и уровень повреждения спинного мозга [18]. Реабилитационное лечение у соматически

стабильных больных начинается сразу после операции и направлено на терапию тяжести повреждения спинного мозга, при этом модулируют физиологическое состояние позвоночника, основываясь на трех основных принципах: 1) модулируют нейронные цепи, придавая туловищу и конечностям физиологическое положение, дополняя пассивной реабилитацией на сегментах конечностей; 2) осуществляют фармакологическую модуляцию нейронных цепей; 3) модулируют физиологические функции спинного мозга методом электрической стимуляции (функциональной, чрескожной, эпидуральной) [19].

Роль неинвазивной электростимуляции спинного мозга в доступной нам литературе рассматривают лишь как меру обеспечения локомоторной функции сегментов конечностей у пациентов, перенесших спинномозговое повреждение, в отдаленном восстановительном периоде лечения [20–24]. Результаты данных работ достоверно подтверждают положительное влияние электрического

воздействия на исследуемые параметры (транзиторное и стойкое улучшение локомоции и чувствительных сфер, мышечной силы и т.д.) [25–27].

В доступной литературе мы не встретили исследований, посвященных вопросам реабилитационного лечения в раннем послеоперационном периоде, и оценки динамики восстановления функций движения и опоры у пациентов детского возраста [15, 22, 28–30].

В ходе проведенного исследования выполненное в первые часы от момента повреждения оперативное вмешательство явилось основой успеха в последующем восстановительном лечении ребенка. Применение и использование методов реабилитационной терапии (чрескожная электрическая стимуляция спинного мозга и механическая стимуляция опорной поверхности стопы) способствовали более интенсивному и полноценному этапному восстановлению чувствительной и двигательной активности.

Согласно нашим данным, у большинства детей с осложненной травмой позвоночника, особенно грудного

отдела, сопровождающейся клиническим проявлениями неврологических нарушений типа А и В по шкале ASIA, как правило, после проведенного хирургического лечения и реабилитации восстановление двигательной активности не происходит. В лучшем случае у этой категории пациентов все успехи на фоне терапии сводятся к улучшению чувствительности и контролю функции тазовых органов. Кроме того, следует подчеркнуть, что даже на такую незначительную положительную динамику в клинической картине у данной категории больных требуются годы. В представленном клиническом наблюдении у ребенка с позвоночно-спинномозговой травмой грудного отдела после своевременного хирургического лечения и комплексной полноценной терапии с использованием неинвазивных методов восстановления функции спинного мозга удалось добиться значительной положительной динамики. Ребенок встал на ноги через 6 месяцев после получения травмы, а восстановление неврологических нарушений типа В по шкале ASIA через 1 год достигло уровня типа D.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, проведенное в первые часы от момента повреждения хирургическое лечение пациента с позвоночно-спинномозговой травмой при комплексной ранней реабилитации с использованием нового метода неинвазивной чрескожной электрической стимуляции спинного мозга и механической стимуляции опорной поверхности стопы, имитирующей условия нагрузки на опорно-двигательный

аппарат при ходьбе, позволило обеспечить регресс неврологических нарушений, способствовало более интенсивному восстановлению двигательных функций, раннему восстановлению навыков опоры и ходьбы. Пациент в течение 1 года от момента травмы восстановил регуляцию произвольного контроля мышечной активности, самостоятельного стояния и ходьбы с опорой на трость.

ЛИТЕРАТУРА

1. Повреждения позвоночника и спинного мозга у детского населения / А.В. Залетина, С.В. Виссарионов, А.Г. Баиндурашвили, Д.Н. Кокушин, К.С. Соловьева // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2017. № 12-1. С. 69-73.
2. Совершенствование организации оказания неотложной специализированной хирургической помощи пациентам с травматическими и нетравматическими поражениями позвоночника в условиях мегаполиса / А.К. Дулаев, В.А. Мануковский, Д.И. Кутянов, Ю.Ю. Булахтин, С.Л. Брижань, П.В. Желнов // Вестник хирургии им. И.И. Грекова. 2017. Т. 176, № 4. С. 39-43.
3. The value of CT and MRI in the classification and surgical decision-making among spine surgeons in thoracolumbar spinal injuries / S. Rajasekaran, A.R. Vaccaro, R.M. Kanna, G.D. Schroeder, F.C. Oner, L. Vialle, J. Chapman, M. Dvorak, M. Fehlings, A.P. Shetty, K. Schnake, A. Maheshwaran, F. Kandziora // Eur. Spine J. 2017. Vol. 26, No 5. P. 1463-1469. DOI: 10.1007/s00586-016-4623-0.
4. Роботизированные технологии в реабилитации больных после хирургической реваскуляризации мозга / В.Д. Даминов, С.С. Кучеренко, Ю.Ю. Сагильдина, А.Н. Кузнецов // Вестник восстановительной медицины. 2012. № 2 (48). С. 29-31.
5. Thoracolumbar burst fractures: a systematic review of management / K. Alpantaki, A. Bano, D. Pasku, A.F. Mavrogenis, P.J. Papagelopoulos, G.S. Sapkas, D.S. Korres, P. Katonis // Orthopedics. 2010. Vol. 33, No 6. P. 422-429. DOI: 10.3928/01477447-20100429-24.
6. Single-stage posterior vertebral column resection and internal fixation for old fracture-dislocations of thoracolumbar spine: a case series and systematic review / H.Z. Tang, H. Xu, X.D. Yao, S.Q. Lin // Eur. Spine J. 2016. Vol. 25, No 8. P. 2497-2513. DOI: 10.1007/s00586-015-3955-5.
7. Позвоночно-спинномозговая травма у детей / А.Г. Баиндурашвили, С.В. Виссарионов, Ю.С. Александрович, К.В. Пшениснв. СПб. : Онли-Пресс, 2016. 88 с.
8. Неврологические нарушения у детей с осложненными повреждениями позвоночника в грудном и поясничном отделах до и после хирургического лечения / С.В. Виссарионов, С.М. Белянчиков, И.Ю. Солохина, Г.А. Икоева, Д.Н. Кокушин // Хирургия позвоночника. 2014. № 3. С. 8-21. DOI:10.14531/ss2014.3.8-21.
9. Анализ влияния различных факторов на динамику неврологических нарушений у детей с позвоночно-спинномозговой травмой / А.Г. Баиндурашвили, И.Ю. Солохина, Д.Н. Кокушин, С.М. Белянчиков // Ортопедия, Травматология и Восстановительная Хирургия Детского Взраста. 2015. Том 3, № 4. С. 12-21. URL: <https://journals.eco-vector.com/turner/article/view/961>. DOI: 10.17816/PTORS3412-21.
10. Page B.J. Thoracic Spine Fractures and Dislocations / Poduval M., Chief Ed. Medscape. 2018. URL: <https://emedicine.medscape.com/article/1267029-overview>.
11. Smith W.D., Ghazarian N., Christian G. Acute and Hyper-acute Thoracolumbar Corpectomy for Traumatic Burst Fractures Using a Mini-open Lateral Approach // Spine. 2018. Vol. 43, No 2. P. E118-E124. DOI: 10.1097/BRS.0000000000002244.
12. Administration of methylprednisolone for 24 or 48 hours or tirilazad mesylate for 48 hours in the treatment of acute spinal cord injury. Results of the Third National Acute Spinal Cord Injury Randomized Controlled Trial. National Acute Spinal Cord Injury Study // M.B. Bracken, M.J. Shepard, T.R. Holford, L. Leo-Summers, E.F. Aldrich, M. Fazl, M. Fehlings, D.L. Herr, P.W. Hitchon, L.F. Marshall, R.P. Nockels, V. Pascale, P.L. Perot Jr., J. Piepmeyer, V.K. Sonntag, F. Wagner, J.E. Wilberger, H.R. Winn, W. Young // JAMA. 1997. Vol. 277, No 20. P. 1597-1604. DOI: 10.1001/jama.277.20.1597.
13. Epidemiology and Management of Spinal Trauma in Children and Adolescents <18 Years Old / A. Falavigna, O. Righesso, P. Guarise da Silva, F.A. Sanchez Chavez, E. Sfreddo, L. Pelegrini de Almeida, M.J. Valencia Carrasco, A.F. Joaquim // World Neurosurg. 2018. Vol. 110. P. e479-e483. DOI: 10.1016/j.wneu.2017.11.021.
14. Donenberg J.G., Fetters L., Johnson R. The effects of locomotor training in children with spinal cord injury: a systematic review // Dev. Neurorehabil. 2019. Vol. 22, No 4. P. 272-287. DOI: 10.1080/17518423.2018.1487474.
15. Incidence of traumatic spinal cord injury worldwide: a systematic review / S.B. Jazayeri, S. Beygi, F. Shokrane, E.M. Hagen, V. Rahimi-Movaghar // Eur. Spine J. 2015. Vol. 24, No 5. P. 905-918. DOI: 10.1007/s00586-014-3424-6.
16. The Importance of Early Surgical Decompression for Acute Traumatic Spinal Cord Injury / D.Y. Lee, Y.J. Park, S.Y. Song, S.C. Hwang, K.T. Kim, D.H. Kim // Clin. Orthop. Surg. 2018. Vol. 10, No 4. P. 448-454. DOI: 10.4055/cios.2018.10.4.448.

17. Anatomic conditions for bypass surgery between rostral (T7-T9) and caudal (L2, L4, S1) ventral roots to treat paralysis after spinal cord injury / H. Bendella, S. Rink, A. Wöhler, J. Feiser, A. Wilden, M. Grosheva, H.J. Stoffels, C. Meyer, M. Manthou, M. Nakamura, D.N. Angelov // *Ann. Anat.* 2019. Vol. 222. P. 139-145. DOI: 10.1016/j.aanat.2018.12.008.
18. Recovery from a spinal cord injury: significance of compensation, neural plasticity, and repair // A. Curt, H.J. Van Hedel, D. Klaus, V. Dietz; EM-SCI Study Group // *J. Neurotrauma*. 2008. Vol. 25, No 6. P. 677-685. DOI: 10.1089/neu.2007.0468.
19. Bedi P.K., Arumugam N., Chhabra H.S. Effectiveness of activity-based therapy in comparison with surface spinal stimulation in people with traumatic incomplete spinal cord injury for activation of central pattern generator for locomotion: Study Protocol for a 24-week Randomized Controlled Trial // *Asian Spine J.* 2018. Vol. 12, No 3. P. 503-510. DOI: 10.4184/asj.2018.12.3.503.
20. Targeted neurotechnology restores walking in humans with spinal cord injury / F.B. Wagner, J.B. Mignardot, C.G. Le Goff-Mignardot, R. Demesmaeker, S. Komi, M. Capogrosso, A. Rowald, I. Seáñez, M. Caban, E. Pirondini, M. Vat, L.A. McCracken, R. Heimgartner, I. Fodor, A. Watrin, P. Seguin, E. Paoles, K. Van Den Keybus, G. Eberle, B. Schurch, E. Pralong, F. Becce, N. Buse, R. Buschman, E. Neufeld, N. Kuster, S. Carda, J. von Zitzewitz, V. Delattre, J. Prior, T. Denison, H. Lambert, K. Minassian, J. Bloch, G. Courtine // *Nature*. 2018. Vol. 563, No 7729. P. 65-71. DOI: 10.1038/s41586-018-0649-2.
21. Spinal rhythm generation by step-induced feedback and transcutaneous posterior root stimulation in complete spinal cord-injured individuals / K. Minassian, U.S. Hofstoetter, S.M. Danner, W. Mayr, J.A. Bruce, W.B. McKay, K.E. Tansey // *Neurorehabil. Neural Repair*. 2016. Vol. 30, No 3. P. 233-243. DOI: 10.1177/1545968315591706.
22. Noninvasive Spinal Cord Stimulation: Technical Aspects and Therapeutic Applications / R. Nardone, Y. Höller, A. Taylor, A. Thomschewski, A. Orioli, V. Frey, E. Trinka, F. Brigo // *Neuromodulation*. 2015. Vol. 18, No 7. P. 580-591. DOI: 10.1111/ner.12332.
23. Augmentation of Voluntary Locomotor Activity by Transcutaneous Spinal Cord Stimulation in Motor-Incomplete Spinal Cord-Injured Individuals / U.S. Hofstoetter, M. Krenn, S.M. Danner, C. Hofer, H. Kern, W.B. McKay, W. Mayr, K. Minassian // *Artif. Organs*. 2015. Vol. 39, No 10. P. E176-E186. DOI: 10.1111/aor.12615.
24. Hardin E.C., Kobetic R., Triolo R.J. Ambulation and spinal cord injury // *Phys. Med. Rehabil. Clin. N. Am.* 2013. Vol. 24, No 2. P. 355-370. DOI: 10.1016/j.pmr.2012.11.002.
25. Spinal cord stimulation facilitates functional walking in a chronic, incomplete spinal cord injured / R. Herman, J. He, S. D'Luzansky, W. Willis, S. Dilli // *Spinal Cord*. 2002. Vol. 40, No 2. P. 65-68. DOI: 10.1038/sj.sc.5101263.
26. Epidural spinal-cord stimulation facilitates recovery of functional walking following incomplete spinal-cord injury / M.R. Carhart, J. He, R. Herman, S. D'Luzansky, W.T. Willis // *IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng.* 2004. Vol. 12, No 1. P. 32-42. DOI: 10.1109/TNSRE.2003.822763.
27. Behrman A.L., Harkema S.J. Physical rehabilitation as an agent for recovery after spinal cord injury // *Phys. Med. Rehabil. Clin. N. Am.* 2007. Vol. 18, No 2. P. 183-202. DOI: 10.1016/j.pmr.2007.02.002.
28. A systematic review of clinical studies on electrical stimulation therapy for patients with neurogenic bowel dysfunction after spinal cord injury / Y. Deng, Y. Dong, Y. Liu, Q. Zhang, X. Guan, X. Chen, M. Li, L. Xu, C. Yang // *Medicine*. 2018. Vol. 97, No 41. P. e12778. DOI: 10.1097/MD.00000000000012778.
29. Badhiwala J.H., Ahuja C.S., Fehlings M.G. Time is spine: a review of translational advances in spinal cord injury // *J. Neurosurg. Spine*. 2018. Vol. 30, No 1. P. 1-18. DOI: 10.3171/2018.9.SPINE18682.
30. Late recovery following spinal cord injury. Case report and review of the literature / J.W. McDonald, D. Becker, C.L. Sadowsky, J.A. Jane Sr., T.E. Conturo, L.M. Schultz // *J. Neurosurg.* 2002. Vol. 97, No 2 Suppl. P. 252-265. DOI: 10.3171/spi.2002.97.3.0405.

REFERENCES

1. Zaletina A.V., Vissarionov S.V., Baidurashvili A.G., Kokushin D.N., Soloveva K.S. Povrezhdeniia pozvonochnika i spinnogo mozga u detskogo naseleniia [Injuries of the spine and spinal cord among children]. *Mezhdunarodnyi Zhurnal Prikladnykh i Fundamentalnykh Issledovaniy*, 2017, no. 12-1, pp. 69-73. (in Russian)
2. Dulaev A.K., Manukovskii V.A., Kutianov D.I., Bulakhtin Iu.Iu., Brizhan S.L., Zhelnov P.V. Sovershenstvovanie organizatsii okazaniia neotlozhnoi spetsializirovannoi khirurgicheskoi pomoshchi patsientam s travmaticheskimi i netravmaticheskimi porazheniiami pozvonochnika v usloviakh megapolisa [Improving the organization of emergency specialized surgical care for patients with traumatic and non-traumatic injuries of the spine in the conditions of megalopolis]. *Vestnik Khirurgii im. I.I. Grekova*, 2017, vol. 176, no. 4, pp. 39-43. (in Russian)
3. Rajasekaran S., Vaccaro A.R., Kanna R.M., Schroeder G.D., Oner F.C., Vialle L., Chapman J., Dvorak M., Fehlings M., Shetty A.P., Schnake K., Maheshwaran A., Kandziara F. The value of CT and MRI in the classification and surgical decision-making among spine surgeons in thoracolumbar spinal injuries. *Eur. Spine J.*, 2017, vol. 26, no. 5, pp. 1463-1469. DOI: 10.1007/s00586-016-4623-0.
4. Daminov V.D., Kucherenko S.S., Sagildina Iu.Iu., Kuznetsov A.N. Robotizirovannye tekhnologii v reabilitatsii bolnykh posle khirurgicheskoi revaskularizatsii mozga [Robotic technologies in rehabilitation of patients after surgical brain revascularization]. *Vestnik Vosstanovitelnoi Meditsiny*, 2012, no. 2 (48), P. 29-31. (in Russian)
5. Alpentaki K., Bano A., Pasku D., Mavrogenis A.F., Papagelopoulos P.J., Sapkas G.S., Korres D.S., Katonis P. Thoracolumbar burst fractures: a systematic review of management. *Orthopedics*, 2010, vol. 33, no. 6, pp. 422-429. DOI: 10.3928/01477447-20100429-24.
6. Tang H.Z., Xu H., Yao X.D., Lin S.Q. Single-stage posterior vertebral column resection and internal fixation for old fracture-dislocations of thoracolumbar spine: a case series and systematic review. *Eur. Spine J.*, 2016, vol. 25, no. 8, pp. 2497-2513. DOI: 10.1007/s00586-015-3955-5.
7. Baidurashvili A.G., Vissarionov S.V., Aleksandrovich Iu.S., Pshenishov K.V. Pozvonochno-spinnomozgovaya travma u detei [Spinal and spinal-cord injury in children]. SPb., Onli-Press, 2016, 88 p. (in Russian)
8. Vissarionov S.V., Belianchikov S.M., Solokhina I.Iu., Ikoeva G.A., Kokushin D.N. Nevrologicheskie narusheniia u detei s oslozhnennymi povrezhdeniiami pozvonochnika v grudnom i poiasnichnom otdelakh do i posle khirurgicheskogo lecheniia [Neurological disorders in children with complicated injuries of the thoracic and lumbar spine before and after surgical treatment]. *Khirurgiia Pozvonochnika*, 2014, no. 3, pp. 8-21. (in Russian) DOI:10.14531/ss2014.3.8-21.
9. Baidurashvili A.G., Solokhina I.Iu., Kokushin D.N., Belianchikov S.M. Analiz vliianiia razlichnykh faktorov na dinamiku nevrologicheskikh narushenii u detei s pozvonochno-spinnomozgovoi travmoi [Analysis of the influence of various factors on the course of neurological disorders in children with spinal-and-spinal-cord injury]. *Ortopediia, Travmatologiia i Vosstanovitelnaia Khirurgiia Detskogo Vozrasta*, 2015, vol. 3, no. 4, pp. 12-21. (in Russian) DOI: 10.17816/PTORS3412-21.
10. Page B.J. *Thoracic Spine Fractures and Dislocations*. Poduval M., Chief Ed. Medscape. 2018. URL: <https://emedicine.medscape.com/article/1267029-overview>.
11. Smith W.D., Ghazarian N., Christian G. Acute and Hyper-acute Thoracolumbar Corpectomy for Traumatic Burst Fractures Using a Mini-open Lateral Approach. *Spine*, 2018, vol. 43, no. 2, pp. E118-E124. DOI: 10.1097/BRS.0000000000002244.
12. Bracken M.B., Shepard M.J., Holford T.R., Leo-Summers L., Aldrich E.F., Fazl M., Fehlings M., Herr D.L., Hitchon P.W., Marshall L.F., Nockels R.P., Pascale V., Perot P.L. Jr., Piepmeyer J., Sonntag V.K., Wagner F., Wilberger J.E., Winn H.R., Young W. Administration of methylprednisolone for 24 or 48 hours or trilizad mesylate for 48 hours in the treatment of acute spinal cord injury. Results of the Third National Acute Spinal Cord Injury Randomized Controlled Trial. National Acute Spinal Cord Injury Study. *JAMA*, 1997, vol. 277, no. 20, pp. 1597-1604. DOI: 10.1001/jama.277.20.1597.
13. Falavigna A., Righesso O., Guarise da Silva P., Sanchez Chavez F.A., Sfreddo E., Pelegrini de Almeida L., Valencia Carrasco M.J., Joaquim A.F. Epidemiology and Management of Spinal Trauma in Children and Adolescents <18 Years Old. *World Neurosurg.*, 2018, vol. 110, pp. e479-e483. DOI: 10.1016/j.wneu.2017.11.021.
14. Donenberg J.G., Fetters L., Johnson R. The effects of locomotor training in children with spinal cord injury: a systematic review. *Dev. Neurorehabil.*, 2019, vol. 22, no. 4, pp. 272-287. DOI: 10.1080/17518423.2018.1487474.
15. Jazayeri S.B., Beygi S., Shokraneh F., Hagen E.M., Rahimi-Movaghar V. Incidence of traumatic spinal cord injury worldwide: a systematic review. *Eur. Spine J.*, 2015, vol. 24, no. 5, pp. 905-918. DOI: 10.1007/s00586-014-3424-6.
16. Lee D.Y., Park Y.J., Song S.Y., Hwang S.C., Kim K.T., Kim D.H. The Importance of Early Surgical Decompression for Acute Traumatic Spinal Cord Injury. *Clin. Orthop. Surg.*, 2018, vol. 10, no. 4, pp. 448-454. DOI: 10.4055/cios.2018.10.4.448.

17. Bendella H., Rink S., Wöhler A., Feiser J., Wilden A., Grosheva M., Stoffels H.J., Meyer C., Manthou M., Nakamura M., Angelov D.N. Anatomic conditions for bypass surgery between rostral (T7-T9) and caudal (L2, L4, S1) ventral roots to treat paralysis after spinal cord injury. *Ann. Anat.*, 2019, vol. 222, pp. 139-145. DOI: 10.1016/j.aanat.2018.12.008.
18. Curt A., Van Hedel H.J., Klaus D., Dietz V.; EM-SCI Study Group. Recovery from a spinal cord injury: significance of compensation, neural plasticity, and repair. *J. Neurotrauma*, 2008, vol. 25, no. 6, pp. 677-685. DOI: 10.1089/neu.2007.0468.
19. Bedi P.K., Arumugam N., Chhabra H.S. Effectiveness of activity-based therapy in comparison with surface spinal stimulation in people with traumatic incomplete spinal cord injury for activation of central pattern generator for locomotion: Study Protocol for a 24-week Randomized Controlled Trial. *Asian Spine J.*, 2018, vol. 12, no. 3, pp. 503-510. DOI: 10.4184/asj.2018.12.3.503.
20. Wagner F.B., Mignardot J.B., Le Goff-Mignardot C.G., Demesmaeker R., Komi S., Capogrosso M., Rowald A., Seáñez I., Caban M., Pirondini E., Vat M., McCracken L.A., Heimgartner R., Fodor I., Watrin A., Seguin P., Paoles E., Van Den Keybus K., Eberle G., Schurch B., Pralong E., Becce F., Buse N., Buschman R., Neufeld E., Kuster N., Carda S., Von Zitzewitz J., Delattre V., Prior J., Denison T., Lambert H., Minassian K., Bloch J., Courtine G. Targeted neurotechnology restores walking in humans with spinal cord injury. *Nature*, 2018, vol. 563, no. 7729, pp. 65-71. DOI: 10.1038/s41586-018-0649-2.
21. Minassian K., Hofstoetter U.S., Danner S.M., Mayr W., Bruce J.A., McKay W.B., Tansey K.E. Spinal rhythm generation by step-induced feedback and transcutaneous posterior root stimulation in complete spinal cord-injured individuals. *Neurorehabil. Neural Repair*, 2016, vol. 30, no. 3, pp. 233-243. DOI: 10.1177/1545968315591706.
22. Nardone R., Höller Y., Taylor A., Thomschewski A., Orioli A., Frey V., Trinka E., Brigo F. Noninvasive Spinal Cord Stimulation: Technical Aspects and Therapeutic Applications. *Neuromodulation*, 2015, vol. 18, no. 7, pp. 580-591. DOI: 10.1111/ner.12332.
23. Hofstoetter U.S., Krenn M., Danner S.M., Hofer C., Kern H., McKay W.B., Mayr W., Minassian K. Augmentation of Voluntary Locomotor Activity by Transcutaneous Spinal Cord Stimulation in Motor-Incomplete Spinal Cord-Injured Individuals. *Artif. Organs*, 2015, vol. 39, no. 10, pp. E176-E186. DOI: 10.1111/aor.12615.
24. Hardin E.C., Kobetic R., Triolo R.J. Ambulation and spinal cord injury. *Phys. Med. Rehabil. Clin. N. Am.*, 2013, vol. 24, no. 2, pp. 355-370. DOI: 10.1016/j.pmr.2012.11.002.
25. Herman R., He J., D'Luzansky S., Willis W., Dilli S. Spinal cord stimulation facilitates functional walking in a chronic, incomplete spinal cord injured. *Spinal Cord*, 2002, vol. 40, no. 2, pp. 65-68. DOI: 10.1038/sj.sc.3101263.
26. Carhart M.R., He J., Herman R., D'Luzansky S., Willis W.T. Epidural spinal-cord stimulation facilitates recovery of functional walking following incomplete spinal-cord injury. *IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng.*, 2004, vol. 12, no. 1, pp. 32-42. DOI: 10.1109/TNSRE.2003.822763.
27. Behrman A.L., Harkema S.J. Physical rehabilitation as an agent for recovery after spinal cord injury. *Phys. Med. Rehabil. Clin. N. Am.*, 2007, vol. 18, no. 2, pp. 183-202. DOI: 10.1016/j.pmr.2007.02.002.
28. Deng Y., Dong Y., Liu Y., Zhang Q., Guan X., Chen X., Li M., Xu L., Yang C. A systematic review of clinical studies on electrical stimulation therapy for patients with neurogenic bowel dysfunction after spinal cord injury. *Medicine*, 2018, vol. 97, no. 41, pp. e12778. DOI: 10.1097/MD.00000000000012778.
29. Badhiwala J.H., Ahuja C.S., Fehlings M.G. Time is spine: a review of translational advances in spinal cord injury. *J. Neurosurg. Spine*, 2018, vol. 30, no. 1, pp. 1-18. DOI: 10.3171/2018.9.SPINE18682.
30. McDonald J.W., Becker D., Sadowsky C.L., Jane J.A. Sr., Conturo T.E., Schultz L.M. Late recovery following spinal cord injury. Case report and review of the literature. *J. Neurosurg.*, 2002, vol. 97, no. 2 Suppl., pp. 252-265. DOI: 10.3171/spi.2002.97.3.0405.

Рукопись поступила 06.11.2019

Сведения об авторах:

1. Баиндурашвили Алексей Георгиевич, д. м. н., профессор, академик РАН, ФГБУ «НИДОИ им. Г.И. Турнера» Минздрава России, г. Санкт-Петербург, Россия, Email: turner01@mail.ru
2. Виссарионов Сергей Валентинович, д. м. н., профессор, ФГБУ «НИДОИ им. Г.И. Турнера» Минздрава России, г. Санкт-Петербург, Россия, Email: turner01@mail.ru
3. Белянчиков Сергей Михайлович, к. м. н., ФГБУ «НИДОИ им. Г.И. Турнера» Минздрава России, г. Санкт-Петербург, Россия, Email: beljanchikov@list.ru
4. Картавенко Кирилл Александрович, к. м. н., ФГБУ «НИДОИ им. Г.И. Турнера» Минздрава России, г. Санкт-Петербург, Россия, Email: med-kart@yandex.ru
5. Солохина Ирина Юрьевна, ФГБУ «НИДОИ им. Г.И. Турнера» Минздрава России, г. Санкт-Петербург, Россия, Email: solokhina.irina@mail.ru
6. Козырев Александр Сергеевич, к. м. н., ФГБУ «НИДОИ им. Г.И. Турнера» Минздрава России, г. Санкт-Петербург, Россия, Email: alexkozirev@inbox.ru
7. Пухов Александр Михайлович, к. б. н., ФГБОУ ВО «Великолукская государственная академия физической культуры и спорта», г. Великие Луки, Россия
8. Мошонкина Татьяна Ромульевна, д. б. н., ФГБУН «Институт физиологии им. И.П. Павлова» Российской академии наук, г. Санкт-Петербург, Россия, Email: tmoshonkina@gmail.com
9. Герасименко Юрий Петрович, д. б. н., профессор, член-корреспондент РАН, ФГБУН «Институт физиологии им. И.П. Павлова» Российской академии наук, г. Санкт-Петербург, Россия, Email: yuryg@ucla.edu

Information about the authors:

1. Aleksei G. Baindurashvili, M.D., Ph.D., Professor, Academician of RAS, The Turner Scientific and Research Institute for Children's Orthopedics, Saint Petersburg, Russian Federation, Email: turner01@mail.ru
2. Sergei V. Vissarionov, M.D., Ph.D., Professor, The Turner Scientific and Research Institute for Children's Orthopedics, Saint Petersburg, Russian Federation, Email: turner01@mail.ru
3. Sergei M. Belianchikov, M.D., Ph.D., The Turner Scientific and Research Institute for Children's Orthopedics, Saint Petersburg, Russian Federation, Email: beljanchikov@list.ru
4. Kirill A. Kartavenko, M.D., Ph.D., The Turner Scientific and Research Institute for Children's Orthopedics, Saint Petersburg, Russian Federation, Email: med-kart@yandex.ru
5. Irina Iu. Solokhina, The Turner Scientific and Research Institute for Children's Orthopedics, Saint Petersburg, Russian Federation, Email: solokhina.irina@mail.ru
6. Aleksandr S. Kozirev, M.D., Ph.D., The Turner Scientific and Research Institute for Children's Orthopedics, Saint Petersburg, Russian Federation, Email: alexkozirev@inbox.ru
7. Aleksandr M. Pukhov, Ph.D. of Biological Sciences, The Velikiye Luki State Academy of Physical Culture and Sports, Velikiye Luki, Russian Federation
8. Tatiana R. Moshonkina, Ph.D. of Biological Sciences, Pavlov First St. Petersburg State Medical University, Saint Petersburg, Russian Federation, Email: tmoshonkina@gmail.com
9. Iurii P. Gerasimenko, Ph.D. of Biological Sciences, Professor, Corresponding Member of RAS, Pavlov First St. Petersburg State Medical University, Saint Petersburg, Russian Federation, Email: yuryg@ucla.edu