

СИНХРОНИЗИРОВАННОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ЭКЗОСКЕЛЕТА С ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОСТИМУЛЯЦИЕЙ У ПАЦИЕНТОВ С ПОСЛЕДСТВИЯМИ ТРАВМЫ СПИННОГО МОЗГ

УДК 616.78

Ткаченко П.В., Даминов В.Д., Карпов О.Э.

ФГБУ «Национальный медико-хирургический центр им. Н.И. Пирогова Министерства здравоохранения РФ», Москва, Россия

SYNCHRONIZED APPLICATION OF THE EXOSKELETON WITH FUNCTIONAL ELECTROSTIMULATION IN THE SPINAL CORD INJURY PATIENTS

Tkachenko P.V., Daminov V.D., Karpov O.E.

FSBE «National Medical Surgery Center named by N.I. Pirogov Ministry of Health RF», Moscow, Russia

По данным ВОЗ, ежегодно до 500 тысяч человек получают травму позвоночника, осложненную повреждением спинного мозга и остаются тяжелыми инвалидами с неблагоприятным прогнозом восстановления ходьбы. Разные авторы отмечают, что в России наблюдается неуклонный рост доли поврежденных спинного мозга в структуре сочетанной травмы. Так, в 1940 году доля поврежденных спинного мозга составляла 0,44%, в 1990-м – от 0,7 до 4%, в 1999-м – 6–7%, в начале 21 века 2–5% при сочетанной травме, а при повреждении скелета – 5–20%. За последние 70 лет количество больных с ПСМТ возросло в 200 раз, и в России ее ежегодно получают около 8000 человек, приблизительно 70–80% остаются инвалидами 1 и 2 групп [1]. Травматическое повреждение спинного мозга является причиной значительных изменений жизни человека. Это касается не только основных физиологических процессов, но и кардинальным образом изменяет качество жизни пациента, его семьи, требует адаптации к совершенно новым социальным, экономическим, профессиональным и юридическим условиям существования.

Наиболее тяжелыми последствиями травм спинного мозга являются центральные параличи и нарушение функции ходьбы различной степени выраженности. При этом большинство пациентов являются лицами трудоспособного возраста, что еще в большей степени предопределяет актуальность проблемы их лечения и реабилитации [2, 3]. Длительность адаптации, физические затраты персонала и уменьшение длительности пребывания пациентов в реабилитационном учреждении предъявляет повышенные требования к рациональному выбору и сочетанию адекватных методов и средств реабилитации, разработке и созданию роботизированных систем, позволяющих улучшить двигательную функцию.

Утверждение, что «ходьба тренируется только в ходьбе» упоминается в многочисленных исследованиях. В последнее десятилетие для восстановления ходьбы широко применяются локомоторные ассистирующие роботы [4, 5, 6], в основу работы которых положен метод внешней реконструкции ходьбы с широкими возможностями моделирования движений больного в реальном масштабе времени. Множество работ посвящено реабилитации пациентов с различными нозологиями в отдельно взятые периоды [7, 8, 9] при использовании локомоторных стационарных роботов. К подобным роботизированным устройствам относится Lokomat (Hocoma AG, Швейцария), осуществляющий движения жестко зафиксированных в области таза, бедра и голени нижних конечностей по беговой дорожке, при этом локомоторный паттерн соответствует физиологическому движению тазобедренного, коленного и голеностопного суставов. Однако, ходьба производится с полной или частичной разгрузкой массы тела по движущейся поверхности и ограниченным или полным отсутствием перемещения центра масс тела. Это значительно ограничивает осевую нагрузку, не позволяя осуществлять сложную координированную деятельность скелетных мышц туловища и конечностей. Настоящей революцией в реабилитации и расширении безбарьерной среды для пациентов со спинальной травмой стало появление экзоскелетов, осуществляющих автоматизированную физиологическую ходьбу с полной осевой нагрузкой по недвижущейся поверхности. Данные комплексы позволяют пациентам отрабатывать циклические движения, задействованные при ходьбе, и контролировать горизонтальное и вертикальное перемещение центра массы [10]. А синхронизированное применение с реконструкцией паттерна ходьбы ФЭС мышц имеет клинко-биомеханическое обоснование и является эффективным методом у

данного контингента пациентов. Целью нашего исследования была оценка эффективности синхронизированного применения экзоскелета с функциональной электростимуляцией в комплексной реабилитации больных с последствиями травмы спинного мозга.

Задачами исследования стали:

1. Выявить особенности влияния ходьбы в экзоскелете на центральную гемодинамику у пациентов с последствиями травмы спинного мозга.
2. Изучить эффективность применения экзоскелета в отношении двигательных функций у больных с последствиями травмы спинного мозга в зависимости от степени выраженности признаков, характеризующих центральный паралич.
3. Оценить динамику электромиографических параметров мышц-разгибателей тазобедренного сустава и мышц спины, а на основе анализа видеозаписей изменения биомеханических параметров ходьбы в результате курсового применения экзоскелета у пациентов с последствиями травмы спинного мозга.
4. Дать объективную оценку динамики психоэмоциональных нарушений и качества жизни под влиянием ходьбы в экзоскелете у пациентов с последствиями травмы спинного мозга.
5. Разработать методику включения экзоскелета в комплексные программы лечения и реабилитации пациентов с последствиями травмы спинного мозга.

Материалы и методы исследования.

Исследование проводилось в течение 2015–2017 гг на базе отделения медицинской реабилитации ФГБУ «НМХЦ им. Н.И.Пирогова МЗ РФ».

Было обследовано 112 пациентов (79 мужчин и 33 женщины) в возрасте 18–50 лет (табл. 1), в позднем периоде позвоночно-спинномозговой травмы на уровне грудного отдела позвоночника (средние сроки после травмы $6,5 \pm 0,4$ месяца) с синдромом неполного нарушения проводимости спинного мозга (В, С и D по шкале ASIA). Уровень повреждения позвоночника и спинного мозга – грудной отдел: Th3 – у 6,2% пациентов, Th4–5 – у 17,9%, Th6–7 – у 37,6%, Th8–12 – у 38,3%. Всем больным была проведена операция по декомпрессии спинного мозга и стабилизации позвоночника. При компьютерной томографии (КТ) позвоночника у всех пациентов отмечена состоятельность стабилизации и адекватное срокам формирование костной мозоли. При визуализации мягкотканого компонента методом МРТ у всех пациентов



Рис. 1. Ходьба пациента по силовой платформе во время проведения исследования

исключена компрессия спинного мозга. По заключению нейрохирурга у всех пациентов отсутствовали противопоказания к проведению вертилизации.

У обследованных пациентов с последствиями травмы спинного мозга в клинической картине ведущим синдромом, определяющим тяжесть состояния, будущие функциональные ограничения и инвалидность, является двигательный дефицит, обусловленный центральным нижним параличом. Соответственно страдает мобильность и самообслуживание, развиваются проблемы психологического характера (депрессия, тревожность, ипохондрия). У больных с последствиями травмы спинного мозга развиваются осложнения, обусловленные гиподинамией и невозможностью поддержания вертикального положения (пневмония, мочевая инфекция, тромбозы вен нижних конечностей и тромбозы артерий, остеопороз, спастичность и мышечные контрактуры, трофические нарушения и пролежни).

В данной работе рангу В по шкале ASIA соответствовало 10,7% пациентов, рангу С – 58%, рангу D – 31,3% пациентов.

Распределение пациентов по группам – основной ($n=56$) и контрольной ($n=56$) – было проведено с применением последовательной рандомизации в зависимости от содержания программы реабилитации. Сопоставимость основной и контрольной групп подтверждена результатами исследований исходного состояния пациентов – ни по одному из параметров достоверного различия выявлено не было, что позволяло получить объективную информацию о различии в эффектах реабилитации пациентов этих групп.

Кроме того, основная и контрольная группы были разделены на подгруппы в зависимости от степени нарушения проводимости спинного мозга по шкале ASIA – В, С и D. *Отбор и исключение пациентов, которым оказывалась медицинская помощь в рамках исследования, проводились согласно критериям включения, невключения и исключения.* При наличии патологии, соответствующей критериям невключения, пациент не допускался к клиническим исследованиям.

Методы исследования

Для оценки степени нарушения проводимости спинного мозга и двигательного дефицита применяли шкалу повреждения спинного мозга, разработанную Американской Ассоциацией Спинальной травмы (ASIA). Данная шкала описывает 5 степеней нарушения проводимости спинного мозга, обозначаемых латинскими буквами от А до Е. (G.Yarkony, D. Chen, 1996):

Всем пациентам проводилось неврологическое обследование с балльной оценкой мышечной силы по шестибалльной шкале – Medical Research Council Scale, R. Van der Ploeg и соавт., 1984 г. Мышечный тонус оценивался с использованием Модифицированной шкалы спастичности Эшворт – Modified Ashworth Scale of Muscle Spasticity, по R. Bohannon, V. Smith, 1987; D. Wade, 1992 г. Для оценки уровня мобильности и использования вспомогательных средств использовался Индекс ходьбы Хаузера (по Hauser S., 1983). Для оценки уровня самообслуживания и мобильности использовали Функциональную оценочную шкалу для больных с травмой спинного мозга VFM. Для оценки уровня депрессии применялась Шкала депрессии Бека, уровень реактивной и личностной тревожности использовали тест Спилбергера-Ханина; самочувствия, активности и настроения – одноименный тест Шкала Самочувствие, активность, настроение (САН).

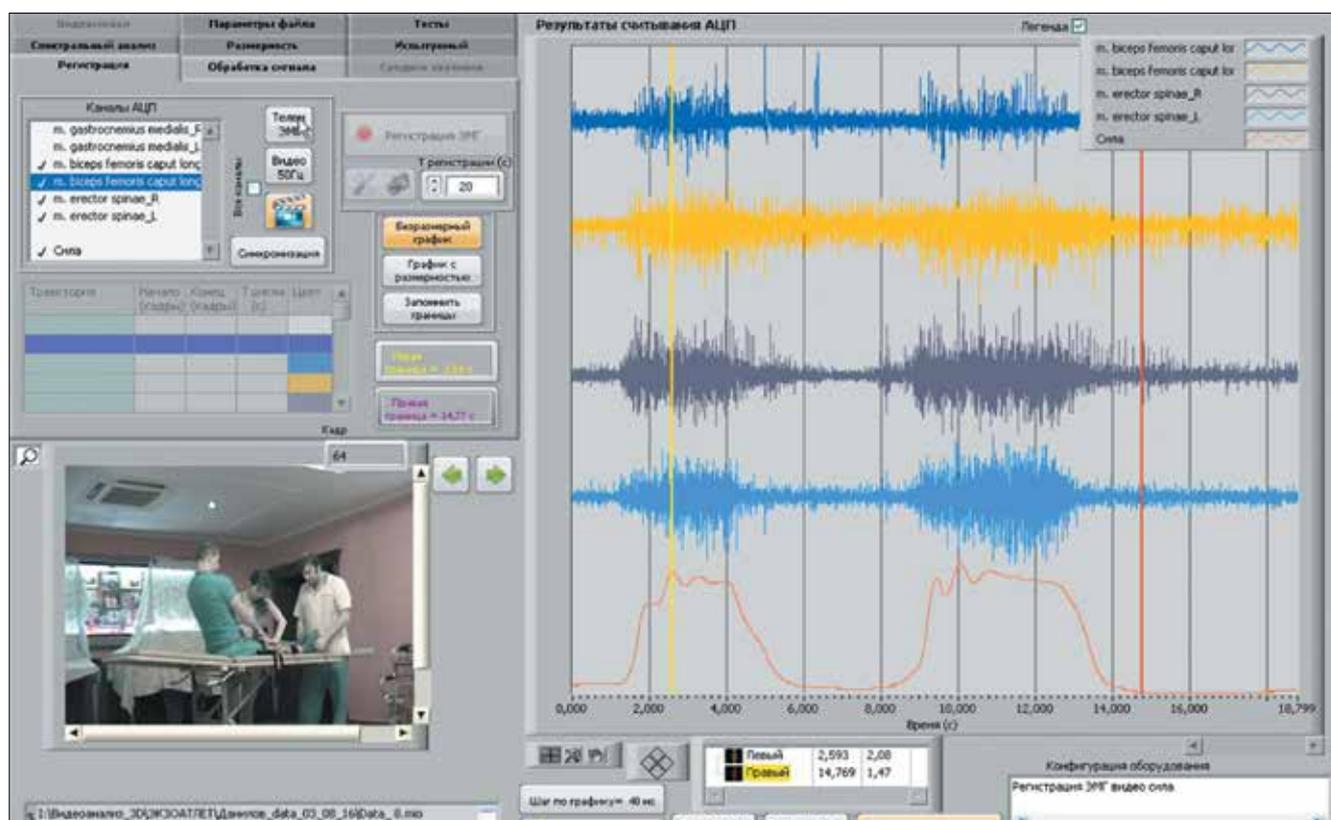


Рис. 2. Пример одновременной регистрации электрической активности мышц спины и силы ПАК «СпортЛаб». Сверху вниз, четыре нормированных миограммы. Нижний график – максимальная становая сила. Распечатка с экрана монитора

Для исследования параметров ходьбы на основе биомеханического анализа видеоизображений, полученных в процессе регистрации видеосигнала применялся программно-аппаратный комплекс «Видеоанализ – 3D Био-софт» (Россия). Для поддержания вертикальной позы пилоты использовали индивидуальные ортопедические устройства и ходунки (рис. 1).

Для определения точности выставления силовой платформы регистрируемых параметров провели эксперимент с нормальной ходьбой и оценили три составляющие реакции опоры: горизонтальную поперечную силу (F_x), горизонтальную продольную силу (F_y) и вертикальную составляющую реакции опоры (F_z). Впоследствии оценили спектральные характеристики опоры пилотов.

Для регистрации электрической активности мышц, тензометрической информации, использовался программно-аппаратный комплекс «СпортЛаб». В настоящем исследовании пилоты выполняли силовую тест в положении сидя так, как показано на рисунке 2. Была поставлена задача развить последовательно максимальное усилие. Длительность одной попытки 25–30 с. За это время пилот выполняет максимальную тягу 2–3 раза. Пример одновременной регистрации электромиографического сигналов мышц спины и мышц-разгибателей тазобедренного сустава приведен на рис. 2.

Было рассчитано отношение «средняя сила/средняя амплитуда миограммы» (F_{cp}/EMG_{cp}) для проведенного тестирования в первый день и после 15-ти дневного курса реабилитации.

Инструментальные методы исследования ходьбы применялись ко всем пациентам в начале курса лечения и на 15-й день проведения реабилитационных мероприятий на экзоскелете и роботизированном комплексе Lokomat.

Программы лечения

Курс комплексного реабилитационного лечения составлял 15 дней при семидневной рабочей неделе (15 тренировочных дней).

В основной группе помимо индивидуальных занятий лечебной гимнастикой и циклической механотерапии на тренажере Thera-Vital, пациенты проходили 15 тренировок в экзоскелете с ФЭС. В группе контроля пациенты получали традиционный комплекс двигательных реабилитационных мероприятий и восстановление функции ходьбы на роботизированном комплексе Lokomat. Продолжительность курса – 15 занятий.

Основными коррекционными воздействиями при ФЭС во время ходьбы были коррекция разгибания и отведения в тазобедренном суставе в сочетании с коррекцией разгибания в коленном суставе или с коррекцией фронтально-сагиттальных раскачиваний туловища посредством стимуляции больших и средних ягодичных мышц, четырехглавых мышц бедра и крестцово-остистых мышц. Длительность тренировки не превышала 50 минут, а длительность ФЭС была одинаковой у всех больных – 30 минут. Средняя скорость ходьбы в экзоскелете равнялась 0.6 км/ч. Следовательно, больные проходили за сеанс 300 м, а за курс в среднем – 4,5 км.

Результаты исследования

Показатели центральной гемодинамики во время и по окончании курса реабилитации оставались в пределах нормально допустимых значений. АД систолическое (САД) у пациентов основной группы с $124 \pm 2,8$ до $113 \pm 2,4$ мм.рт.ст, $p < 0,01$, АД диастолическое (ДАД) с $83,5 \pm 1,9$ до $75,5 \pm 1,5$ мм.рт.ст, $p < 0,01$; САД у пациентов контрольной группы с $127 \pm 2,9$ до $115 \pm 2,6$ мм.рт.ст, $p < 0,01$, ДАД с

Таблица 1

Степень нарушения	Основная группа		Контрольная группа	
	МС прокс. До После	МС дист. До После	МС прокс. До После	МС дист. До После
B	0	0	0	0
C	2,06±0,10 2,17±0,08 +5,1%	0,89±0,05 1,19±0,07* +25,2%	2,14±0,09 2,26±0,08 +5,3%	0,91±0,05 1,12±0,06* +18,75%
D	2,61±0,11 2,81±0,10 +7,1%	1,42±0,10 1,64±0,12* +13,4%	2,68±0,09 2,76±0,12 +2,9%	1,44±0,11 1,71±0,14* +15,8%

Таблица 2

Степень нарушения	Основная группа До После	Контрольная группа До После
B	2,33±0,17 1,83±0,17* – 21,5%	2,25±0,17 1,75±0,17* – 22,2%
C	2,30±0,07 1,50±0,09* – 34,8%	2,27±0,09 1,45±0,08* – 36,1%
D	2,11±0,09 1,42±0,09* – 32,7%	2,03±0,11 1,50±0,11* – 23,7%

87,5±1,7 до 78,5±1,6 мм.рт.ст, $p < 0,01$ (табл. 2). Снижение артериального давления у пациентов с травматическим повреждением спинного мозга является закономерным процессом, отражающим процессы стабилизации системной гемодинамики (Суслина З.А., Варакин Ю.А. 2006).

Мониторинг ЭКГ позволил исключить значимые нарушения сердечного ритма и ишемию миокарда у пациентов в процессе курса ходьбы в экзоскелете с ФЭС.

У больных с неполным нарушением проводимости на фоне проведения занятий на экзоскелете подгрупп C и D отмечено снижение степени пареза в проксимальных отделах на 5,1% и на 7,1%; в дистальных отделах на 25,2% и на 13,4% соответственно. В группе контроля при использовании реабилитационной программы с включением робота Lokomat в подгруппах C и D также отмечено снижение степени пареза в проксимальных отделах нижних конечностей на 5,3% и на 3%; в дистальных отделах на 18,7% и на 15,8% соответственно. Однако, при сравнении показателей мышечной силы в проксимальных и дистальных отделах нижних конечностей основной и контрольной групп, достоверно значимых различий выявлено не было (табл. 1)

Динамика мышечной силы (в баллах) в зависимости от программ реабилитации

Подобная тенденция выявлена с показателем мышечного тонуса (табл. 2).

После курса локомоторной тренировки с использованием экзоскелета отмечено снижение мышечного тонуса в нижних конечностях по шкале спастичности Эшворта у пациентов подгрупп B, C и D на 21,5%, на 34,8% и

на 32,7% соответственно. Данные изменения являются достоверно значимыми ($p < 0,05$) по сравнению с исходными. В контрольной группе после курса локомоторной тренировки с использованием Lokomat отмечено снижение мышечного тонуса в нижних конечностях у пациентов подгрупп B, C и D по шкале спастичности Эшворта на 22,2%, на 36,1% и на 26,1% соответственно, и эти изменения также являются достоверно значимыми ($p < 0,05$). При сравнении показателей основной и контрольной групп (подгрупп B, C и D) полученные различия в изменении мышечного тонуса не достигали достоверной значимости.

Сравнительный анализ изменений мышечного тонуса в основной и контрольной группах до и после реабилитационного курса

Изменения мобильности и потребности пациентов в позднем периоде позвоночно-спинномозговой травмы во вспомогательных средствах передвижения по Индексу ходьбы Хаузера выявило преимущество ходьбы в экзоскелете перед использованием роботизированной механотерапии на комплексе Локомат (табл. 3). 9 пациентов основной группы с неполным перерывом спинного мозга после реабилитационного курса могли самостоятельно ходить с односторонней опорой без использования тьюторов для нижних конечностей, что соответствовало 4 градации Индекса. Значительно снизилось количество больных, соответствовавших градации 7 и градации 6; увеличилось количество больных в подгруппе 5. В группе контроля с односторонней опорой могли самостоятельно ходить только

Таблица 3

№ группы	Оценка мобильности и потребности во вспомогательных средствах передвижения (градации)				Критерий Пирсона χ^2
	До курса		После курса		
	градация	%	градация	%	
Основная ASIA B, C, D	7	19,6	7	5,3	$\chi^2 = 14,3; p < 0,01$
	6	69,4	6	28,6	
	5	11	5	50	
			4	16,1	
Контроль ASIA B, C, D	7	21,4	7	16	
	6	67,9	6	66,1	
	5	10,7	5	14,3	
			4	3,6	

Таблица 4

Степень нарушения	Основная группа		Контрольная группа	
	сила ср./средняя амп. миограммы, Н/мкВ		сила ср./средняя амп. миограммы, Н/мкВ	
	До	После	До	После
B	21,67±0,42 28,17±0,60*# +23,1%		21,98±0,34 23,17±0,30* +5,1%	
C	7,31±0,29 13,81±0,48*# +47,1%		7,30±0,30 8,26±0,24* +11,6%	
D	5,86±0,27 9,68±0,38*# +39,5%		6,01±0,30 6,88±0,28 +12,6%	

Примечание: надстрочными индексами отмечены достоверные изменения показателя (* – по сравнению с исходным уровнем до лечения; # – по сравнению с динамикой показателя в контрольной группе).

2 пациента, в категориях Индекса 7, 6 и 5 изменения были менее значимыми по сравнению с основной группой.

Изменения мобильности и потребности во вспомогательных средствах передвижения после курса роботизированной ходьбы в экзоскелете

Достигнутый регресс клинической симптоматики позволил пациентам основной группы расширить самообслуживание и мобильность, что подтверждено положительной динамикой показателей шкалы VFM. В основной группе отмечено достоверно значимое ($p < 0,05$) увеличение балльной оценки по шкале у пациентов подгруппы B, C и D на 12,8%, 14,2% и 12,5% соответственно. В группе контроле также отмечались позитивные результаты в подгруппах B, C и D – 3,4%, 5,2% и 4% соответственно. Однако, при сравнении основной и контрольной группы, группа с включением в реабилитацию экзоскелета имела достоверно значимое преимущество ($p < 0,05$).

При оценке электромиографических параметров у пациентов основной и контрольной групп, объективно,

у пациентов группы с включением экзоскелета отношение «средняя сила/средняя амплитуда миограммы» имело тенденцию к возрастанию в подгруппах B, C и D основной группы на 23,1%, 47,1% и 39,5% соответственно. У пациентов группы Lokomat отношение «средняя сила/средняя амплитуда миограммы» возросло на 5,1%, 11,6% и 12,6%, что не является достоверно значимым изменением (табл. 4).

Таким образом, максимальная сила тяги в тесте после занятий в экзоскелете не менялась, а амплитуда сигнала снижалась, что свидетельствовало об улучшении управления мышцами дорсальной поверхности спины и мышцами-разгибателями тазобедренного сустава после окончания реабилитационного курса. Это связано с тем, что пациентам группы экзоскелета во время полной осевой нагрузки приходится контролировать баланс во время ходьбы с большими усилиями, нежели во время занятий на Lokomat, где положение туловища крепко зафиксировано в тренажере и действует разгрузка веса тела.

Таблица 5

Степень нарушения	Основная группа			Контрольная группа		
	СМС по F(x), Н ² /Гц До После	СМС по F(y), Н ² /Гц До После	СМС по F(z), Н ² /Гц До После	СМС по F(x), Н ² /Гц До После	СМС по F(y), Н ² /Гц До После	СМС по F(z), Н ² /Гц До После
B	$20,67 \pm 0,85$ $15,12 \pm 0,59^{**}$ – 26,9%	$40,23 \pm 1,13$ $29,67 \pm 1,02^{**}$ – 26,2%	$3504 \pm 85,0$ $2483 \pm 59,2^{**}$ – 29,1%	$20,97 \pm 0,88$ $19,83 \pm 0,74$ – 5,4%	$40,48 \pm 0,90$ $39,23 \pm 0,87$ – 3,1%	$3487 \pm 69,9$ $3361 \pm 80,8$ – 3,6%
C	$13,00 \pm 0,41$ $7,10 \pm 0,30^{**}$ – 45,4%	$19,64 \pm 0,74$ $11,26 \pm 0,49^{**}$ – 42,7%	$3018 \pm 48,5$ $1401 \pm 55,4^{**}$ – 53,6%	$12,93 \pm 0,39$ $11,53 \pm 0,37$ – 10,8%	$19,88 \pm 0,74$ $17,05 \pm 0,69$ – 14,2%	$2962 \pm 72,5$ $2574 \pm 63,9^{*}$ – 13,1%
D	$9,36 \pm 0,50$ $5,15 \pm 0,33^{**}$ – 44,98%	$11,03 \pm 0,65$ $7,06 \pm 0,42^{**}$ – 33,6%	$1502 \pm 44,9$ $500 \pm 25,9^{**}$ – 66,8%	$9,02 \pm 0,59$ $8,71 \pm 0,51$ – 3,4%	$11,34 \pm 0,67$ $10,35 \pm 0,30$ – 8,7%	$1495 \pm 36,7$ $1405 \pm 28,7$ – 6%

Примечание: надстрочными индексами отмечены достоверные изменения показателя (* – по сравнению с исходным уровнем до лечения; * – по сравнению с динамикой показателя в контрольной группе); СМС – Средняя мощность спектра (Н²/Гц)

Динамика электромиографических параметров ходьбы у больных основной и контрольной групп в процессе лечения

По результатам спектрального анализа реакции опоры пациентов обеих групп, выявлено значимое преимущество у пациентов основной группы. После курса занятий у пациентов основной группы происходило снижение энергетических характеристик спектра по всем составляющим реакции опоры. Это означает, что спектральная мощность после курса занятий в экзоскелете снизилась, о чем свидетельствовало уменьшение спектральной плотности по Fx, Fy и Fz. Снижение амплитуды поперечных колебаний были зарегистрированы у 54 пилотов из 56. Уменьшение амплитуды продольных колебаний наблюдали у всех пилотов. Ходьба пилотов стала более устойчивой в продольном направлении: у пациентов в подгруппах B, C и D спектральная плотность по оси Fx снизилась на 26,9%, 45,4% и 44,98% соответственно; и в поперечном направлении – спектральная плотность снизилась на 26,2%, 42,7% и 33,6% соответственно. Уменьшение мощности спектра по оси Z, свидетельствовало о том, что ходьба стала менее энергозатратна, что подтверждалось показателем «Средняя мощность спектра» – в подгруппах B, C и D основной группы отмечено достоверное снижение показателя на 29,1%, 53,6% и 66,8% соответственно.

Достоверно значимые изменения отмечены только у больных основной группы, спектральная мощность у пациентов контрольной группы по осям Fx, Fy и Fz значимо не изменилась (табл. 5).

Динамика биомеханических параметров ходьбы в результате курсового применения экзоскелета у больных основной и контрольной групп в процессе лечения

Зафиксированы следующие улучшения психоэмоциональных показателей. У пациентов основной группы депрессия по шкале Бека сократилась в среднем на 41,6%, у пациентов контрольной группы на 17,1%; тре-

вожность по тесту Спилберга-Ханина на 14% и 3,6% соответственно; произошли позитивные изменения в оценке Самочувствия-Активности-Настроения на 36,8% в основной и на 18,5% в контрольной группе. Наиболее выраженная положительная динамика показателей психоэмоциональной сферы отмечалась у больных основной группы, в реабилитацию которых включены занятия в экзоскелете. Вероятно, это связано с позитивной оценкой пациентами изменения своего состояния, возможностью «самостоятельно» ходить по недвижущейся поверхности, испытыванием позитивных эмоций во время ходьбы и частичным возвратом пациента к привычной жизни.

Отдаленные результаты восстановительного лечения пациентов основной и контрольной групп были изучены в ходе катamnестического наблюдения. Мы осматривали больных через шесть и двенадцать месяцев после госпитализации. Была изучена динамика способности к передвижению пациентов основной и группы сравнения согласно изменениям индекса ходьбы Хаузера, показателя самообслуживания и мобильности больных основной и контрольной групп по шкале VFM, психологического статуса по шкале САН через 6 и 12 месяцев. Большинство пациентов основной группы, в отличие от группы сравнения, после проведенного курса реабилитации при самостоятельной вертикализации и ходьбе в домашних условиях себя чувствовали гораздо увереннее, что привело к увеличению времени и кратности вертикального передвижения и, как следствие, повышению мобильности, степени самообслуживания и улучшению психологического статуса.

Таким образом, включение разработанной методики автоматизированной механотерапии в экзоскелете в программу реабилитационных мероприятий для пациентов в позднем периоде позвоночно-спинномозговой травмы является клинически эффективной. Достоверно улучшилась работа мышечно-суставного аппарата за счет увеличения мышечной силы и снижения мышечного

тонуса. Ходьба пациентов основной группы стала более устойчивой в продольном направлении и в поперечном направлениях, а также менее энергозатратной. Отметились улучшения в управлении мышцами спины и мышцами-разгибателями тазобедренного сустава после окончания реабилитационного курса. Тренирующие занятия с использованием экзоскелета способствовали досто-

верному улучшению психологического статуса – уменьшению депрессии по шкале Бека, тревожности согласно тесту Спилберга-Ханина, улучшению самочувствия-активности-настроения по одноименному тесту. И как следствие, достигнутый регресс клинической симптоматики позволил пациентам основной группы расширить самообслуживание и мобильность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Леонтьев М.А., Овчинников О.Д. Изучение показаний к восстановлению локомоторных функций у пациентов с ТБСМ и препятствующих локомоции факторов; Вестник Кузбасского научного Центра СО РАМН; 2005; №1; 131–136.
2. Дашко И.А. Автореферат кандидатской диссертации «Дифференцированный подход к комплексной терапии и реабилитации больных в зависимости от степени и уровня травматического повреждения спинного мозга»; Москва; 2010 г.
3. Зимица Е.В. Автореферат кандидатской диссертации «Медицинская реабилитация больных с применением роботизированной реконструкции ходьбы в первые месяцы после травмы спинного мозга»; Москва; 2010 г.
4. Даминов В.Д., Горохова И.Г., Ткаченко П.В. «Антигравитационные технологии восстановления ходьбы в клинической реабилитации»; ВВМ; 2015; №4; 33–36
5. Mehrholz J, Elsner B, Werner C, Kugler J, Pohl M. Electromechanical-assisted training for walking after stroke; Cochrane Database Syst Rev; 2013 Jul 25;7:CD006185).
6. Ruiz, Jennifer BS; Labas, Michele P. BS; Triche, Elizabeth W. PhD; Lo, Albert C. MD, PhD Combination of Robot-Assisted and Conventional Body-Weight Supported Treadmill Training Improves Gait in Persons With Multiple Sclerosis: A Pilot Study; Journal of Neurologic Physical Therapy; 2013; Volume 37; Issue 4; 187–193
7. Даминов В.Д. Автореферат докторской диссертации «Совершенствование системы технологий роботизированной механотерапии в реабилитации больных с поражением центральной нервной системы»; Москва; 2013 г.
8. Клочков А.С. Автореферат кандидатской диссертации «Роботизированные системы в восстановлении навыка ходьбы у пациентов, перенесших инсульт»; Москва; 2012 г.
9. Ткаченко П. В., Даминов В. Д. «Необходимость реабилитации пациентов с рассеянным склерозом после трансплантации стволовых клеточных клеток»; ВВМ; 2015; №4; 9–12
10. Fisahn C1, Aach M2, Jansen O2, Moisi M3, Mayadev A4, Pagarigan KT5, Dettori JR5, Schildhauer TA2; The Effectiveness and Safety of Exoskeletons as Assistive and Rehabilitation Devices in the Treatment of Neurologic Gait Disorders in Patients with Spinal Cord Injury: A Systematic Review; Global Spine J.; 2016 Dec; 6(8):822–841

REFERENCES:

1. Leont'ev M.A., Ovchinnikov O.D. [The study of the indications for recovery of locomotor function in patients with SCI and factors impeding locomotion]; Vestnik Kuzbasskogo nauchnogo Centra SO RAMN; 2005; №1; 131–136.
2. Dashko I.A. Avtoreferat kandidatskoj dissertacii [Differentiated integrated approach to the therapy and rehabilitation of patients depending on the extent and level of traumatic spinal cord injury]; Moskva; 2010 g.
3. Zimina E.V. Avtoreferat kandidatskoj dissertacii [Medical rehabilitation of patients with the use of robotic reconstruction walk in the first months after spinal cord injury]; Moskva; 2010
4. Daminov V.D., Gorokhova I.G., Tkachenko P.V. [Antigravity Technology recovery walk in clinical rehabilitation]; VVM; 2015; №4; 33–36
5. Mehrholz J, Elsner B, Werner C, Kugler J, Pohl M. Electromechanical-assisted training for walking after stroke; Cochrane Database Syst Rev; 2013 Jul 25;7:CD006185).
6. Ruiz, Jennifer BS; Labas, Michele P. BS; Triche, Elizabeth W. PhD; Lo, Albert C. MD, PhD Combination of Robot-Assisted and Conventional Body-Weight Supported Treadmill Training Improves Gait in Persons With Multiple Sclerosis: A Pilot Study; Journal of Neurologic Physical Therapy; 2013; Volume 37; Issue 4; 187–193
7. Daminov V.D. Avtoreferat doktorskoj dissertacii [Improving technology robotic system mechanotherapy in the rehabilitation of patients with central nervous system]; Moskva; 2013 g.
8. Klochkov A.S. Avtoreferat kandidatskoj dissertacii [Robotic systems in restoring skill walk in stroke patients]; Moskva; 2012 g.
9. Tkachenko P. V., Daminov V. D. [Necessity rehabilitation of patients with multiple sclerosis after stem cell transplantation]; VVM; 2015; №4; 9–12
10. Christian Fisahn, Mirko Aach, Oliver Jansen, Marc Moisi, Angeli Mayadev, Krystle T. Pagarigan, Joseph R. Dettori, Thomas A. Schildhauer; The Effectiveness and Safety of Exoskeletons as Assistive and Rehabilitation Devices in the Treatment of Neurologic Gait Disorders in Patients with Spinal Cord Injury: A Systematic Review; Global Spine J.; 2016 Dec; 6(8):822–841.

РЕЗЮМЕ

Настоящей революцией в расширении безбарьерной среды для пациентов с позвоночно-спинномозговой травмой стало появление экзоскелетов. Цель исследования – оценка эффективности применения экзоскелета в комплексной реабилитации больных с ПСМТ. 112 пациентов в позднем периоде ПСМТ на уровне грудного отдела позвоночника, с синдромом неполного нарушения проводимости спинного мозга. В клинической картине: нижний парапарез – от 0 до 3 баллов; изменения мышечного тонуса – до 3-х баллов по шкале Эшворт; сохранная функция верхних конечностей. В основной группе (n=56) дополнительно к традиционному комплексу реабилитационных мероприятий для пациентов с ПСМТ, восстановление ходьбы проводилось в экзоскелете. Группа контроля (n=56) получала только традиционный комплекс, включая роботизированную механотерапию. Пациентам обеих групп проводилась функциональная электростимуляция мышц нижних конечностей. Продолжительность курса – 15 занятий. Во время ходьбы проводился мониторинг АД, ЧСС. На 1й и 15й день лечения оценивали неврологический статус пациентов, способность ходить с помощью вспомогательных средств по индексу Хаузера, степень самообслуживания и мобильности оценивали по шкале VFM, выявляли особенности электромиографических показателей мышц спины и разгибателей тазобедренного сустава, оценивали биомеханические параметры ходьбы пациентов и их психологический статус.

Результаты исследования. Показатели системной гемодинамики – в пределах допустимых значений. У пациентов обеих групп отмечалось улучшение в неврологическом статусе – уменьшение степени парапареза, снижения мышечного тонуса. Ходьба пациентов основной группы стала более устойчивой в продольном и в поперечном на-

правлениях, менее энергозатратной. Отметились улучшения в управлении мышцами спины и мышцами-разгибателями тазобедренного сустава после окончания реабилитационного курса. Тренирующие занятия с использованием экзоскелета способствовали достоверному улучшению психологического статуса – уменьшению депрессии, тревожности, улучшению самочувствия-активности. Достигнутый регресс клинической симптоматики позволил пациентам основной группы расширить самообслуживание и мобильность.

Ключевые слова: позвоночно-спинномозговая травма, восстановление ходьбы, роботизированная механотерапия, экзоскелет, нижний парапарез, мышечная сила, мышечный тонус, депрессия.

ABSTRACT

Emergence of the exoskeletons became the real revolution in the expansion of a barrier-free environment for the SCI patients. The aim was to evaluate the safety and effectiveness of the exoskeleton's application in the complex rehabilitation of the SCI patients. 112 of SCI patients, thoracic level, the late period of trauma, with the syndrome of incomplete spinal cord interruption. Objectively: lower paraparesis – from 0 to 3 points; muscle tone – up to 3 points (Ashworth scale); safe function of the upper extremities. Patients of the main group had walking trainings in the exoskeleton in addition to traditional rehabilitation program. Control group got only traditional rehabilitation program and robotic mechanotherapy on Lokomat. Rehabilitation course included 15 trainings. Blood pressure, heart rate were monitored. It was performed assessment of the neurological status, the ability to walk and using aids on the Hauser index, the degree of self-service and mobility was assessed according to the VFM scale, revealed the features of electromyographic indices of the back and extensors of the hip joint muscles, evaluated the biomechanical parameters of patients walking and their psychological status on the 1st and 15th day of rehabilitation.

Results. Hemodynamics values were within acceptable values. Patients of the both groups had improvements in the neurological status – in paraparesis and muscle tone reducing. Main group patient's walking became more stable in the longitudinal and transverse directions, and also less energy-consuming. Improvements in the management of the back muscles and the hip extensor muscles after the end of the rehabilitation course were noted. Training sessions on the exoskeleton contributed to a significant improvement in the psychological status – reducing depression, anxiety, improving well-being-activity. The achieved regression of clinical symptoms allowed the patients of the main group to expand self-service and mobility.

Keywords: spinal cord injury, gait reconstruction, robotic mechanotherapy, exoskeleton, low paraparesis, muscle strength, muscle tone, depression.

Контакты:

Ткаченко П.В. E-mail: p.nikitchenko@gmail.com