

<https://doi.org/10.47529/2223-2524.2023.3.2>

УДК: 685.38

Тип статьи: Оригинальная статья / Original Research



## Влияние тренировочной ходьбы в экзоскелете на эффективность реабилитации пациентов с последствиями позвоночно-спинномозговой травмы

М. А. Гвоздарева<sup>1,\*</sup>, Л. А. Шпагина<sup>2</sup>, Н. П. Карева<sup>1,2</sup>, Е. В. Куропатова<sup>1</sup>, В. В. Рерих<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГБУ «Новосибирский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Я. Л. Цивьяна» Минздрава России, Новосибирск, Россия

<sup>2</sup> ФГБУ ВО «Новосибирский государственный медицинский университет» Минздрава России, Новосибирск, Россия

### РЕЗЮМЕ

**Цель исследования:** оценить эффективность включения тренировочной ходьбы в экзоскелете в комплексную реабилитацию пациентов с тяжелыми двигательными нарушениями функции нижних конечностей вследствие позвоночно-спинномозговой травмы (ПСМТ). **Материалы и методы:** в исследовании приняли участие 120 пациентов (84 мужчины и 36 женщин, возраст  $37,1 \pm 8,4$  года) с последствиями ПСМТ на уровне грудного и поясничного отделов позвоночника, находившихся в стационаре на втором этапе медицинской реабилитации. Давность травмы колебалась от 1 года до 19 лет ( $77,8 \pm 4,05$  месяца). Все пациенты были разделены на две группы (80 и 40 человек соответственно), сопоставимые по полу, возрасту, давности и тяжести травмы. Стандартная программа реабилитации включала специализированную лечебную гимнастику, электромиостимуляцию, магнитотерапию, медицинский массаж, вертикализацию и тренировку баланса в балансировочном тренажере. В одной из групп она была дополнена тренировочной ходьбой в экзоскелете. Для оценки эффективности проводимых реабилитационных мероприятий использовались шкалы ASIA, SCIM III и опросник качества жизни SF-36. **Результаты:** в группе пациентов, использующих тренировочную ходьбу в экзоскелете, произошло статистически значимое увеличение общего балла по шкале SCIM III на  $3,20 \pm 0,50$  ( $p = 0,05$ ), что свидетельствует о повышении уровня функционирования и повседневной активности пациентов. Выявлена положительная динамика при оценке качества жизни с использованием опросника SF-36: показатель, отражающий психологический компонент здоровья, увеличился с 56,0 до 59,5 балла ( $p = 0,05$ ). Среди участников исследования, не использующих тренировочную ходьбу в экзоскелете, также наблюдалась положительная динамика анализируемых показателей, однако изменения к концу курса реабилитации не были статистически значимыми. **Заключение:** включение в стандартную программу второго этапа медицинской реабилитации тренировочной ходьбы в экзоскелете повышает эффективность реабилитационных мероприятий и улучшает качество жизни пациентов с тяжелыми двигательными нарушениями функции нижних конечностей вследствие позвоночно-спинномозговой травмы (ПСМТ).

**Ключевые слова:** медицинская реабилитация, позвоночно-спинномозговая травма, двигательные нарушения, робот-ассистированная реабилитация, экзоскелет

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Гвоздарева М.А., Шпагина Л.А., Карева Н.П., Куропатова Е.В., Рерих В.В. Влияние тренировочной ходьбы в экзоскелете на эффективность реабилитации пациентов с последствиями позвоночно-спинномозговой травмы // *Спортивная медицина: наука и практика*. 2023;13(3):58–66. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2023.3.2>

Поступила в редакцию: 21.10.2022

Принята к публикации: 31.10.23

Online first: 20.11.2022

Опубликована: 28.12.2023

\* Автор, ответственный за переписку

## The influence of walking in an exoskeleton on rehabilitation of patients with spinal cord injury consequences

Mariia A. Gvozdareva<sup>1,\*</sup>, Lubov A. Shpagina<sup>2</sup>, Ekaterina V. Kuropatova<sup>1</sup>, Nina P. Kareva<sup>1,2</sup>, Viktor V. Rerikh<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ya.L. Tsivyan Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopaedics, Novosibirsk, Russia

<sup>2</sup>Novosibirsk State Medical University, Novosibirsk, Russia

### ABSTRACT

**Objective:** to substantiate the expediency of including training walking in an exoskeleton in the complex rehabilitation of patients with severe motor dysfunctions of the lower limbs due to spinal cord injury (SCI). **Methods:** 120 patients (84 men and 36 women, age  $37.1 \pm 8.40$  years) with the consequences of SCI at the level of thoracic and lumbar spine who were in the hospital at the second stage of medical rehabilitation were examined. The duration of injury ranged from 1 year to 19 years ( $77.8 \pm 4.05$  months). All patients were divided into two groups (80 and 40 patients), comparable by sex, age, duration and severity of injury. Training walking in exoskeleton have been added in the group I rehabilitation program. ASIA, SCIM III scales and SF-36 quality of life questionnaire were used to evaluate the effectiveness of the rehabilitation measures. **Results:** there was an increase in the total score on SCIM III by  $3.20 \pm 0.50$  ( $p = 0.05$ ) in group I, which indicates an increase in the level of functioning and daily activity of patients. Positive dynamics was revealed when assessing the quality of life using SF-36 questionnaire: sum index reflecting the psychological component of health increased from 56,0 to 59,5 points ( $p = 0,05$ ). Group II also showed positive dynamics of the analyzed indicators, but the changes by the end of the rehabilitation course were not statistically significant. **Conclusion:** the use of exoskeleton training walking at the second stage of medical rehabilitation increases the effectiveness of rehabilitation measures and improves the quality of life of patients with severe motor dysfunctions of the lower limbs due to spinal cord injury (SCI).

**Keywords:** medical rehabilitation, spinal cord injury, motor disorders, robot-assisted rehabilitation, exoskeleton

**Conflict of interest:** the authors declare no conflict of interest.

**For citation:** Gvozdareva M.A., Shpagina L.A., Kuropatova E.V., Kareva N.P., Rerikh V.V. The influence of walking in an exoskeleton on rehabilitation of patients with spinal cord injury consequences. *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice)*. 2023;13(3):58–66. (In Russ.) <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2023.3.2>

**Received:** 21 October 2022

**Accepted:** 31 October 2023

**Online first:** 20 November 2023

**Published:** 28 December 2023

\*Corresponding author

### 1. Введение

Последствия травм спинного мозга являются часто тяжелыми и необратимыми для пострадавших, сложными в отношении лечения и реабилитации. Более двух миллионов человек в мире живут с последствиями повреждения спинного мозга [1].

Медицинская реабилитация пациентов с травмой спинного мозга на раннем этапе в острый период, стационарном и амбулаторном этапах в поздний период травмы направлена на решение целого спектра актуальных для каждого этапа задач. Подходы к выбору методов реабилитации должны меняться в зависимости от уровня повреждения спинного мозга, периода течения травмы, неврологического и соматического статуса пациента [2].

Ранний реабилитационный период спинальной травмы часто протекает на фоне нестабильной гемодинамики со склонностью к снижению артериального давления в покое, а также угрозой развития различных осложнений, связанных с длительным нахождением пациентов в горизонтальном положении. С целью активизации нейровосстановительных процессов и профилактики развития вторичных осложнений при отсутствии противопоказаний под контролем показателей функции

сердечно-сосудистой системы уже в острый период ПСМТ в тренировочный процесс включается пассивный перевод пациентов в вертикальное положение. Это позволяет ускорить восстановление пространственной ориентации, преодоление страха перед вертикальным положением и формирование положительной мотивации пациентов к продолжению реабилитации [3, 4].

В поздний период травмы спинного мозга внимание специалистов акцентировано на максимально возможном восстановлении утраченных функций, а также создании необходимых условий для поддержания здоровья и долголетия пациента. Традиционно реабилитация таких пациентов была сосредоточена на обучении компенсаторным стратегиям. Позже, с появлением концепции нейропластичности, в реабилитационном процессе начали активно использовать стационарные роботизированные устройства, не только облегчающие вертикализацию пациента, но и обеспечивающие имитацию восстановления утраченной двигательной функции, воздействуя таким образом на нервно-мышечную проводимость [5].

В настоящее время для восполнения утраченной функции ходьбы на смену стационарным локомоторным



Рис. 1. Экзоскелет ExoAtlet® в положении «сидя»  
Fig. 1. ExoAtlet® exoskeleton in the sitting position

ассистирующим роботам приходят медицинские экзоскелеты. Все медицинские экзоскелеты состоят из механической конструкции с электрическими двигателями, которая повторяет контуры туловища и нижних конечностей, а также процессора для управления экзоскелетом, работающего по принципу биологической обратной связи. В опубликованных исследованиях российских и зарубежных авторов было показано, что регулярная ходьба в экзоскелете обеспечивает укрепление костно-мышечного аппарата вследствие непрерывных пассивных движений всех групп мышц и суставов нижних конечностей, а следовательно, увеличивает способность пациентов к самообслуживанию [6, 7].

Возможность передвигаться в вертикальном положении улучшает психоэмоциональное состояние пациентов, мотивирует их к более активному участию в процессе реабилитации даже в случаях тяжелой степени повреждения спинного мозга [8]. Робот-ассистированная реабилитация открывает новые перспективы для больных с последствиями ПСМТ, однако до настоящего времени недостаточно данных о комбинировании реабилитационных тренировок в экзоскелете с другими методами реабилитации, не проводился сравнительный анализ эффективности комплексной реабилитации пациентов с тяжелыми нарушениями двигательной функции нижних конечностей с использованием традиционных методов и с использованием ассистирующих роботов.

В настоящее время в качестве одного из основных средств оценки результатов реабилитации при травме

спинного мозга используется специализированный опросник SCIM III «Измеритель независимости при повреждениях спинного мозга». По мнению ряда авторов, увеличение общего балла по данной оценочной шкале на один балл уже является показателем эффективности проведенного реабилитационного лечения [9].

В связи с указанными выше данными, представляет практический интерес оценка влияния включения тренировочной ходьбы в экзоскелете в комплексную реабилитацию пациентов с тяжелыми двигательными нарушениями функции нижних конечностей вследствие позвоночно-спинномозговой травмы.

## 2. Материалы и методы

Участие в исследовании приняли 120 человек в возрасте от 19 до 55 лет с повреждением спинного мозга вследствие позвоночно-спинномозговой травмы на грудном и поясничном уровне.

Для тренировочной ходьбы использовался экзоскелет ExoAtlet® производства ООО «ЭкзоАтлет», Россия (регистрационный номер РЗН 2016/4360). Экзоскелет является аппаратно-программным комплексом, состоящим из моторизованного каркаса, надеваемого на человека, и закрепляемой на этом каркасе специальной амуниции, укомплектованной процессором для регистрации телеметрических данных во время тренировки и формирования сигналов управления на основе анализа этих данных (см. рис. 1). Данное устройство обеспечивает поддержание вертикальной позы и процесс ходьбы по ровной поверхности, а при определенных навыках — с элементами подъема и спуска. Экзоскелет ExoAtlet относится к медицинским изделиям, применяемым для медицинской реабилитации, а также социальной адаптации пациентов с нарушениями ходьбы вследствие травм или заболеваний опорно-двигательного аппарата и нервной системы.

Критериями включения в исследование были вес пациентов не более 100 кг, рост от 160 см до 190 см, а также уровень поражения позвоночника на уровне не выше первого грудного позвонка, давность травмы более 12 месяцев, нарушение функционирования и ограничение жизнедеятельности по шкале реабилитационной маршрутизации (ШРМ) 4–5 баллов.

Критериями исключения были наличие у пациентов противопоказаний к применению экзоскелета и методов аппаратной физиотерапии, используемых в программе реабилитации.

Протокол клинического исследования одобрен локальным этическим комитетом, информированное согласие дали все пациенты.

Все пациенты были разделены на две группы, сопоставимые по полу, возрасту и давности травмы. В группу I вошли 80 человек (57 мужчин и 23 женщины, средний возраст  $36,7 \pm 9,1$  года, средний рост  $175 \pm 5,3$  см). Давность травмы пациентов в группе I составляла от 1 года до 15 лет, средняя продолжительность посттравматического периода составила  $73,4 \pm 5,31$  мес.

В этой группе 21 (26,3%) пациент находился в восстановительном периоде (от 1 года до 3 лет после травмы), 59 (73,7%) — в позднем периоде (более 3 лет после травмы).

Группа II включала 40 участников (27 мужчин и 13 женщин, средний возраст  $37,3 \pm 7,1$  года, средний рост  $172 \pm 7,1$  см). Давность травмы пациентов в группе II находилась в диапазоне от 1 года до 19 лет, средняя продолжительность посттравматического периода составила  $78,3 \pm 4,72$  мес. В восстановительном периоде находились 10 (24,2%) пациентов, в позднем периоде — 30 (75,8%).

В обеих группах реабилитационные мероприятия с учетом значения ШРМ осуществлялись в условиях нахождения пациентов в круглосуточном стационаре. В группе I программа комплексной реабилитации включала тренировки в экзоскелете (рис. 2), состоявшие из двух курсов продолжительностью  $21 \pm 2,5$  дня каждый, с перерывом между ними длительностью 30 дней. Тренировочные занятия проходили ежедневно на протяжении 15–18 дней, длительность каждой тренировки составляла 30–60 минут. Тренировкам в экзоскелете предшествовали от 3 до 5 занятий в балансировочном тренажере. Тренировки посредством экзоскелета сочетались с лечебной гимнастикой, электростимуляцией мышц спины, брюшного пресса и нижних конечностей, низкоинтенсивной магнитотерапией на область

спастичных мышц и/или на область травмы позвоночника и массажем нижних конечностей и сегментарной зоны. Процесс тренировки в экзоскелете проводился под контролем изменения частоты дыхания, артериального давления и пульса пациента. Критериями адекватной переносимости пациентом физической нагрузки служили учащение дыхания не более чем на 8–10 дыхательных движений в минуту, повышение систолического артериального давления не более чем на 20–30 мм рт. ст. и диастолического артериального давления не более чем на 10–12 мм рт. ст., учащение пульса не более чем на 20–30 ударов в минуту по сравнению с исходными значениями.

Пациенты группы II также проходили два курса реабилитации по аналогичной программе, но вместо тренировок в экзоскелете проводились тренировки в балансировочном тренажере (см. рис. 3).

Оценка эффективности реабилитационных мероприятий проводилась с помощью шкалы SCIM III и опросника SF-36, которые заполнялись до начала и после окончания 1-го и 2-го курса, и через месяц после окончания программы реабилитации (визит 5). Шкала SCIM III «Измерение независимости пациента при повреждении спинного мозга» рекомендована для оценки функционального восстановления при травме спинного мозга [10]. Данный опросник позволяет оценить в баллах базовые жизненные и социальные



Рис. 2. Тренировочная ходьба в экзоскелете  
Fig. 2. Training walking in exoskeleton

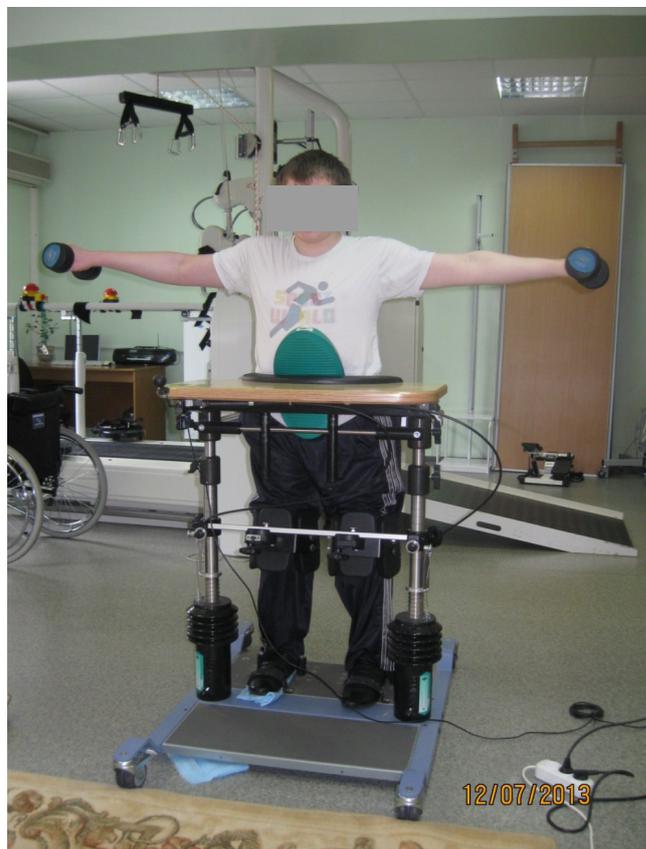


Рис. 3. Тренировка в балансировочном тренажере  
Fig. 3. Training in the balancing simulator

функции, а общий результат складывается из суммы промежуточных баллов по разделам «самообслуживание», «дыхание и управление сфинктерами», «мобильность». Также важными параметрами для исследования эффективности новых методов реабилитации и лечения являются показатели качества жизни (КЖ), включающие физический и психологический компоненты здоровья. Для регистрации этих компонентов использовался опросник качества жизни SF-36. Для оценки неврологического статуса использовалась шкала ASIA, являющаяся международным стандартом неврологической классификации травмы спинного мозга.

Статистическая обработка данных осуществлялась в свободно распространяемой бесплатной версии программы RStudio (USA, URL <https://www.rstudio.com/>) на свободно распространяемом языке R (версии URL <https://www.R-project.org/>). Описательная статистика включала расчет медиан, интерквартильного интервала (ИКИ), среднего значения и стандартного отклонения (СО) для числовых данных, минимальных и максимальных значений для непрерывных данных, расчет количества и долей для бинарных и категориальных данных. Для сравнения динамики показателей до и после лечения на разных визитах для числовых данных проведен расчет медиан, ИКИ, среднего значения и СО с использованием критерия Вилкоксона и непарного *U*-критерия Манна — Уитни; для бинарных и категориальных данных — расчет показателей с использованием точного критерия Фишера.

### 3. Результаты

Выполненная перед началом реабилитационных мероприятий оценка степени неврологического дефицита на основе шкалы ASIA показала, что в группе I пациенты распределились следующим образом: полное нарушение проводимости спинного мозга и, как следствие, отсутствие двигательной функции нижних конечностей, болевой и тактильной чувствительности ниже уровня травмы (ASIA A), имелось у 53 человек (66,3%); у 11 (13,7%) пациентов полностью отсутствовали движения в ногах, но была сохранена чувствительность в аноректальной области, что свидетельствует о сохранении

сенсорной функции в крестцовых сегментах S4-S5 (ASIA B). Движения в нижних конечностях были частично сохранены у 16 (20,0%) пациентов, однако более половины ключевых мышц ниже неврологического уровня имели силу менее 3 баллов (ASIA C). Из-за существенного снижения силы ключевых мышц ниже уровня поражения эти пациенты, как и пациенты с неврологическим дефицитом типа ASIA A и B, для самостоятельного перемещения использовали кресло-коляску. Пациенты группы II по степени неврологического дефицита распределились следующим образом: ASIA A — 25 человек (62,1%), ASIA B — 5 человек (12,9%), ASIA C — 10 человек (25,0%) (табл. 1).

Оценка результатов тестирования с использованием шкалы ASIA по окончании двух курсов реабилитации не выявила изменений неврологического статуса пациентов. Распределение пациентов по шкале на типы A, B и C осталось неизменным. Однако в процессе прохождения реабилитации и по завершению двух курсов отмечались положительные изменения в функциональном статусе пациентов.

Основным параметром клинической эффективности в процессе реабилитации являлась динамика величины среднего балла по шкале SCIM III.

В группе I общий средний балл по данной шкале увеличился к завершающему тестированию на  $3,4 \pm 0,72$  по сравнению с исходным значением и составил  $70,2 \pm 10,21$  балла ( $p < 0,05$ ). В группе II общий средний балл также вырос, но это увеличение не было статистически значимым (табл. 2).

Результаты статистической обработки значений шкалы SCIM III по завершении двух этапов реабилитации продемонстрировали, что доля пациентов в группе I, у которых суммарный балл возрос на один балл и более, составила 51,3%, причем в 9% случаев это увеличение составило от 10 до 40 баллов. В группе II доля пациентов с увеличением суммарного балла на один и более составила 37,5%.

При оценке качества жизни пациентов с помощью анкеты SF-36 в группе I было отмечено достоверное увеличение показателя психологического здоровья (MHSUM) ( $p < 0,05$ ), величина среднего балла, отражающего

Таблица 1

Распределение пациентов по степени неврологического дефицита, шкала ASIA

Table 1

Distribution of patients by degree of neurological deficit, ASIA scale

Группы	шкала ASIA						Итого
	A		B		C		
	абс	%	абс	%	абс	%	
Всего	78	65	16	13,3	26	21,7	120
I	53	66,3	11	13,7	16	20,0	80
II	25	62,1	5	12,9	10	25,0	40

Таблица 2

Динамика величины среднего балла по шкале SCIM III «Измерение независимости пациента при повреждениях спинного мозга» ( $M \pm SD$ )

Table 2

Dynamics of the average score on the SCIM III scale “Measurement of patient independence in spinal cord injuries” ( $M \pm SD$ )

Параметры оценки по шкале SCIM III	Максимальный балл по шкале SCIM III	Группа I ( $n = 80$ )		Группа II ( $n = 40$ )	
		До начала реабилитации	Через месяц после реабилитации	До начала реабилитации	Через месяц после реабилитации
Самообслуживание	20	18,2 ± 3,08	18,8 ± 2,74	17,9 ± 4,16	18,5 ± 3,62
Дыхание и управление сфинктерами	40	30,6 ± 7,22	31,9 ± 4,43*	30,9 ± 6,92	31,3 ± 7,18
Мобильность	40	18,6 ± 6,38	19,4 ± 5,46	19,1 ± 6,57	19,3 ± 6,20
Общий балл	100	66,7 ± 9,56	70,2 ± 10,21*	66,9 ± 9,63	68,0 ± 12,44

Примечание: \* — статистически значимые различия по отношению к периоду до начала реабилитации ( $p < 0,05$ ).

Note: \* — statistically significant differences in relation to the period before the start of rehabilitation ( $p < 0.05$ ).

Таблица 3

Динамика показателей физического и психологического компонентов здоровья пациентов, анкета SF-36 ( $M \pm SD$ )

Table 3

Dynamics of indicators of physical and psychological components of patients' health, questionnaire SF-36 ( $M \pm SD$ )

Параметры оценки анкеты SF-36	Группа I ( $n = 80$ )		Группа II ( $n = 40$ )	
	До начала реабилитации	Через месяц после реабилитации	До начала реабилитации	Через месяц после реабилитации
RH sum max. 100 баллов	34,9 ± 6,82	35,6 ± 5,06	33,7 ± 8,48	34,9 ± 9,38
MH sum max. 100 баллов	56,0 ± 7,97	59,5 ± 5,24*	57,2 ± 8,70	58,7 ± 9,22

Примечание: \* — статистически значимые различия по отношению к периоду до начала реабилитации,  $p < 0,05$ .

Note: \* — statistically significant differences in relation to the period before the start of rehabilitation,  $p < 0.05$ .

физический компонент здоровья (RH sum), имела тенденцию к повышению значений. В группе II на фоне проведения реабилитационных мероприятий показатели физического и психологического здоровья также имели тенденцию к улучшению, однако эти изменения не были статистически значимыми (табл. 3).

#### 4. Обсуждение

Важной клинической характеристикой пациентов с последствиями спинальной травмы, поступающих на второй этап медицинской реабилитации в стационар, является тяжелая степень повреждения спинного мозга с потерей сенсорной и моторной функции ниже неврологического уровня. В проведенном исследовании у 78 % пациентов повреждение было полным или неполным с сохранением чувствительности, но отсутствием движений, что соответствует типам А и В по шкале ASIA,

а клинически, с учетом уровня повреждения, проявляется нижней параплегией. Такие пациенты пожизненно вынуждены пользоваться инвалидной коляской, что существенно ограничивает их жизнедеятельность и снижает качество жизни. Полученные в ходе исследования результаты показывают, что для данной группы пациентов включение курсовых тренировок в экзоскелете в стандартные программы комплексной реабилитации оптимизирует процесс функционального восстановления. О положительной динамике уровня активного функционирования говорит статистически значимое увеличение общего балла по шкале SCIM III. При статистической обработке было установлено, что почти у половины пациентов, получавших реабилитацию посредством экзоскелета, произошло существенное изменение уровня активного функционирования в сторону улучшения — у 51,3 % пациентов зарегистрировано

увеличение общего балла более чем на один, в то время как в группе II таких пациентов было только 37,5%.

Изменение величины промежуточных баллов по разделам «самообслуживание», «дыхание и управление сфинктерами», «мобильность» свидетельствует о повышении функциональной активности в обеих группах, но статистически значимое увеличение через месяц после окончания медицинской реабилитации получено только в группе I по разделу «дыхание и управление сфинктерами». Положительная динамика функции тазовых органов вызывает особый интерес, так как улучшение контроля за актами мочеиспускания и дефекации является одной из наиболее сложных задач при реабилитации больных с ПСМТ [11]. Полученные результаты совпадают с данными более ранних исследований, в которых установлено, что при систематической вертикализации и ходьбе с помощью экзоскелета наблюдается тенденция к нормализации тонуса мышечной диафрагмы, собственно диафрагмы и повышению внутрибрюшного давления, что уменьшает симптомы нарушения акта дефекации [12, 13].

Появление утраченной возможности передвигаться с опорой на нижние конечности в период тренировок в экзоскелете способствует повышению удовлетворенности результатами реабилитации, мотивирует пациентов к более активному участию в реабилитационном процессе независимо от периода травмы [14, 15, 16]. Повышение активного функционирования под влиянием комплексной реабилитации на основе тренировок в экзоскелете ведет к улучшению качества

#### Вклад авторов:

**Гвоздарева Мария Андреевна** — вклад в замысел и дизайн исследования, сбор данных, их анализ и интерпретация;

**Шпагина Любовь Анагольевна** — критический пересмотр в части значимого интеллектуального содержания;

**Карева Нина Петровна** — существенный вклад в замысел и дизайн исследования, критический пересмотр статьи;

**Куропатова Екатерина Викторовна** — сбор данных, их анализ и интерпретация;

**Рерих Виктор Викторович** — окончательное одобрение варианта статьи для опубликования.

#### Список литературы

1. Nowrouzi B., Assan-Lebbe A., Sharma B., Casole J., Nowrouzi-Kia B. Spinal cord injury: a review of the most-cited publications. *Eur Spine J.* 2017;26(1):28–39. <https://doi.org/10.1007/s00586-016-4669-z>
2. Прудникова О.Г., Качесова А.А., Рябых С.О. Реабилитация пациентов в отдаленном периоде травмы спинного мозга: мета-анализ литературных данных. *Хирургия позвоночника.* 2019;16(3):8–16. <https://doi.org/10.14531/ss2019.3.8-16>
3. Белкин А.А., Алашеев А.М., Белкин В.А., Белкина Ю.Б., Белова А.Н., Бельский Д.В., и др. Реабилитация в отделении реанимации и интенсивной терапии (Ре-

жизни, что подтверждается результатами оценки здоровья с помощью опросника SF-36, являющегося адекватным инструментом исследования сравнительной эффективности восстановительного лечения. Общий индекс МН sum, включающий оценку психического здоровья, ролевого и социального функционирования, связанного с эмоциональным состоянием, к завершению двух курсов реабилитации возрос в группе I с 56,0 до 59,5 балла ( $p < 0,05$ ), причем улучшение психологического состояния сохранялось и через месяц после завершения программы реабилитации. В группе II достоверного изменения данного показателя не произошло.

#### 5. Заключение

Включение тренировочной ходьбы в экзоскелете в программу реабилитации пациентов с последствиями ПСМТ способствует более эффективному восстановлению уровня активного функционирования и улучшению показателей качества жизни в сравнении со стандартными методами реабилитации. В ходе исследования установлена хорошая переносимость тренировочной ходьбы в экзоскелете не только у пациентов с неврологическим дефицитом категории ASIA C, но и в наиболее тяжелой группе пациентов с неврологическим дефицитом типа ASIA B и ASIA A. Полученные результаты позволяют рекомендовать метод тренировочной ходьбы в экзоскелете для реабилитации пациентов с нижней параплегией и тяжелым парализом вследствие позвоночно-спинномозговой травмы.

#### Authors' contributions:

**Maria A. Gvozdareva** — contribution to study conception and design, data collection, analysis and interpretation;

**Lubov A. Shpagina** — critical revision in terms of significant intellectual content;

**Nina P. Kareva** — a significant contribution to the concept and design of the study, a critical review of the article;

**Ekaterina V. Kuropatova** — data collection, analysis and interpretation;

**Victor V. Rerikh** — final approval of the version of the article for publication.

#### References

1. Nowrouzi B., Assan-Lebbe A., Sharma B., Casole J., Nowrouzi-Kia B. Spinal cord injury: a review of the most-cited publications. *Eur Spine J.* 2017;26(1):28–39. <https://doi.org/10.1007/s00586-016-4669-z>
2. Prudnikova O.G., Kachesova A.A., Ryabykh S.O. Rehabilitation of patients in late period after spinal cord injury: a meta-analysis of literature data. *Russian Journal of Spine Surgery (Khirurgiya Pozvonochnika)*. 2019;16(3):8–16 (In Russ.). <https://doi.org/10.14531/ss2019.3.8-16>
3. Belkin A.A., Alasheev A.M., Belkin V.A., Belkina Yu.B., Belova A.N., Bel'skii D.V., et al. Rehabilitation in the intensive care unit (RehabICU). Clinical practice recommendations of the

абИТ). Методические рекомендации Союза реабилитологов России и Федерации анестезиологов и реаниматологов. Вестник интенсивной терапии им. А. И. Салтанова. 2022;(2):7–40. <https://doi.org/10.21320/1818-474X-2022-2-7-40>

4. **Хохлова О.И.** Реабилитационный потенциал личности и функциональная независимость лиц с травматической болезнью спинного мозга. Политравма. 2020;(3):100–107. <https://doi.org/10.24411/1819-1495-2020-10038>

5. **Joseph C., Rhoda A., Mji G., Statham S., Mlenzana N., De Wet C.** Changes in activity limitations and predictors of functional outcome of patients with spinal cord injury following inpatient rehabilitation. South African Journal of Physiotherapy. 2013;69(1):41–49. <https://doi.org/10.4102/sajp.v69i1.371>

6. **Карева Н.П., Шелякина О.В., Павлова Е.В.** Перспективы антропоморфной робототехники в восстановлении пациентов после травмы спинного мозга (обзор литературы). Современные проблемы науки и образования. 2018;(6):134.

7. **Geigle P.R., Kallins M.** Exoskeleton-Assisted walking for people with spinal cord injury. Arch. Phys. Med. Rehabil. 2017;98(7):1493–1495. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2016.12.002>

8. **Котов С.В., Лиждвой В.Ю., Секирин А.Б., Петрушанская К.А., Письменная Е.В.** Эффективность применения экзоскелета ExoAtlet для восстановления функции ходьбы у больных рассеянным склерозом. Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. Спецвыпуски. 2017;117(10-2):41–47. <https://doi.org/10.17116/jnevro201711710241-47>

9. **Musselman K.E., Verrier M.C., Flett H., Nadeau S., Yang J.F., Farahani F., et al.** Development of Walking indicators to advance the quality of spinal cord injury rehabilitation: SCI-High Project. J. Spinal Cord Med. 2019;42(sup1):119–129. <https://doi.org/10.1080/10790268.2019.1647385>

10. **Васильченко Е.М., Золоев Г.К., Кислова А.С., Костров В.В., Ляховецкая В.В., Карапетян К.К., и др.** Измеритель независимости при повреждениях спинного мозга (SCIM III). Подготовка русскоязычной версии. Медико-социальная экспертиза и реабилитация. 2016;19(2):96–102. <https://doi.org/10.18821/1560-9537-2016-19-2-96-102>

11. **Baunsgaard C.B., Nissen U.V., Brust A.K., Frotzler A., Ribeill C., Kalke Y.B., et al.** Exoskeleton gait training after spinal cord injury: An exploratory study on secondary health conditions. J. Rehabil. Med. 2018;50(9):806–813. <https://doi.org/10.2340/16501977-2372>

12. **Benson I., Hart K., Tussler D., van Middendorp J.J.** Lower-limb exoskeletons for individuals with chronic spinal cord injury: findings from a feasibility study. Clin. Rehabil. 2016;30(1):73–84. <https://doi.org/10.1177/0269215515575166>

13. **Chun A., Asselin P.K., Knezevic S., Kornfeld S., Bauman W.A., Korsten M.A., et al.** Changes in bowel function following exoskeletal-assisted walking in persons with spinal cord injury: an observational pilot study. Spinal Cord. 2020;58(4):459–466. <https://doi.org/10.1038/s41393-019-0392-z>

14. **Esquenazi A., Talaty M., Packel A., Saulino M.** The Re-Walk powered exoskeleton to restore ambulatory function to individuals with thoracic-level motor-complete spinal cord injury. Am. J. Phys. Med. Rehabil. 2012;91(11):911–921. <https://doi.org/10.1097/PHM.0b013e318269d9a3>

15. **Miller L.E., Zimmermann A.K., Herbert W.G.** Clinical effectiveness and safety of powered exoskeleton-assisted walking in patients with spinal cord injury: systematic review with meta-analysis. Med. Devices (Auckl). 2016;9:455–466. <https://doi.org/10.2147/MDER.S103102>

national Union of Physical and Rehabilitation Medicine Specialists of Russia and of the national Federation of Anesthesiologists and Reanimatologists. Annals of Critical Care. 2022;(2):7–40 (In Russ.). <https://doi.org/10.21320/1818-474X-2022-2-7-40>

4. **Khokhlova O.I.** Rehabilitation Potential of Personality and Functional Independence of Persons With Traumatic Spinal Cord Injury. Politravma = Polytrauma. 2020;(3):100–107 (In Russ.). <https://doi.org/10.24411/1819-1495-2020-10038>

5. **Joseph C., Rhoda A., Mji G., Statham S., Mlenzana N., De Wet C.** Changes in activity limitations and predictors of functional outcome of patients with spinal cord injury following inpatient rehabilitation. South African Journal of Physiotherapy. 2013;69(1):41–49. <https://doi.org/10.4102/sajp.v69i1.371>

6. **Kareva N.P., Shelyakina O.V., Pavlova E.V.** The Prospects of Anthropomorphic Robotics in Rehabilitation of Patients After Spinal Cord Injury (Review). Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya = Modern problems of science and education. 2018;(6):134 (In Russ.).

7. **Geigle P.R., Kallins M.** Exoskeleton-Assisted walking for people with spinal cord injury. Arch. physio. Med. Rehabil. 2017;98(7):1493–1495. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2016.12.002>

8. **Kotov S.V., Lijdvoy V.Yu., Sekirin A.B., Petrushanskaya K.A., Pismennaya E.V.** The efficacy of the exoskeleton ExoAtlet to restore walking in patients with multiple sclerosis. Zhurnal nevrologii i psikiatrii im. S.S. Korsakova = Korsakov's Journal of Neurology and Psychiatry. 2017;117(10-2):41–47 (In Russ.). <https://doi.org/10.17116/jnevro201711710241-47>

9. **Musselman K.E., Verrier M.C., Flett H., Nadeau S., Yang J.F., Farahani F., et al.** Development of Walking indicators to advance the quality of spinal cord injury rehabilitation: SCI-High Project. J. Spinal Cord Med. 2019;42(sup1):119–129. <https://doi.org/10.1080/10790268.2019.1647385>

10. **Vasilchenko E.M., Zoloev G.K., Kislova A.S., Kostrov V.V., Lyakhovetskaya V.V., Karapetyan K.K., et al.** Spinal Cord Independence Measure (SCIM-III). Preparation of the Russian-language version. Medical and Social Expert Evaluation and Rehabilitation. 2016;19(2):96–102 (In Russ.). <https://doi.org/10.18821/1560-9537-2016-19-2-96-102>

11. **Baunsgaard C.B., Nissen U.V., Brust A.K., Frotzler A., Ribeill C., Kalke Y.B., et al.** Exoskeleton gait training after spinal cord injury: An exploratory study on secondary health conditions. J. Rehabil. Med. 2018;50(9):806–813. <https://doi.org/10.2340/16501977-2372>

12. **Benson I., Hart K., Tussler D., van Middendorp J.J.** Lower-limb exoskeletons for individuals with chronic spinal cord injury: findings from a feasibility study. Clin. Rehabil. 2016;30(1):73–84. <https://doi.org/10.1177/0269215515575166>

13. **Chun A., Asselin P.K., Knezevic S., Kornfeld S., Bauman W.A., Korsten M.A., et al.** Changes in bowel function following exoskeletal-assisted walking in persons with spinal cord injury: an observational pilot study. Spinal Cord. 2020;58(4):459–466. <https://doi.org/10.1038/s41393-019-0392-z>

14. **Esquenazi A., Talaty M., Packel A., Saulino M.** The Re-Walk powered exoskeleton to restore ambulatory function to individuals with thoracic-level motor-complete spinal cord injury. Am. J. Phys. Med. Rehabil. 2012;91(11):911–921. <https://doi.org/10.1097/PHM.0b013e318269d9a3>

15. **Miller L.E., Zimmermann A.K., Herbert W.G.** Clinical effectiveness and safety of powered exoskeleton-assisted walking in patients with spinal cord injury: systematic review with meta-analysis. Med. Devices (Auckl). 2016;9:455–466. <https://doi.org/10.2147/MDER.S103102>

16. **Даминов В.Д., Ткаченко П.В.** Экзоскелеты в медицине: мировой опыт и клиническая практика Пироговского центра. Вестник национального медико-хирургического Центра им. Н.И. Пирогова. 2017;12(4):17–22.

16. **Daminov V.D., Tkachenko P.V.** Exoskeletons in Medicine: World Experience and Clinical Practice of the Pirogov Center. Bulletin of Pirogov National Medical & Surgical Center. 2017;12(4):17–22 (In Russ.).

#### Информация об авторах:

**Гвоздарева Мария Андреевна**, заведующий физиотерапевтическим отделением, ФГБУ «Новосибирский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Я.Л. Цивьяна» Минздрава России, Россия, 630091, Новосибирск, ул. Фрунзе, 17. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6774-6497> (masha\_gvozdareva@mail.ru)

**Шпагина Любовь Анатольевна**, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой госпитальной терапии и медицинской реабилитации, ФГБУ ВО «Новосибирский государственный медицинский университет» Минздрава России, Россия, 630091, Новосибирск, Красный пр., 52. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0871-7551> (lashpagina@gmail.com)

**Карева Нина Петровна**, доктор медицинских наук, ведущий научный сотрудник отделения патологии позвоночника, ФГБУ «Новосибирский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Я.Л. Цивьяна» Минздрава России, Россия, 630091, Новосибирск, ул. Фрунзе, 17; профессор кафедры госпитальной терапии и медицинской реабилитации, ФГБУ ВО «Новосибирский государственный медицинский университет» Минздрава России, Россия, 630091, Новосибирск, Красный пр., 52. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3253-7219> (knpnsk@mail.ru)

**Куропатова Екатерина Викторовна**, врач-невролог, ФГБУ «Новосибирский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Я.Л. Цивьяна» Минздрава России, Россия, 630091, Новосибирск, ул. Фрунзе, 17 (EKuropatova@niito.ru)

**Рерих Виктор Викторович**, доктор медицинских наук, начальник научно-исследовательского отделения патологии позвоночника, ФГБУ «Новосибирский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Я.Л. Цивьяна» Минздрава России, Россия, 630091, Новосибирск, ул. Фрунзе, 17. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8545-0024> (clinic@niito.ru)

#### Information about the authors:

**Mariia A. Gvozdareva\***, Head of the Physiotherapeutic Department, Physiotherapist, Ya.L. Tsivyan Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopaedics, Novosibirsk, Russia, 630091, Novosibirsk, st. Frunze, 17, ORCID: 0000-0001-6774-6497 (MGvozdareva@niito.ru)

**Lubov A. Shpagin**, M.D., D.Sc. (Medicine), Professor, Head of the Department of Hospital Therapy and Medical Rehabilitation, Novosibirsk State Medical University, Novosibirsk, Russia, 630091, Novosibirsk, Krasny pr., 52. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0871-7551> (lashpagina@gmail.com)

**Nina P. Kareva**, M.D., D.Sc. (Medicine), Leading Researcher, Department of Spine Pathology, Ya.L. Tsivyan Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopaedics, Novosibirsk, Russia, 630091, Novosibirsk, st. Frunze, 17; Professor of the Department of Hospital Therapy and Medical Rehabilitation, Novosibirsk State Medical University, Novosibirsk, Russia, 630091, Novosibirsk, Krasny pr., 52. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3253-7219> (knpnsk@mail.ru)

**Ekaterina V. Kuropatova**, neurologist, Ya.L. Tsivyan Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopaedics, Novosibirsk, Russia, 630091, Novosibirsk, st. Frunze, 17 (EKuropatova@niito.ru)

**Viktor V. Rerikh**, M.D., D.Sc. (Medicine), Head of the Research Department of Spinal Pathology, Ya.L. Tsivyan Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopaedics, Novosibirsk, Russia, 630091, Novosibirsk, st. Frunze, 17, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8545-0024> (clinic@niito.ru)

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author