

## ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В КОМПЛЕКСНОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ ПАЦИЕНТОВ С ПОСЛЕДСТВИЯМИ ПОЗВОНОЧНО-СПИННОМОЗГОВОЙ ТРАВМЫ

Карева Н.П.<sup>1,2</sup>, Гвоздарева М.А.<sup>1</sup>, Рерих В.В.<sup>1,2</sup>, Дробышев В.А.<sup>2</sup>, Кокоулин А.Г.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ФГБУ «НИИТО им. Я.Л. Цивьяна» Минздрава России, Новосибирск, e-mail: kpnnsk@mail.ru;

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «НГМУ» Минздрава России, Новосибирск

**Цель исследования:** изучить влияние реабилитационных тренировок в стационарном и мобильном роботизированном устройстве на эффективность комплексной реабилитации пациентов с позвоночно-спинномозговой травмой (ПСМТ). В исследование включено 147 пациентов с ПСМТ на грудном и поясничном уровне, получавших реабилитацию в раннем (от 3-х месяцев до 1 года) и позднем (от 1 года до 3-х лет после травмы) восстановительном периоде в 2015-2019 гг. в Новосибирском НИИТО. Программа комплексной медицинской реабилитации включала традиционные методы (лечебную физкультуру, электромиостимуляцию, магнитотерапию, медицинский массаж) в комбинации с тренировочной ходьбой в стационарном и мобильном роботизированном устройстве. Для оценки эффективности реабилитационных мероприятий использовались шкалы ASIA, FIM, SCIM III и опросник SF-36. Установлено, что реабилитационные тренировки в форме ходьбы как в стационарном, так и в мобильном роботизированном устройстве повышают эффективность комплексной реабилитации пациентов с последствиями ПСМТ. Тренировочная ходьба в стационарном роботизированном устройстве «Локомат» в комплексе с традиционными методами реабилитации активизирует процессы нейровосстановления у пациентов с ПСМТ в ранний восстановительный период (от 6 до 12 месяцев после травмы) и повышает уровень самостоятельного функционирования пациента. Включение в программу реабилитации тренировок в экзоскелете в поздний восстановительный период (от 1 года до 3 лет после травмы) повышает уровень активного функционирования пациента и его физического и психологического здоровья.

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

## INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN COMPREHENSIVE REHABILITATION OF PATIENTS WITH CONSEQUENCES OF SPINE-SPINAL INJURY

Kareva N.P.<sup>1,2</sup>, Gvozdareva M.A.<sup>1</sup>, Rerikh V.V.<sup>1,2</sup>, Drobyshev V.A.<sup>2</sup>, Kokoulin A.G.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopaedics n.a. Ya.L. Tsiyvan, Novosibirsk, e-mail: clinic@nito.ru;

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

**Purpose of the study:** to study the effect of rehabilitation training in a stationary and mobile robotic device on the effectiveness of complex rehabilitation of patients with spinal cord injury (SCI). The study included 147 patients with SCI at the thoracic and lumbar levels who received rehabilitation in the early (from 3 months to 1 year) and late (from 1 to 3 years after injury) recovery period in 2015-2019. in Novosibirsk RITO. The comprehensive medical rehabilitation program included traditional methods (physiotherapy exercises, electromyostimulation, magnetotherapy, medical massage) in combination with walking training in a stationary and mobile robotic device. To assess the effectiveness of rehabilitation measures, the ASIA, FIM, SCIM III scales and the SF-36 questionnaire were used. It was found that rehabilitation training in the form of walking, both in a stationary and in a mobile robotic device, increases the effectiveness of complex rehabilitation of patients with the consequences of SCI. Walking training in a stationary robotic device "Lokomat" in combination with traditional methods of rehabilitation activates the processes of neurorecovery in patients with SCI in the early recovery period (from 6 to 12 months after injury) and increases the level of independent functioning of the patient. Inclusion in the rehabilitation program of training in an exoskeleton in the late recovery period (from 1 to 3 years after injury). increases the level of active functioning of the patient and his physical and psychological health.

**Keywords:** spinal cord injury, movement disorders, complex rehabilitation, robot-assisted rehabilitation, exoskeleton

Повреждения спинного мозга травматического генеза являются актуальной медико-социальной проблемой из-за высокого уровня инвалидизации и социально-психологической

дезадаптации пациентов. Ежегодно в России около 10 000 человек получают позвоночно-спинномозговую травму (ПСМТ) с последующим развитием травматической болезни спинного мозга. По некоторым оценкам, в настоящее время число пациентов с последствиями ПСМТ в России составляет более 200 000 человек, среди которых большинство – это лица трудоспособного возраста, чаще молодые мужчины от 18 до 45 лет. К сожалению, при травме грудного и поясничного отделов позвоночника типа А3, В1-4 с неврологической симптоматикой (классификация переломов АО/ASIF), около 80% больных признаются инвалидами 1-й и 2-й групп, несмотря на проводимое лечение и реабилитационные мероприятия в ранний и промежуточный периоды [1]. В сроки от 3 месяцев до 3 лет после травмы возможно восстановление двигательных навыков и чувствительности за счет процессов компенсации или замещения утраченных функций, поэтому при ведении больных с последствиями позвоночно-спинномозговой травмы на втором и третьем этапах медицинской реабилитации указанный период определяется как «восстановительный» [2]. Основной целью реабилитационных мероприятий в этот период становится максимально возможное восстановление функции поврежденного спинного мозга и, соответственно, двигательной функции конечностей и функции тазовых органов. В случае тяжелой степени повреждения спинного мозга значение реабилитации возрастает, так как реабилитационные мероприятия становятся необходимыми не только для сохранения физического и психического здоровья, но и для поддержания качества жизни этой категории больных [3, 4].

Основой программы индивидуальной реабилитации в восстановительный период традиционно является лечебная физкультура (ЛФК) и аппаратная физиотерапия. При проведении индивидуальных или групповых занятий ЛФК обязательно используются лечебная гимнастика с включением специальных упражнений, направленных на укрепление мышц туловища и конечностей, занятия на специализированных тренажерах для тренировки баланса [5, 6]. С целью обезболивания, снижения спастичности, активации трофических и репаративных процессов в структурах опорно-двигательного аппарата применяется лазеротерапия, магнитотерапия, медицинский массаж, с целью восстановления функции нервно-мышечного аппарата и двигательных навыков – чрескожная электронейростимуляция спинного мозга, мышц спины и нижних конечностей [7, 8]. Эффективность рекомендуемых технологий и методов имеет уровень доказательности не менее 2, при уровне убедительности рекомендаций от А до С.

Новые возможности реабилитации появились благодаря внедрению в клиническую практику стационарных и мобильных ассистирующих роботизированных устройств, позволяющих воссоздать физиологический алгоритм движений туловища и конечностей у пациента с двигательным дефицитом. Наиболее известным и исследованным стационарным

роботизированным комплексом для локомоторной терапии является аппарат «Локомат» (производитель «Hocoma AG», Швейцария). Тренировки с помощью этого аппаратно-программного устройства могут дополнять традиционную комплексную реабилитацию уже в первое полугодие после травмы [9]. К недостаткам стационарных ассистирующих роботизированных устройств относится невозможность проведения тренировок на неподвижной поверхности без систем разгрузки веса, отсутствие мобильности пациента и низкая степень его участия в реабилитационном процессе. Таких недостатков не имеет экзоскелет – роботизированное инновационное устройство, увеличивающее силу человека за счет внешнего механизированного каркаса. В исследованиях отечественных и зарубежных авторов было установлено, что передвижение в экзоскелете обеспечивает активацию и укрепление костно-мышечного аппарата вследствие непрерывных пассивных движений всех групп мышц и суставов нижних конечностей, что увеличивает способность к самообслуживанию. Благодаря появившейся возможности не только находиться, но и передвигаться в вертикальном положении, улучшается психоэмоциональное состояние пациента, возрастает мотивация больного к активному участию в реабилитационном процессе [10, 11]. Данная технология открывает новые перспективы для совершенствования программ медицинской реабилитации больных с последствиями ПСМТ. Однако широкому применению ассистирующих роботизированных устройств на этапах реабилитации препятствует не только их высокая стоимость и необходимость специального обучения медицинского персонала, но и недостаточное изучение вопроса комбинирования реабилитационных тренировок на основе этих устройств и традиционных методов реабилитации с уже доказанной эффективностью.

Цель исследования: изучить влияние реабилитационных тренировок в стационарном и мобильном роботизированном устройстве на эффективность комплексной реабилитации пациентов с ПСМТ в восстановительном периоде.

**Материал и методы исследования.** В исследование было вовлечено 147 пациентов с последствиями ПСМТ на грудном и поясничном уровне, получавших лечение и реабилитацию в Новосибирском НИИТО с 2015 по 2019 годы. Проводилась оценка эффективности комплексной медицинской реабилитации с использованием традиционных методов в комбинации с тренировками в стационарном и мобильном роботизированном устройстве в восстановительный период (от 3 месяцев до 3 лет после травмы). Для достижения цели исследования период от 3-х месяцев до 1 года после травмы был определен нами как «ранний восстановительный период», срок от 1 года до 3-х лет после травмы – как «поздний восстановительный период».

Критерии включения в исследование: возраст пациентов от 19 до 55 лет, вес не более 100 кг, рост от 160 до 190 см, уровень неврологического поражения не выше Th1, степень

нарушения проводимости спинного мозга по шкале ASIA от А до D, способность длительно (не менее 30 минут) находиться в вертикальном положении без патологических вегетативных реакций (ортостатическая гипотензия, тахи- либо брадикардия, аритмия и др.).

Критериями невключения пациентов было наличие противопоказаний к применению ассистирующих роботизированных устройств и методов аппаратной физиотерапии, перечень которых представлен в соответствующих руководствах пользователя. Протокол клинического исследования одобрен локальным этическим комитетом, от всех пациентов получено информированное согласие.

Исследование проводилось в два этапа. На первом этапе, в 2015-2017 гг., изучалось влияние реабилитационных тренировок в стационарном роботизированном устройстве на эффективность комплексной реабилитации пациентов с ПСМТ в раннем восстановительном периоде. Для решения поставленной задачи методом рандомизации были сформированы группа наблюдения 1 (63 чел.) и группа сравнения 1 (42 чел.). Пациенты обеих групп имели неполное повреждение спинного мозга с нижним парапарезом (тип С и D по шкале ASIA), давность травмы колебалась от 6 до 12 месяцев. Включение в исследование пациентов с более тяжелым поражением спинного мозга (тип А и В по шкале ASIA), а также в сроки ранее полугода после травмы на этом этапе оказалось невозможным из-за наличия тех или иных противопоказаний, чаще всего связанных с последствиями травмы (незавершившийся процесс консолидации костной ткани, нарушение целостности кожного покрова, пролежни в зоне предполагаемого воздействия реабилитационными методами лечения и др.).

На втором этапе исследования (2017-2019 гг.) в программу комплексной реабилитации пациентов с ПСМТ была включена тренировочная ходьба в мобильном роботизированном устройстве. Методом рандомизации были сформированы группы наблюдения 2 (22 чел.) и сравнения 2 (20 чел.), в которые вошли пациенты с нижней параплегией или парапарезом (тип А, В и С по шкале ASIA) и давностью травмы от 1 года до 3 лет, способные к самостоятельному передвижению в инвалидной коляске.

Индивидуальная программа реабилитации на обоих этапах во всех группах включала, помимо медикаментозной поддержки, стандартные реабилитационные мероприятия с доказанной эффективностью: индивидуальную лечебную гимнастику, многоканальную электростимуляцию мышц спины, брюшного пресса и/или нижних конечностей, магнитотерапию на спастичные мышцы и/или на область травмы позвоночника и медицинский массаж нижних конечностей и сегментарной зоны. В группах наблюдения для роботизированной механотерапии на первом этапе использовался стационарный реабилитационный комплекс для локомоторной терапии «Lokomat» («НОСОМА АГ» Швейцария, регистрационное удостоверение ФС №2005/1111), на втором этапе исследования

- экзоскелет ExoAtlet® (ООО «ЭкзоАтлет», Россия, регистрационное удостоверение № РЗН 2016/4360). Курс восстановительного лечения занимал от 4 до 6 недель.

Оценка эффективности реабилитационных мероприятий проводилась до начала и после окончания курса реабилитации и через месяц после завершения программы реабилитации. В качестве основных оценочных инструментов использовались шкала ASIA/ISNCSCI (2015), являющаяся международным стандартом неврологической и функциональной классификации повреждений спинного мозга, шкалы FIM «Мера функциональной независимости», SCIM III «Измерение независимости пациента при повреждениях спинного мозга», а также неспецифический стандартизованный опросник SF-36 «Краткая форма оценки здоровья», применяемый для оценки качества жизни (КЖ), связанного со здоровьем.

Для описания показателей, собранных в ходе исследования, была использована описательная статистика. Для интервальных переменных было рассчитано среднее значение, стандартное отклонение. Для номинальных переменных были рассчитаны частоты категорий и доли в процентах. Принимая во внимание небольшие размеры групп пациентов, сравнение групп по всем дискретным переменным было проведено при помощи непараметрических критериев - критерия Манна-Уитни (для межгруппового сравнения), а также методом Уилкоксона-Манна-Уитни (для внутригруппового анализа). Номинальные переменные сравнивали при помощи точного метода Фишера. Различия считали статистически значимыми при уровне значимости менее установленного значения альфа, равного 0.05. Статистический анализ был проведен с использованием программного обеспечения IBM SPSS Statistics (версия 25.0).

**Результаты исследования и их обсуждение.** На основании анализа изменений неврологического статуса и способности самостоятельного функционирования пациента на фоне реабилитационных мероприятий, проведенного с помощью шкальной оценки, установлено, что в ранний восстановительный период курс комплексной медицинской реабилитации способствовал снижению степени нарушений проводимости спинного мозга как в группе наблюдения 1, так и в группе сравнения 1 (табл. 1).

Таблица 1

Степень нарушения проводимости спинного мозга по шкале ASIA у больных с ПСМТ до и после комплексной реабилитации в ранний восстановительный период

Степень нарушения	Группа наблюдения 1 (n=63)		Группа сравнения 1 (n=42)	
	Абс.	%	Абс.	%

С – неполное: двигательные функции ниже неврологического уровня поражения сохранены, половина или более ключевых мышц ниже уровня поражения имеют силу 3 баллов	$\frac{42}{25}$	$\frac{66,7}{39,7^*}$	$\frac{26}{22}$	$\frac{61,9}{52,4}$
D – неполное: двигательные функции ниже неврологического уровня поражения сохранены, половина или более ключевых мышц ниже уровня поражения имеют силу $\geq 3$ баллов	$\frac{21}{34}$	$\frac{33,3}{53,9^{*\#}}$	$\frac{16}{19}$	$\frac{38,1}{23,8}$
E – нет неврологического дефицита	$\frac{0}{4}$	$\frac{0,0}{6,4}$	$\frac{0}{1}$	$\frac{0,0}{2,4}$

Примечание: в числителе показатели до начала реабилитации, в знаменателе – через месяц после окончания реабилитации; \* – статистически значимые различия по отношению к периоду до начала реабилитации ( $p < 0,05$ ); # – статистически значимые различия по отношению к группе сравнения.

Под влиянием реабилитационных мероприятий уменьшилась доля пациентов типа ASIA C с одновременным увеличением пациентов типа ASIA D, у единичных пациентов полностью восстановилась функция спинного мозга. Однако статистически достоверной позитивная динамика неврологического статуса была только в группе наблюдения, в которой традиционные методы реабилитации дополнялись тренировками в аппарате «Локомат». Результаты оценки функциональной независимости по шкале FIM коррелировали с динамикой неврологического статуса в этих группах. До начала реабилитации суммарный балл, включающий оценку инвалидности в областях самообслуживания, контроля сфинктеров, мобильности, передвижения, общения, психосоциальной адаптации и когнитивной функции, был равен  $78 \pm 19,23$  в группе наблюдения 1 и  $80 \pm 22,47$  в группе сравнения 1, что значительно ниже его максимально возможной величины в 126 баллов. Благодаря уменьшению неврологического дефицита после курса реабилитации суммарный балл увеличился в группе наблюдения 1 до  $92,5 \pm 17,30$  ( $p < 0,05$  по отношению к периоду до начала реабилитации) и до  $86 \pm 24,65$  баллов в группе сравнения 1 ( $p > 0,05$  по отношению к периоду до начала реабилитации).

На втором этапе исследования для оценки эффективности реабилитационных мероприятий, включавших тренировки в экзоскелете, помимо шкалы ASIA использовался специализированный опросник SCIM III «Измерение независимости пациента при повреждениях спинного мозга», русскоязычная версия которого стала доступной с 2016 года [12]. Учитывая сформировавшуюся к этому периоду стойкую инвалидность, оценивали показатели качества жизни с помощью опросника SF-36.

Степень повреждения спинного мозга у пациентов, поступавших на реабилитацию в сроки более года после травмы, была тяжелой: полное нарушение проводимости (ASIA A) регистрировалось у 63,6% пациентов групп наблюдения 2 и 65,0% в группе сравнения 2, тип ASIA B – у 13,6% и 15,0% соответственно, ASIA C – в 22,7% и 20,0% случаев. Проведенные реабилитационные мероприятия не повлияли на неврологический статус пациентов,

распределение пациентов на типы А, В и С в обеих группах осталось таким же, как и до начала реабилитации. В то же время наблюдались положительные изменения функционального статуса пациентов. Общий средний балл по шкале SCIM III в группе наблюдения 2 значимо возрос к завершающему визиту на  $3,4 \pm 0,72$  относительно исходного значения и составил  $70,2 \pm 10,21$  баллов ( $p < 0,05$ ). В группе сравнения 2 общий балл также увеличился, однако это увеличение не было статистически значимым (табл. 2).

Таблица 2

Динамика средней величины общего и промежуточного баллов по шкале SCIM III под влиянием комплексной реабилитации в поздний восстановительный период ( $M \pm SD$ )

Раздел	Балл max по шкале SCIM III	Группа наблюдения 2 (n=22)		Группа сравнения 2 (n=20)	
		До начала реабилитации	Через месяц после реабилитации	До начала реабилитации	Через месяц после реабилитации
Самообслуживание	20	$18,2 \pm 3,08$	$18,8 \pm 2,74$	$17,9 \pm 4,16$	$18,5 \pm 3,62$
Дыхание и управление сфинктерами	40	$30,6 \pm 7,22$	$31,7 \pm 5,14^*$	$30,9 \pm 6,92$	$31,5 \pm 7,18$
Мобильность	40	$18,6 \pm 6,38$	$19,4 \pm 5,46$	$19,1 \pm 6,57$	$19,3 \pm 6,20$
Общий балл	100	$66,7 \pm 9,56$	$70,2 \pm 10,21^*$	$66,9 \pm 9,63$	$68,0 \pm 12,44$

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

Динамика величины промежуточного балла по разделам «самообслуживание», «дыхание и управление сфинктерами», «мобильность» отражала повышение уровня функционирования по всем трем направлениям в обеих группах, однако достоверное увеличение этого показателя через месяц после окончания реабилитации получено только по разделу «дыхание и управление сфинктерами» в группе наблюдения 2.

Особое значение для мониторинга эффективности реабилитационных мероприятий имела оценка показателей КЖ, так как отсутствие двигательной функции нижних конечностей у 80% наблюдаемых пациентов обусловило крайне низкие исходные значения показателей физического здоровья и существенное снижение показателя психологического компонента здоровья по отношению к 100 баллам, характеризующим «идеальное здоровье» по опроснику SF-36. На фоне реабилитационных мероприятий в группе наблюдения 2 произошло достоверное увеличение величины среднего балла PH sum, характеризующего физическое здоровье, – с  $33,0 \pm 6,82$  на начальном визите до  $37,5 \pm 6,56$  к финальному визиту ( $p < 0,05$ ). Положительная динамика показателя психологического здоровья MH sum в этой группе также была статистически значимой. В группе сравнения 2 под влиянием традиционной

реабилитации тоже произошло повышение уровней физического и психологического здоровья, но эти положительные сдвиги не были статистически значимыми (табл. 3).

Таблица 3

Динамика общих индексов здоровья по опроснику SF-36 в ходе реабилитации на основе тренировок в экзоскелете в поздний восстановительный период (M±SD)

Показатель (в баллах)	Группа наблюдения 2 (n=22)		Группа сравнения 2 (n=20)	
	До начала реабилитации	Через месяц после реабилитации	До начала реабилитации	Через месяц после реабилитации
РН sum – физический компонент здоровья	33,0±6,82	37,5±5,06*	33,7±8,48	35,9±9,38
МН sum – психологический компонент здоровья	60,5±7,97	62,5±5,24*	58,8±8,70	61,9±9,22

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

Полученные результаты свидетельствуют о повышении эффективности комплексной реабилитации больных с последствиями ПСМТ при комбинировании традиционных методов с такими инновационными технологиями, как тренировочная ходьба в роботизированных аппаратно-программных комплексах. В свою очередь, такие традиционные методы реабилитации, как лечебная физкультура, электронейростимуляция и медицинский массаж, обеспечивают необходимую подготовку пациента к тренировочной ходьбе в ассистирующих устройствах, что было показано в наших предыдущих исследованиях [13, 14].

Следует подчеркнуть, что ходьба на месте в стационарных роботизированных устройств типа аппарата «Локомат» предпочтительнее в ранние сроки после травмы, от 3-6 месяцев и до года, когда существуют риски ортостатических и вегетативных реакций при вертикализации пациентов. Включение в программу реабилитации тренировок в экзоскелете в восстановительный период через год после травмы повышает уровень психологического здоровья пациента и его способность к самостоятельному функционированию, что, по мнению многих авторов, оказывает положительное влияние на адаптацию в социальной сфере и способствует расширению возможностей в повседневной жизни [4, 10, 12].

### **Выводы**

1. Реабилитационных тренировки в форме ходьбы в стационарном и мобильном роботизированном устройстве совместимы с традиционными методами реабилитации и повышают эффективность индивидуальной программы реабилитации пациентов с последствиями ПСМТ.

2. Тренировочная ходьба в аппарате «Локомат» в комплексе с традиционными методами реабилитации активизирует процессы нейровосстановления у пациентов с ПСМТ в ранний восстановительный период (от 6 до 12 месяцев после травмы) и повышает уровень самостоятельного функционирования пациента.

3. Тренировочная ходьба в экзоселете в комплексе с традиционными методами реабилитации повышает уровень активного функционирования, о чем свидетельствует увеличение суммарного балла по шкале SCIM III на  $3,4 \pm 0,72$  относительно исходного значения ( $p < 0,05$ ), и улучшает показатели качества жизни пациентов с ПСМТ в поздний восстановительный период (от 1 года до 3 лет после травмы).

### Список литературы

1. Толкачев В.С., Бажанов С.П., Ульянов В.Ю., Федонников А.С., Нинель В.Г., Салиху Х., Норкин И.А. Эпидемиология травм позвоночника и спинного мозга // Саратовский научно-медицинский журнал. 2018. № 3. С. 592-595.
2. Ведение больных с последствиями позвоночно-спинномозговой травмы на втором и третьем этапах медицинской и медико-социальной реабилитации. Клинические рекомендации. М., 2017. 326 с.
3. Burns A.S., Marino R.J., Flanders A.E., Flett H. Clinical diagnosis and prognosis following spinal cord injury. *Handb Clin Neurol*. 2012. Vol. 109. P. 47-62. DOI: 10.1016/B978-0-444-52137-8.00003-6.
4. 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. Vol. 69. no. 1. P. 41-49. DOI: 10.4102/sajp.v69i1.371.
5. Harvey L.A. Physiotherapy rehabilitation for people with spinal cord injuries. *Journal of physiotherapy*. 2016. Vol. 62. no. 1. P. 4-11. DOI: 10.1016/j.jphys.2015.11.004.
6. Kloosterman M.G., Snoek G.J., Jannink M.J. Systematic review of the effects of exercise therapy on the upper extremity of patients with spinal-cord injury. *Spinal Cord*. 2009. Vol. 47. no. 3. P. 196-203. DOI: 10.1038/sc.2008.113.
7. Megía García A., Serrano-Muñoz D., Taylor J., Avendaño-Coy J., Gómez-Soriano J. Transcutaneous spinal cord stimulation and motor rehabilitation in spinal cord injury: A Systematic Review. *Neurorehabil Neural Repair*. 2020. Vol. 34. no. 1. P. 3-12. DOI: 10.1177/1545968319893298.

8. Clijse R., Brunner A., Barbero M., Clarys P., Taeymans J. Effects of low-level laser therapy on pain in patients with musculoskeletal disorders: a systematic review and meta-analysis. *European journal of physical and rehabilitation medicine*. 2017. Vol. 53. no. 4. P. 603-10. DOI: 10.23736/S1973-9087.17.04432-X.
9. Ki Yeun Nam, Hyun Jung Kim, Bum Sun Kwon, Jin-Woo Park, Ho Jun Lee, Aeri Yoo. Robot-assisted gait training (Lokomat) improves walking function and activity in people with spinal cord injury: a systematic review. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. 2017. Vol. 14. P. 24.
10. Шапкова Е.Ю., Емельяников Д.В., Ларионова Ю.Е., Купреев Н.А., Григорьева Е.В. Динамика независимости и локомоторных возможностей при тренировках ходьбы в экзоскелете у пациентов с тяжелой хронической позвоночно-спинномозговой травмой // *Хирургия позвоночника*. 2020. Т. 17. № 4. С. 54–67. DOI: 10.14531/ss2020.4.54-67.
11. Geigle P.R., Kallins M. Exoskeleton-Assisted walking for people with spinal cord injury. *Archives of physical medicine and rehabilitation*. 2017. Vol. 98. no. 7. P. 1493-1495. DOI: 10.1016/j.apmr.2016.12.002.
12. Хохлова О.И. Реабилитационный потенциал личности и функциональная независимость лиц с травматической болезнью спинного мозга // *Политравма*. 2020. № 3. С. 100-107. DOI: 10.24411/1819-1495-2020-10038.
13. Гвоздарева М.А., Чешева Е.В., Самохин А.Г., Кудрова Е.В., Дроздов Г.О., Шевцов В.И., Карева Н.П. Оценка эффективности и безопасности применения экзоскелета в программах реабилитации пациентов с позвоночно-спинномозговой травмой // *Хирургия позвоночника*. 2020. Т. 17. № 4. С. 68-76. DOI: 10.14531/ss2020.4.68-76.
14. Полилова Ю.В., Дробышев В.А., Ступак В.В., Шелякина О.В., Цветовский С.Б., Чешева Е.В., Мамонова Е.В. Роботизированная механотерапия в этапной реабилитации пациентов с последствиями позвоночно-спинномозговой травмы // *Хирургия позвоночника*. 2017. Т. 14. № 1. С. 46-50. DOI: 10.14531/ss2017.1.46-50.