

Влияние реабилитационных тренировок в роботизированном экзоскелете на качество жизни пациентов с позвоночно-спинномозговой травмой

Гвоздарева М.А.¹, Илясова Е.С.¹, Дроздов Г.О.², Карева Н.П.^{1, 2}

¹ФГБУ «Новосибирский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Я.Л. Цивьяна» Минздрава России

²ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный медицинский университет» Минздрава России

Effects of rehabilitation training in robotic exoskeleton on the quality of life of patients with spinal cord injury

Gvozдарева M.A.¹, Ilyasova E.S.¹, Drozdov G.O.², Kareva N.P.^{1, 2}

¹Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopedics n.a. Y.L. Tsivyan

²Novosibirsk State Medical University

АННОТАЦИЯ

Цель исследования — провести оценку влияния тренировок с использованием экзоскелета на качество жизни (КЖ) пациентов с позвоночно-спинномозговой травмой (ПСМТ) в восстановительном и позднем периоде заболевания.

В исследовании участвовали 80 пациентов, которые проходили лечение в условиях стационара на базе ФГБУ «Новосибирский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Я.Л. Цивьяна». Комплексная программа реабилитации состояла из 2 сессий по 20 дней и включала в себя тренировки с применением аппаратно-программного комплекса «ЭкзоАтлет», лечебную гимнастику и физиотерапию. Все пациенты заполняли стандартизированный опросник SF-36 на визитах 1–4 до начала и по окончании каждого стационарного интервала реабилитации и через 1 мес по окончании реабилитационных мероприятий. Оценивались исходный уровень показателей КЖ пациентов с ПСМТ и возможное влияние тренировок с использованием экзоскелета на психологический и физический компоненты здоровья участников.

Были получены статистически достоверные данные о повышении КЖ, связанного с психологической составляющей здоровья, у пациентов с ПСМТ в восстановительном и позднем периоде под влиянием реабилитации с включением тренировок в экзоскелете. Показатели качества жизни, связанные с физическим компонентом здоровья, у участников в восстановительном периоде после травмы также улучшились, тогда как у пациентов в позднем периоде травматической болезни эти показатели существенно не изменились. Достоверные изменения изучаемых показателей во всех случаях регистрировались только после 2 сессий тренировок с применением экзоскелета.

Таким образом, применение роботизированного экзоскелета «ЭкзоАтлет» способствует повышению качества жизни пациентов с ПСМТ и может быть рекомендовано для включения в комплексную реабилитацию и абилитацию данной категории пациентов.

Ключевые слова: позвоночно-спинномозговая травма, реабилитация, экзоскелет, качество жизни, SF-36.

ABSTRACT

The aim of the study is to assess the impact of exoskeleton training on the quality of life (QL) of patients with spinal cord injury (SCI) during the recovery and the late period of the disease.

The studies involved 80 patients who received treatment in a hospital setting on a basis of the Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopedics n.a. Y.L. Tsivyan. The comprehensive rehabilitation program consisted of

Поступила 13.10.2020
Принята 25.10.2020

Автор, ответственный за переписку
Гвоздарева Мария Андреевна: ФГБУ «Новосибирский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Я.Л. Цивьяна» Минздрава России. 630091, г. Новосибирск, ул. Фрунзе, 17.
E-mail: masha_gvozдарева@mail.ru

Received 13.10.2020
Accepted 25.10.2020

Corresponding author
Gvozдарева Mariya Andreyevna: Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopedics n.a. Y.L. Tsivyan, 17, Frunze str., Novosibirsk, 630091, Russia.
E-mail: masha_gvozдарева@mail.ru

2 sessions of 20 days each and included training using the ExoAtlet powered exoskeleton, therapeutic exercises and physiotherapy. All patients completed a standardized SF-36 Health Survey Questionnaire during visits 1–4 before and after each inpatient rehabilitation interval and a month after the rehabilitation activities. The baseline QL of patients with SCI and possible impact of exoskeleton training on the psychological and physical health components of participants were estimated.

Statistically significant data on the increase in QL associated with the psychological component of health in patients with SCI during the recovery and late disease period under the influence of rehabilitation with the exoskeleton training were obtained. The quality of life parameters associated with the physical component of health also improved in participants during the recovery period of the traumatic disease, whereas in patients in the late period of it these indicators did not change significantly. In all cases the reliable changes of the studied parameters were recorded after 2 sessions of exoskeleton training only.

Thus, the use of the ExoAtlet powered exoskeleton contributes to the improving of the quality of life in patients with SCI and can be recommended for inclusion in the comprehensive rehabilitation and habilitation program of this category of patients.

Keywords: spinal cord injury, rehabilitation, exoskeleton, quality of life, SF-36.

ВВЕДЕНИЕ

Позвоночно-спинномозговая травма (ПСМТ) по данным статистики составляет 180 000 случаев в год во всем мире [1]. В Российской Федерации ежегодно около 10 000 чел. получают травму спинного мозга, в большинстве случаев это лица трудоспособного возраста. По некоторым оценкам в настоящее время число пациентов с последствиями ПСМТ в России составляет около 200 000 чел., среди которых большинство — молодые мужчины от 18 до 45 лет [2]. Повреждение спинного мозга влечет за собой последующее развитие травматической болезни спинного мозга (ТБСМ), которая расценивается как одно из наиболее тяжелых и прогностически неблагоприятных повреждений у человека, грубое и необратимое нарушение двигательных, чувствительных, вегетативно-трофических функций. ПСМТ является серьезной стрессовой ситуацией, нарушающей сложившийся стереотип жизни, что вызывает у части пострадавших психологические проблемы [3]. Около 80 % больных с ПСМТ признаются инвалидами 1-й и 2-й групп, в 61 % случаев группа инвалидности у этих пациентов на протяжении дальнейшей жизни не изменяется [4].

Ограничение способности к передвижению у больных с ПСМТ приводит к снижению удовлетворенности жизнью и уровня социального взаимодействия, является причиной дальнейшего ухудшения физического здоровья. Из-за малой мобильности пациенты с ПСМТ страдают от ожирения, снижения минеральной плотности костной ткани вплоть до остеопороза, сердечно-сосудистых заболеваний, хронической венозной недостаточности [5, 6]. Восстановление двигательной функции является главным приоритетом для пациентов с повреждениями спинного мозга на этапе реабилитации. Дополнительно к расширению мо-

INTRODUCTION

According to statistics, spinal cord injury (SCI) amounts to 180 000 cases per year worldwide [1]. In the Russian Federation about 10 000 people get spinal cord injury annually. In most cases these are people of working age. It is estimated that currently the number of patients with the consequences of SCI in Russia is about 200 000 people, among whom the majority are young men from 18 to 45 years old [2]. Spinal injury entails subsequent development of the traumatic spinal disease (TSD) which is regarded as one of the most severe and prognostically unfavorable injuries in humans, a gross and irreversible damage of motor, sensory, autonomic and trophic functions. SCI is a serious stressful situation that violates the current stereotype of life, which causes psychological problems in some patients [3]. About 80% patients with SCI are recognized as disabled persons of the 1st and 2nd groups. In 61% cases the disability group in these patients does not change over the course of their life [4].

Motor incapacitation in patients with SCI leads to a decrease in levels of life satisfaction and social interaction. It is the cause of further deterioration of physical health. Due to low mobility patients with SCI suffer from obesity, decreased bone mineral density up to osteoporosis, cardiovascular diseases, chronic venous insufficiency [5, 6]. Restoring motor function is a top priority for patients with spinal cord injuries during the rehabilitation phase. In addition to increasing patient's mobility and solving some social problems associated with the inability to stand or walk, regular rehabilitation courses help to cope with problems associated with insufficient physical activity [7]. In a long term of injury, the basis of rehabilitation programs constitute physical recovery methods among which in recent years the close attention of rehabilitation therapists has been attract-

бильности пациента и разрешению некоторых социальных проблем, связанных с неспособностью стоять или ходить, регулярные курсы реабилитации помогают бороться с проблемами, связанными с недостаточной физической активностью [7]. В отдаленный период травмы основой программ реабилитации являются физические методы восстановления, среди которых в последние годы пристальное внимание врачей-реабилитологов привлекает такое инновационное техническое устройство, как роботизированный экзоскелет. В мире за последнее десятилетие разработано несколько видов медицинских экзоскелетов для реабилитации лиц с утратой двигательной функции нижних конечностей. Отличаясь особенностями конструкции и программного обеспечения в зависимости от производителя, все экзоскелеты обеспечивают возможность вертикализации пациента, ходьбы по ровной поверхности и, при определенных навыках, подъема и спуска по лестнице. Многие авторы ожидают от применения экзоскелета не только улучшения мобильности, но и стимуляции нейропластичности, восстановления и улучшения проприоцептивной иннервации даже в поздний период травмы [8, 9]. Широкому внедрению этого инновационного метода реабилитации в клиническую практику препятствует несколько причин, включая трудности в эксплуатации, требующие постоянной помощи одного или двух ассистентов, отсутствие медицинской технологии реабилитационных тренировок в экзоскелете и системы оценки эффективности этих тренировок.

В 2016 г. в России был зарегистрирован первый отечественный экзоскелет — аппаратно-программный комплекс (АПК) «ЭкзоАтлет», не уступающий зарубежным аналогам по большинству параметров. С 2017 по 2019 г. на базе ФГБУ «Новосибирский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Я.Л. Цивьяна» Минздрава России проводилось клиническое исследование (КИ), в процессе которого оценивалась эффективность метода реабилитации пациентов с травмой грудного отдела позвоночника и повреждением спинного мозга при помощи экзоскелета. В качестве инструментов такой оценки, помимо методов неврологического и инструментального исследования, специализированной шкалы SCIM III «Измерение независимости пациента при повреждениях спинного мозга», использовался неспецифический стандартизованный опросник SF-36 «Краткая форма оценки здоровья». Данный опросник относится к числу наиболее апробированных и часто применяемых для оценки качества жизни (КЖ), связанного со здоро-

ed by such an innovative technical device as an exoskeleton. Over the past decade several types of medical exoskeletons have been developed in the world for the rehabilitation of individuals with loss of motor function of the lower extremities. Differing in the design and software characteristics depending on the manufacturer, all exoskeletons provide the possibility of verticalizing the patient, walking on a flat surface and climbing and descending stairs given the acquirement of certain skills. Many authors expect the use of exoskeleton not only to improve mobility, but also to stimulate neuroplasticity, repair and improve proprioceptive innervation even in the late injury period [8, 9]. Several reasons impede the widespread introduction of this innovative method of rehabilitation into clinical practice. They include operational difficulties requiring the constant attendance of one or two assistants, the lack of medical technology for rehabilitation exoskeleton training, as well as systems for assessing its efficacy.

In 2016 the first domestic exoskeleton was registered in Russia. It was the ExoAtlet powered exoskeleton, which compares favorably with foreign analogues in most parameters. From 2017 to 2019 a clinical study (CS) was conducted on the basis of the Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopedics n.a. Y.L. Tsivyan. The efficacy of rehabilitation method of patients with thoracolumbar spinal cord injury with exoskeleton was evaluated during the study. In addition to neurological and instrumental research methods, and the Spinal Cord Independence Measure (SCIM III), the Short-Form Health Survey (SF-36) was used as a tool for this assessment. This questionnaire is among the most tested and frequently used to assess health-related quality of life (QL). It is generally agreed that the study of QL indicators at the stages of clinical research allows to monitor the participants' condition with the assessment of early and long-term results of treatment and rehabilitation, and give a more comprehensive expert assessment of new methods and medical technologies being developed [10]. The on-treatment quality of life improvement is the main goal of the patients with the consequences of SCI themselves, since this pathology, thanks to the achievements of medicine and the level of modern social support, does not limit life expectancy, but significantly changes the QL for the worse. An interpretation of psychological and physical health indicators, determined using the SF-36 Questionnaire, helps to assess the impact of a rehabilitation program on the level of daily and social activity of the patient, his ability to adapt in society, lead everyday life.

вьем. По общему мнению, изучение показателей КЖ на этапах клинического исследования позволяет проводить мониторинг состояния участников с оценкой ранних и отдаленных результатов лечения и реабилитации, дать более полную экспертную оценку новым разрабатываемым методам и медицинским технологиям [10]. Улучшение качества жизни в процессе терапии является основной целью самих пациентов с последствиями ПСМТ, так как данная патология, благодаря достижениям медицины и уровню современной социальной поддержки, не ограничивает продолжительность жизни, но существенно меняет ее в худшую сторону. Интерпретация показателей психологического и физического здоровья, определяемых с помощью опросника SF-36, помогает оценить влияние проводимых реабилитационных мероприятий на уровень повседневной и социальной активности пациента, на его возможности адаптироваться в обществе, вести повседневную жизнь.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Оценить влияние реабилитационных тренировок в роботизированном экзоскелете на качество жизни пациентов с последствиями позвоночно-спинномозговой травмы с помощью опросника SF-36.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследование были включены 80 участников (57 мужчин и 23 женщины, средний возраст 36.7 ± 9.1 года), нуждающихся в реабилитации по причине травмы грудного или поясничного отдела позвоночника и повреждения спинного мозга. Давность травмы колебалась от 1 года до 15 лет. В восстановительном периоде (от 1 года до 3 лет после травмы) находился 21 чел. (26.3 %), в позднем (более 3 лет после травмы) — 59 (73.7 %). Критерии включения в клиническое исследование: возраст пациентов от 19 до 55 лет, уровень неврологического поражения не выше Th1, степень нарушения проводимости спинного мозга по шкале ASIA от A до C, сохранение навыков самостоятельного перемещения в коляске и самообслуживания, навыков пользования обеими верхними конечностями и способность контролировать силу их мышечного усилия. Было получено одобрение локального этического комитета. Все участники подписали информированное согласие на участие в исследовании. Полностью прошли всё исследование 65 пациентов, 15 выбыли по различным причинам.

Программа реабилитации состояла из 2 сессий продолжительностью 20 ± 2 дня в условиях стационара, в каждую из которых проводилось

AIM OF THE RESEARCH

To assess the impact of rehabilitation training in a robotic exoskeleton on the quality of life of patients with the consequences of spinal cord injury using the SF-36 Questionnaire.

MATERIALS AND METHODS

The study included 80 participants (57 men and 23 women, average age 36.7 ± 9.1 years) standing in need of rehabilitation due to thoracolumbar spine injury. The age of injury ranged from 1 to 15 years. There were 21 individuals (26.3%) in the recovery period (from 1 to 3 years after injury) and 59 individuals (73.7%) in late period (more than 3 years after injury). The criteria for inclusion in the clinical study were: the age of patients from 19 to 55 years old; level of neurological lesion not higher than Th1; degree of conduction impairment of the spinal cord on the ASIA Impairment Scale from A to C; the retention of skills of moving independently in a wheelchair and self-maintenance, of using both upper limbs, and the ability to control the strength of their muscular effort. Local ethics committee approval was obtained. All participants signed an informed consent to participate in the study. 65 patients completed the entire study, 15 dropped out for various reasons.

The rehabilitation program consisted of 2 sessions lasting 20 ± 2 days in a hospital setting. Each session included 15–16 trainings for 30 min in the ExoAtlet exoskeleton in combination with specialized therapeutic exercises and physiotherapeutic procedures (magnetotherapy and multichannel electrical stimulation of trunk and lower limbs' muscles). Four week breaks were provided between the two inpatient rehabilitation sessions. The study was completed with a final visit in a month after the completion of the second session of training and in 4 months after the start of rehabilitation respectively.

To assess the impact of rehabilitation training in a robotic exoskeleton on the quality of life, participants completed SF-36 questionnaire at visits 1–4 before and at the end of each inpatient rehabilitation interval, and in a month after the completion of the rehabilitation program (visit 5). The SF-36 quality of life assessment Questionnaire is general and involves the patients to fill out the questionnaire on their own after a short briefing. Questions are grouped into 8 scales, including 2 components of the quality of life which form the final indicators of the scale. The psychological component (MH sum) includes an assessment of vitality, social func-

15–16 тренировок в экзоскелете «ЭкзоАтлет» по 30 мин в комбинации со специализированной лечебной гимнастикой и физиотерапевтическими процедурами (магнитотерапия и многоканальная электростимуляция мышц туловища и нижних конечностей). Между двумя стационарными сессиями реабилитации были предусмотрены четырехнедельные перерывы. Завершалось исследование финальным визитом через 1 мес после завершения второй сессии тренировок и, соответственно, через 4 мес после начала реабилитации.

Для оценки влияния реабилитационных тренировок в роботизированном экзоскелете на качество жизни участниками заполнялся опросник SF-36 на визитах 1–4 до начала и по окончании каждого стационарного интервала реабилитации и через 1 мес по окончании реабилитационных мероприятий (визит 5). Опросник оценки качества жизни SF-36 является общим и предполагает самостоятельное заполнение анкеты пациентом после короткого инструктажа. Вопросы группируются в 8 шкал, в качестве итоговых показателей шкалы формируют 2 компонента качества жизни. Психологический компонент (MH sum) включает в себя оценку жизненной активности, социального функционирования, ролевого функционирования, обусловленного эмоциональным состоянием, психического здоровья. Физический компонент (PH sum) охватывает такие показатели, как физическое функционирование, ролевое функционирование, обусловленное физическим состоянием, интенсивность боли, общее состояние здоровья [11].

Обработка результатов анкетирования проводилась с использованием программного обеспечения IBM SPSS Statistics 25.0 путем вычисления описательных статистик и выполнения внутригруппового сравнения величин дискретных параметров. Описательные статистики представлены в виде средней (M) и среднеквадратичного отклонения (SD): $M \pm SD$. Статистическую значимость различий между сравниваемыми величинами дискретных параметров оценивали с использованием непараметрического знакового рангового критерия Уилкоксона. Для исследования возможных взаимосвязей между дискретными и категориальными параметрами проводился корреляционный анализ по методу Кендалла. Уровень альфа для принятия или отклонения нулевой гипотезы принимали равным 0.05.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Оценка неврологического статуса до начала реабилитационных мероприятий показала, что по степени поражения спинного мозга по шкале

tioning, role-emotional functioning and mental health. Physical component (PH sum) covers such indicators as Physical functioning, Role-physical functioning, Bodily pain, General state of health [11].

Processing of the survey results was carried out using IBM SPSS Statistics 25.0 software by calculating descriptive statistics and performing intra-group comparisons of discrete parameter values. Descriptive statistics are presented as mean (M) and mean square deviation (SD): $M \pm SD$. The statistical significance of the differences between the compared discrete parameter values was estimated using the Wilcoxon nonparametric signed rank test. The Kendall correlation test to investigate possible relationships between discrete and categorical parameters was conducted. The alpha level for accepting or rejecting the null hypothesis was taken equal to 0.05.

RESULTS AND DISCUSSION

An assessment of neurological status before the start of the rehabilitation program showed that according to the degree of spinal cord impairment on the ASIA Impairment Scale patients were distributed as follows: ASIA A — 53 individuals (66.3%), ASIA B — 11 individuals (13.7%), ASIA C — 16 individuals (20.0%). Patients with ASIA A and B impairments have inferior paraplegia due to complete or gross incomplete spinal cord injury respectively; patients with ASIA C — lower paraparesis [3, 4]. All patients used wheelchairs for independent motion.

During the reporting period 2346 trainings were conducted using ExoAtlet powered exoskeleton. 340 SF-36 Questionnaires were completed by patients. Results of statistical processing of 8 scales of the SF-36 Questionnaire are presented in Table 1. Most QL indices were significantly lower than 100 points corresponding to the “ideal health” in patients with SCI. The lack of motor function of the lower extremities in 80% of patients led to extremely low values of indicators such as Physical functioning, Role-physical functioning, General state of health. The values of the Bodily pain index, also characterizing physical health, were close to standardized QL indicators reflecting the average level of population health [11].

The psychological component indices were reduced to a lesser extent than those of physical health. Their average values evidenced a restriction in social functioning and vitality, and the level of mental health did not reach standardized population indicators. During rehabilitation the values of the majority of studied parameters increased by an average of

ASIA пациенты распределились следующим образом: тип ASIA A — 53 чел. (66.3 %), ASIA B — 11 чел. (13.7 %), ASIA C — 16 чел. (20.0 %). Больные с поражением типа ASIA A и ASIA B имеют нижнюю параплегию вследствие полного или грубого неполного повреждения спинного мозга, с типом ASIA C — нижний парализ [3, 4]. Все пациенты для самостоятельного передвижения использовали инвалидные коляски.

В отчетный период было проведено 2346 тренировок с использованием АПК «ЭкзоАтлет», пациентами заполнено 340 опросников SF-36. В табл. 1 представлены результаты статистической обработки 8 шкал опросника SF-36. Большинство показателей КЖ у больных ТБСМ были существенно ниже 100 баллов, соответствующих показателю «идеальное здоровье». Отсутствие двигательной функции нижних конечностей у 80 % наблюдаемых пациентов обусловило крайне низкие значения таких показателей, как «физическое функционирование», «ролевое функционирование, обусловленное физическим состоянием», «общее состояние здоровья». Значения показателя «интенсивность боли», также характеризующего физическое здоровье, были близки к стандартизованным показателям КЖ, отражающим средний уровень здоровья в популяции [11].

3–5%, but this increase was statistically insignificant (p_{1-5} ranged from 0.074 for the Bodily pain to 0.294 for the General health index). Statistically significant improvement by the time of visit 5 showed the Mental health indicator only. Its value increased by 8% ($p_{1-5} = 0.043$). In fact, there was no change in index of the Physical functioning scale which assesses specifically the motor function that in the late period of spinal injury does not restore any longer (see Table 1).

Taking into account the observed trend towards improvement of QL parameters on most SF-36 Questionnaire scales, we analyzed changes in the overall physical (PH sum) and psychological (MH sum) indices of health components to assess the possible positive or negative effect of each exoskeleton training session on health-related quality of life (Table 2).

Before the start of rehabilitation the PH sum score was 34.9 ± 7.53 . Four months after the start of rehabilitation the value of the overall indicator of the physical component of health increased by 0.8 ± 6.27 points from the baseline, which is statistically not significant ($Z = -0.847$; $p = 0.403$). Comparison of the PH sum value after the 1st and 2nd training sessions (visit 2 and 4) with the baseline and final values of the indicator (visits 1 and 5 respectively) during

Таблица 1. Динамика показателей качества жизни у больных ТБСМ под влиянием реабилитационных тренировок в экзоскелете, баллы

Table 1. Dynamics of quality of life indices in patients with TSD under the influence of rehabilitation training in the exoskeleton, points

Показатель / Index	Визит 1 (до начала 1-й сессии тренировок) Visit 1 (prior to the 1 st training session) (n = 80)	Визит 5 (через месяц по окончании 2-й сессии тренировок) Visit 5 (one month after the end of the 2 nd training session) (n = 65)	p_{1-5}
Физическое функционирование Physical functioning	8.9 ± 14.18	9.2 ± 20.34	0.490
Рольное функционирование, обусловленное физическим состоянием Role-physical functioning	15.5 ± 21.47	17.0 ± 24.89	0.283
Интенсивность боли / Bodily pain	64.8 ± 16.74	68.2 ± 13.18	0.074
Общее состояние здоровья / General health	38.4 ± 14.78	40.7 ± 12.63	0.294
Психическое здоровье / Mental health	52.3 ± 16.44	$56.7 \pm 10.28^*$	0.043
Рольное функционирование, обусловленное эмоциональным состоянием Role-emotional functioning	63.4 ± 14.35	65.2 ± 18.92	0.252
Социальное функционирование Social functioning	47.1 ± 18.72	48.8 ± 14.64	0.065
Жизненная активность / Vitality	45.8 ± 26.38	46.5 ± 25.72	0.267

* Достоверные различия по отношению к периоду до начала реабилитации.
Significant differences in relation to the period prior to rehabilitation.

Показатели, формирующие психологический компонент здоровья, были снижены в меньшей степени, чем показатели физического здоровья, однако их средние значения свидетельствовали об ограничении социального функционирования и жизненной активности, а уровень состояния психического здоровья не достигал стандартизованных популяционных показателей. В ходе реабилитации величина большинства исследуемых показателей возросла в среднем на 3–5 %, однако это увеличение было статистически незначимым (значения p_{1-5} колебались от 0.074 для показателя «интенсивность боли» до 0.294 для показателя «общее состояние здоровья»). Статистически достоверное улучшение к визиту 5 наступило только по показателю «психическое здоровье»: величина этого показателя в баллах возросла на 8 % ($p_{1-5} = 0.043$). Фактически не изменился показатель шкалы «физическое функционирование», оценивающей именно функцию движения, которая в позднем периоде спинальной травмы уже не восстанавливается (см. табл. 1).

Учитывая выявленную тенденцию к улучшению показателей КЖ по большинству шкал опросника SF-36, нами были проанализированы изменения общих индексов физического (PH sum) и психологического (MH sum) компонентов здоровья для оценки возможного положительного или отрицательного влияния каждой сессии тренировок в экзоскелете на качество жизни, связанное со здоровьем (табл. 2).

Балльная оценка PH sum составила до начала реабилитации 34.9 ± 7.53 . Через 4 мес после начала реабилитации величина общего показателя физического компонента здоровья увеличилась на 0.8 ± 6.27 балла от исходной, что является статистически не существенным ($Z = -0.847$;

rehabilitation did not reveal any reliable dynamics in the physical component of health.

The average baseline score value of the psychological component of health MH sum was higher than that of PH sum, which is typical for patients with impairment of the lower extremities function due to SCI [12]. Positive dynamics of the MH sum indicator was recorded throughout the rehabilitation period. So, upon completion of the first session of rehabilitation training its average value increased by 1.7 ± 9.48 points, but this increase was not statistically significant. Positive dynamics persisted during the interval between the two training sessions and increased during the 2nd one. The estimate of the MH sum at the visit 4 increased by 3.4 ± 6.48 points compared to the period before the start of rehabilitation program, which was statistically significant ($Z = -2.780$; $p = 0.021$). One month after completion of the rehabilitation program, the MH sum value remained significantly higher than before the start of rehabilitation ($Z = -2.162$; $p = 0.030$).

Since at the start of rehabilitation 74% of CS participants were in the late period of SCI, characterized by fully formed persistent motor and sensitive disorders below the damage level, and at the same time, 26% of patients were in the recovery period in which the formation of neurological disorders had not been completed and under the influence of the rehabilitation program it was possible to restore or replace lost functions. For this reason we have analyzed the dynamics of the general indicators of QL for each of these groups (Table 3).

The results of the analysis showed that walking-based rehabilitation in the exoskeleton had a positive effect on the patient's psychological state regardless of the injury period. The MH sum values significantly

Таблица 2. Характеристика общих индексов здоровья по опроснику SF-36 у больных ТБСМ в ходе реабилитации на основе тренировок в экзоскелете, баллы

Table 2. Characteristics of General state of health indices according to SF-36 Questionnaire in patients with TSD during rehabilitation based on exoskeleton training, points

Показатель / Index	Визит 1 / Visit 1 (n = 80)	Визит 2 / Visit 2 (n = 78)	Визит 3 / Visit 3 (n = 69)	Визит 4 / Visit 4 (n = 65)	Визит 5 / Visit 5 (n = 65)
PH sum — физический компонент здоровья PH sum — physical component of health	34.9 ± 7.53	34.9 ± 7.03 $p_{1-2} = 0.928$ $p_{2-5} = 0.442$	34.1 ± 7.56 $p_{1-3} = 0.722$ $p_{3-5} = 0.850$	34.3 ± 7.93 $p_{1-4} = 0.815$ $p_{4-5} = 0.338$	35.6 ± 8.4 $p_{1-5} = 0.403$
MH sum — психологический компонент здоровья MH sum — psychological component of health	56.1 ± 10.56	57.8 ± 10.31 $p_{1-2} = 0.205$ $p_{2-5} = 0.142$	58.3 ± 9.37 $p_{1-3} = 0.132$ $p_{3-5} = 0.350$	$59.5 \pm 9.02^*$ $p_{1-4} = 0.021$ $p_{4-5} = 0.362$	$59.1 \pm 9.47^*$ $p_{1-5} = 0.030$

* Достоверные различия по отношению к периоду до начала реабилитации.
Significant differences in relation to the period prior to rehabilitation.

$p = 0.403$). Сопоставление величины РН sum после 1-й и 2-й сессии тренировок (визит 2 и 4) с исходной и итоговой величиной показателя (визиты 1 и 5 соответственно) также не выявило какой-либо достоверной динамики физического компонента здоровья в ходе реабилитации.

Средняя величина общего показателя психологического компонента здоровья МН sum в баллах исходно была выше, чем показателя РН sum, что характерно для пациентов с нарушениями функции нижних конечностей вследствие ПСМТ [12]. На протяжении всего периода реабилитации регистрировалась положительная динамика показателя МН sum. Так, после окончания первой сессии реабилитационных тренировок его средняя величина возросла на 1.7 ± 9.48 балла, однако это увеличение не было статистически значимым. Положительная динамика сохранялась во время интервала между двумя сессиями тренировок и увеличилась в ходе 2-й сессии тренировок, в результате чего оценка показателя МН sum к визиту 4 возросла на 3.4 ± 6.48 балла по сравнению с периодом до начала реабилитации, что оказалось статистически значимым ($Z = -2.780$; $p = 0.021$). Через месяц после завершения программы реабилитации величина МН sum оставалась достоверно больше, чем до начала реабилитации ($Z = -2.162$; $p = 0.030$).

Поскольку на момент начала реабилитации 74 % участников КИ находились в позднем периоде ПСМТ, характеризующемся полностью сформированными стойкими двигательными и чувствительными нарушениями ниже уровня поражения, а 26 % пациентов — в восстановительном периоде, в котором формирование неврологических нарушений еще не закончено и под влиянием реабилитационных мероприятий возможно восстановление или замещение утраченных функций, нами был проведен анализ динамики общих показателей КЖ отдельно для каждой из этих групп (табл. 3).

Результаты проведенного анализа свидетельствовали о том, что реабилитация на основе ходьбы в экзоскелете положительно влияла на психологическое состояние пациента независимо от периода травмы. Значения показателя МН sum достоверно возросли после двух курсов реабилитационных тренировок как в группе пациентов с давностью травмы от 1 года до 3 лет, так и у пациентов с давностью травмы от 3 до 15 лет. В обеих группах положительная динамика общего показателя психического компонента здоровья сохранялась до визита 5, т. е. как минимум в течение месяца после окончания периода

increased after two courses of rehabilitation training both in the group of patients with the age of injury 1–3 years and in patients with the age of injury 3–15 years. In both groups the positive dynamics of the general mental health component persisted until visit 5, that is for at least a month after the end of the rehabilitation period. The dynamics of the general physical health component's general indicator in the compared groups was different. This indicator did not change during rehabilitation both in patients in the late injury period and in the group of patients in the recovery period. In the latter the rehabilitation program led to a significant increase in the average score from 33.0 ± 6.82 at the first visit to 37.5 ± 6.56 at the final visit ($p_{1-5} = 0.043$).

When using the SF-36 Questionnaire, the positive impact of comprehensive rehabilitation program on the basis of exoskeleton walking on a psychological component of health of patients with consequences of a spinal cord injury in the form of the lower paraplegia was revealed. The emergence of the long-lost opportunity to move upright with the support of lower extremities contributes to the increase of subjective self-assessment of health state and satisfaction with the results of rehabilitation, motivates a patient to participate more actively in the rehabilitation process, as reported by other authors [13, 14]. A number of studies have shown that the improvement of psychological health in the recovery and the late periods of SCI has a positive effect on the adaptation of patients in the social sphere and contributes to the expansion of their opportunities in everyday life [12, 15]. Thus, improving the mental health of patients during walking-based rehabilitation in the ExoAtlet exoskeleton testifies to the efficacy of rehabilitation training using this innovative robotic device.

A significant increase in the МН sum training occurred only after the second course of rehabilitation, that is after each patient received 30 to 35 exoskeleton trainings within 3 months. The first session consisted of 15 trainings. It did not affect quality of life indicators. It should be noted that in the first session patients switched to independent walking in the exoskeleton with the support of cane and the help of an assistant only after 8–10 trainings including verticalization and standing with the support of crutches, then walking in bars. The need for a long rehabilitation period involving at least 30–40 trainings is indicated by many researchers who studied the possibility of using exoskeleton from different manufacturers to optimize rehabilitation after SCI [16, 17].

No change in the general physical health component (PH sum) in CS participants was expected.

Таблица 3. Динамика общих индексов здоровья по опроснику SF-36 в ходе реабилитации на основе тренировок в экзоскелете в разные периоды ТБСМ, баллы**Table 3.** Dynamics of the General state of health indices by SF-36 Questionnaire during rehabilitation based on the exoskeleton training at different periods of TSD, points

Период реабилитации Rehabilitation period	Группа 1 (давность травмы ≤ 36 мес) Group 1 (injury age ≤ 36 months)			Группа 2 (давность травмы > 36 мес) Group 2 (injury age > 36 months)		
	PH sum	MH sum	n (кол-во участников КИ) (number of CS participants)	PH sum	MH sum	n (кол-во участников КИ) (number of CS participants)
Визит 1 Visit 1	33.0 ± 6.82	60.5 ± 7.97	21	35.3 ± 7.45	56.2 ± 10.86	59
Визит 2 Visit 2	34.9 ± 7.34 $p_{1-2} = 0.123$ $p_{2-5} = 0.158$	61.4 ± 10.59 $p_{1-2} = 0.334$ $p_{2-5} = 0.158$	20	34.6 ± 7.06 $p_{1-2} = 0.506$ $p_{2-5} = 0.947$	56.9 ± 10.01 $p_{1-2} = 0.606$ $p_{2-5} = 0.142$	58
Визит 3 Visit 3	33.9 ± 6.92 $p_{1-3} = 0.326$ $p_{3-5} = 0.122$	60.4 ± 9.89 $p_{1-3} = 0.920$ $p_{3-5} = 0.062$	17	33.9 ± 7.92 $p_{1-3} = 0.315$ $p_{3-5} = 0.480$	57.2 ± 9.51 $p_{1-3} = 0.316$ $p_{3-5} = 0.338$	52
Визит 4 Visit 4	35.7 ± 6.54 $p_{1-4} = 0.099$ $p_{4-5} = 0.279$	62.2 ± 9.16 $p_{1-4} = 0.125$ $p_{4-5} = 0.932$	16	33.7 ± 8.45 $p_{1-4} = 0.372$ $p_{4-5} = 0.512$	58.6 ± 8.90* $p_{1-4} = 0.025$ $p_{4-5} = 0.886$	49
Визит 5 Visit 5	37.5 ± 6.56* $p_{1-5} = 0.043$	62.5 ± 7.43* $p_{1-5} = 0.045$	16	34.4 ± 9.02 $p_{1-5} = 0.610$	58.3 ± 9.89* $p_{1-5} = 0.038$	49

* Достоверные различия по отношению к периоду до начала реабилитации.

Significant differences in relation to the period prior to rehabilitation.

реабилитации. Динамика общего показателя физического компонента здоровья в сравниваемых группах была различной. У пациентов в позднем периоде травмы, как и в группе пациентов в восстановительном периоде, данный показатель в ходе реабилитации не изменился. В группе пациентов, находящихся в восстановительном периоде, на фоне реабилитационных мероприятий произошло достоверное увеличение величины среднего балла с 33.0 ± 6.82 на начальном визите до 37.5 ± 6.56 к финальному визиту ($p_{1-5} = 0.043$).

При использовании опросника SF-36 было выявлено положительное влияние комплексной реабилитации на основе ходьбы в экзоскелете на психологический компонент здоровья больных с последствиями спинальной травмы в виде нижней параплегии. Появление давно утраченной возможности передвигаться в вертикальном положении с опорой на нижние конечности способствует повышению субъективной самооценки состояния своего здоровья и удовлетворенности результатами реабилитации, мотивирует больного к более активному участию в реабилитационном процессе, о чем сообщают и другие авторы [13, 14]. В ряде исследований доказано, что повышение уровня психологического здоровья в восстановительный и поздний периоды после ПСМТ оказы-

Thus, there could not be an increase in the baseline extremely low scores on the Physical functioning and Role-physical functioning scales as the questions of these scales suggested the possibility of motor function improving under the influence of treatment and rehabilitation, and 80% of participants had a severe degree of spinal cord impairment (ASIA A — in 66.3% and ASIA B — in 13.7% of patients) in our study. From the standpoint of the International Classification of Functioning, Disability and Health, the rehabilitation potential for motor function in this category of patients is either absent (ASIA A) or regarded as low (ASIA B) [18]. At the same time, in the distribution of the entire population of CS participants into injury-age groups, it was found that under the influence of training-based rehabilitation in the exoskeleton, the value of PH sum in group 1, which included patients in the SCI recovery period, increased significantly (see Table 3). During this period, the main goal of the rehabilitation is maximum restoration of lost functions since the possibility of improving the conduction of the spinal cord remains, especially with its incomplete impairment. It can be assumed that an improvement in the physical health indicator is associated with activation of neuronal plasticity and motor function during walking in the exoskeleton. This ef-

вает положительное влияние на адаптацию пациентов в социальной сфере и способствует расширению их возможностей в повседневной жизни [12, 15]. Таким образом, улучшение состояния психического здоровья пациентов в ходе реабилитации на основе ходьбы в экзоскелете «ЭкзоАтлет» свидетельствует об эффективности реабилитационных тренировок с применением данного инновационного роботизированного устройства.

Достоверное увеличение показателя МН sum наступило только после второго курса реабилитации, т. е. после того, как каждый пациент получил в течение 3 мес от 30 до 35 тренировок в экзоскелете. Первая сессия, состоящая из 15 тренировок, не повлияла на показатели качества жизни. Следует отметить, что в первую сессию к самостоятельной ходьбе в экзоскелете с опорой на трости и помощью ассистента пациенты перешли только после 8–10 занятий, включавших вертикализацию и стояние с опорой на костыли, затем ходьбу в брусках. На необходимость длительного реабилитационного периода, включающего не менее 30–40 тренировок, указывают многие исследователи, изучавшие возможность использования экзоскелета от разных производителей для оптимизации реабилитации после ПСМТ [16, 17].

Отсутствие изменений общего показателя физического компонента здоровья (РН sum) у участников КИ был ожидаемым. Так, не могло произойти увеличение исходно крайне низких показателей по шкалам «физическое функционирование» и «ролевое функционирование, обусловленное физическим состоянием», поскольку вопросы этих шкал опросника SF-36 предполагают возможность улучшения двигательной функции под влиянием лечения и реабилитации, а в нашем исследовании 80 % участников имели тяжелую степень повреждения спинного мозга (тип ASIA A — у 66.3 % и ASIA B — у 13.7 % пациентов). С позиций Международной классификации функционирования реабилитационный потенциал в отношении двигательной функции у такой категории пациентов либо отсутствует (ASIA A), либо расценивается как низкий (ASIA B) [18]. В то же время при распределении всей популяции участников КИ на группы с учетом давности травмы было установлено, что под влиянием реабилитации на основе тренировок в экзоскелете значимо возросла величина РН sum в группе 1, в которую вошли пациенты в восстановительном периоде ПСМТ (см. табл. 3). В этот период основной целью реабилитационных мероприятий является максимальное восстановление утраченных функций, так как сохраняется возможность

effect has been reported in several studies conducted in our country and abroad [8, 19].

It should be noted that significant changes in the studied indicators were recorded only after 2 sessions of training using the exoskeleton. Evaluation of delayed results at the final fifth visit showed that the effect achieved was maintained for at least a month after the completion of the rehabilitation program.

CONCLUSION

The findings of the study are as follows:

1. Patients with severe impairment of lower extremities function due to SCI define their quality of life associated with the physical component of health as low (PH sum = 34.9 points), quality of life associated with the psychological component as moderately reduced (MH sum = 56.1 points) in both recovery and late injury periods.

2. Comprehensive rehabilitation based on walking in the ExoAtlet powered exoskeleton contributes to improving the quality of life associated with the psychological component of health in patients with the consequences of spinal injury in the recovery and late periods.

3. The quality of life indicators associated with the physical component of health are not changed significantly during rehabilitation with the ExoAtlet powered exoskeleton in patients in the late period, while in the recovery period a statistically significant increase in the average score of physical health by SF-36 is recorded.

4. For patients with severe impairment of lower extremities function due to SCI (ASIA A and B), a walking-based rehabilitation program in an exoskeleton may be recommended. The program consists of two sessions of 15–20 trainings, taking into account the need for gradual adaptation to the training process during the first session.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

улучшения проводимости спинного мозга, особенно при его неполном повреждении. Можно предположить, что улучшение показателя, характеризующего состояние физического здоровья, связано с активацией нейрональной пластичности и двигательной функции в процессе ходьбы в экзоскелете. О таком эффекте сообщалось в нескольких исследованиях, проведенных в нашей стране и за рубежом [8, 19].

Необходимо отметить, что достоверные изменения изучаемых показателей во всех случаях

регистрировались только после 2 сессий тренировок с применением экзоскелета. Оценка отсроченных результатов на финальном, пятом визите показала, что достигнутый эффект сохранялся как минимум в течение месяца после окончания программы реабилитации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование позволяет сделать следующие выводы:

1. Пациенты с тяжелым нарушением функции нижних конечностей вследствие ПСМТ определяют свое качество жизни, связанное с физическим компонентом здоровья, как низкое (РН sum = 34.9 балла), качество жизни, связанное с психологическим компонентом — как умеренно сниженное (МН sum = 56.1 балла) как в восстановительный, так и в поздний периоды травмы.
2. Комплексная реабилитация на основе ходьбы в роботизированном экзоскелете «Экзо-Атлет» способствует повышению качества жизни, связанного с психологической составляющей

здоровья, у пациентов с последствиями спинальной травмы в восстановительный и поздний периоды.

3. Показатели качества жизни, связанные с физическим компонентом здоровья, существенно не меняются в ходе реабилитации с помощью роботизированного экзоскелета «ЭкзоАтлет» у пациентов в позднем периоде, тогда как в восстановительный период регистрируется статистически значимое увеличение средней балльной оценки уровня физического здоровья по SF-36.

4. Для пациентов с тяжелым нарушением функции нижних конечностей вследствие ПСМТ (типы ASIA A, B) может быть рекомендована программа реабилитации на основе ходьбы в экзоскелете, состоящая из двух сессий по 15–20 тренировок каждая, с учетом необходимости постепенной адаптации к тренировочному процессу в период первой сессии.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lee B.B., Cripps R.A., Fitzharris M., Wing P.C. The global map for traumatic spinal cord injury epidemiology: update 2011, global incidence rate // *Spinal Cord*. 2014. Vol. 52 (2). P.110–116.
2. Лобзин С.В., Мирзаева Л.М., Цинзерлинг Н.В. и др. Острое травматическое повреждение спинного мозга в Санкт-Петербурге. Эпидемиологические данные: частота, гендерные и возрастные особенности // *Вестн. Северо-Западного гос. мед. ун-та им. И.И. Мечникова*. 2019. Т. 11, № 2. С. 27–34. doi: 10.17816/mechnikov201911227-34.
3. Голик В.А., Мороз Е.Н., Погорелова С.А. Использование международной классификации функционирования, ограничений жизнедеятельности и здоровья в экспертной неврологической практике // *Междунар. неврол. журн.* 2011. № 5 (43). С. 136–142.
4. Patel A.A., Dailey A., Brodke D.S. et al. Thoracolumbar spine trauma classification: The Thoracolumbar Injury Classification and Severity Score system and case examples // *J. Neurosurg. Spine*. 2009. Vol. 10 (3). P. 201–206.
5. Cirnigliaro C.M., Myslinski M.J., La Fountaine M.F. et al. Bone loss at the distal femur and proximal tibia in persons with spinal cord injury: imaging approaches, risk of fracture, and potential treatment options // *Osteoporos. Int.* 2017. Vol. 28 (3). P. 745–765.
6. Gorgey A.S., Wade R., Sumrell R. et al. Exoskeleton training may improve level of physical activity after spinal cord injury: A case series // *Top Spinal Cord Inj. Rehabil.* 2017. Vol. 23 (3). P. 245–255.
7. Rapidi C.-A., Tederko P., Moslavac S. et al. Evidence-based position paper on physical and rehabilitation medicine (PRM) professional practice for persons with spinal cord injury. The European PRM position (UEMS

REFERENCES

1. Lee B.B., Cripps R.A., Fitzharris M., Wing P.C. (2014). The global map for traumatic spinal cord injury epidemiology : update 2011, global incidence rate. *Spinal Cord*, 52 (2), 110–116.
2. Lobzin S.V., Mirzaeva L.M., Tsinzerling N.V. et al. (2019). Acute traumatic spinal cord injury in St. Petersburg. Epidemiological data: incidence rate, gender and age characteristics. *Herald of North-West Stare Medical University n.a. I.I. Mechnikov*, 11, 2, 27–34. doi: 10.17816/mechnikov201911227-34. In Russ.
3. Golyk V.A., Moroz Ye.N., Pogorelova S.A. (2011). Use of International Classification of Functioning, Disability and Health in expert neurological practice. *International Neurological Journal*, 5 (43), 136–142. In Russ.
4. Patel A.A., Dailey A., Brodke D.S. et al. (2009). Thoracolumbar spine trauma classification: The Thoracolumbar Injury Classification and Severity Score system and case examples. *J. Neurosurg. Spine*, 10 (3), 201–206.
5. Cirnigliaro C.M., Myslinski M.J., La Fountaine M.F. et al. (2017). Bone loss at the distal femur and proximal tibia in persons with spinal cord injury: imaging approaches, risk of fracture, and potential treatment options. *Osteoporos Int.*, 28 (3), 745–765.
6. Gorgey A.S., Wade R., Sumrell R. et al. (2017). Exoskeleton training may improve level of physical activity after spinal cord injury: A case series. *Top Spinal Cord Inj. Rehabil.*, 23 (3), 245–255.
7. Rapidi C.-A., Tederko P., Moslavac S. et al. (2018). Evidence-based position paper on physical and rehabilitation medicine (PRM) professional practice for persons with spinal cord injury. The European PRM position (UEMS PRM Section). *Eur. J. Phys. and*

- PRM Section) // Eur. J. Phys. and Rehabil. Med. 2018. Vol. 54 (5). P. 797–807. doi: 10.23736/S1973-9087.18.05374-1.
8. Mekki M., Delgado A.D., Fry A., Putrino D., Huang V. Robotic rehabilitation and spinal cord injury: A narrative review // *Neurotherapeutics*. 2018. Vol. 15 (3) P. 604–617. doi: 10.1007/s13311-018-0642-3.
 9. Карякин Н.Н., Белова А.Н., Сушин В.О. и др. Потенциальные преимущества и ограничения использования роботизированных экзоскелетов у пациентов, перенесших позвоночно-спинномозговую травму: состояние вопроса // *Вестн. восстановительной медицины*. 2020. № 2 (96) С. 68–78. doi: 10.38025/2078-1962-2020-96-2-68-78.
 10. Перельман Н.Л. История и методологические основания представлений о качестве жизни // *Бюл. физиологии и патологии дыхания*. 2019. № 2 (72). С. 112–119.
 11. Амирджанова В.Н., Горячев Д.В., Коршунов Н.И., Ребров А.П., Сороцкая В.Н. Популяционные показатели качества жизни по опроснику SF-36 (результаты многоцентрового исследования качества жизни «МИРАЖ») // *Науч.-практ. ревматология*. 2008. № 1. С. 36–48.
 12. Хайбуллина З.Р., Сахабутдинова А.Р., Кутлиахметов Н.С. Система поэтапного восстановительного лечения и оценка качества жизни пациентов с травматической болезнью спинного мозга // *Мед. вестн. Башкортостана*. 2010. Т. 5, № 4. С. 123–127.
 13. Esquenazi A., Talaty M., Packel A., Saulino M. The ReWalk powered exoskeleton to restore ambulatory function to individuals with thoracic-level motor-complete spinal cord injury // *Am. J. Phys. Med. Rehabil.* 2012. Vol. 91 (11). P. 911–921.
 14. Baunsgaard C.B., Nissen U.V., Brust A.K. et al. Gait training after spinal cord injury: safety, feasibility and gait function following 8 weeks of training with the exoskeletons from Ekso Bionics // *Spinal Cord*. 2018. Vol. 56 (2). P. 106–116.
 15. Нестерова И.Н., Прудникова О.Г. Оценка психоэмоционального состояния больных с последствиями повреждения спинного мозга // *Гений ортопедии*. 2017. Т. 23. № 4. С. 439–443. doi: 10.18019/1028-4427-2017-23-4-439-443.
 16. Sczesny-Kaiser M., Höffken O., Aach M. et al. HAL exoskeleton training improves walking parameters and normalizes cortical excitability in primary somatosensory cortex in spinal cord injury patients // *J. Neuroeng. Rehabil.* 2015. Vol. 12. Article numb.: 68.
 17. Baunsgaard C.B., Nissen U.V., Brust A.K. et al. Exoskeleton gait training after spinal cord injury: An exploratory study on secondary health conditions // *J. Rehabil. Med.* 2018. Vol. 50 (9). P. 806–813.
 18. Бодрова Р.А. Определение реабилитационного потенциала у лиц, перенесших травму спинного мозга, с позиций Международной классификации функционирования, ограничений жизнедеятельности и здоровья // *Вестн. восстановительной медицины*. 2015. № 4 (68). С. 13–22.
 19. Ткаченко П.В., Даминов В.Д., Карпов О.Э. Использование экзоскелета в комплексной реабилитации пациентов с позвоночно-спинномозговой травмой // *Вестн. восстановительной медицины*. 2017. № 2 (78). С. 126–132.
 - Rehabil. Med.*, 54 (5), 797–807. doi: 10.23736/S1973-9087.18.05374-1.
 8. Mekki M., Delgado A.D., Fry A., Putrino D., Huang V. (2018). Robotic rehabilitation and spinal cord injury: A narrative review. *Neurotherapeutics*, 15 (3), 604–617. doi: 10.1007/s13311-018-0642-3.
 9. Karjakin N.N., Belova A.N., Sushin V.O. et al. (2020). Potential benefits and limitations of robotic exoskeletons usage in patients with spinal cord injury: a review. *Bulletin of Rehabilitation Medicine*, 2 (96), 68–78. doi: 10.38025/2078-1962-2020-96-2-68-78.
 10. Perelman N.L. (2019). History and methodological basis of quality of life conception. *Physiology and Pathology of Restoration*, 2 (72), 112–119.
 11. Amirdzhanova V.N., Goryachev D.V., Korshunov N.I., Rebrov A.P., Sorotskaya V.N. (2008). Population indicators of quality of life according to the SF-36 Questionnaire (results of the MIRAGE multi-center study of the quality of life). *Rheumatology Science and Practice*, 1, 36–48. In Russ.
 12. Khaibullina Z.R., Sachabutdinova A.R., Kutliakhmetov N.S. (2010). The milestone system of restorative treatment and evaluation of the quality of life of patients with traumatic disease of spinal cord. *Bashkortostan Medical Journal*, 5 (4), 123–127.
 13. Esquenazi A., Talaty M., Packel A., Saulino M. (2012). The ReWalk powered exoskeleton to restore ambulatory function to individuals with thoracic-level motor-complete spinal cord injury. *Am. J. Phys. Med. Rehabil.*, 91 (11), 911–921.
 14. Baunsgaard C.B., Nissen U.V., Brust A.K. et al. (2018). Gait training after spinal cord injury: safety, feasibility and gait function following 8 weeks of training with the exoskeletons from Ekso Bionics. *Spinal Cord*, 56 (2), 106–116.
 15. Nesterova I.N., Prudnikova O.G. (2017). Assessment of psychoemotional state in patients with consequences of spinal cord injury. *Genij Ortopedii*, 23, 4, 439–443. doi: 10.18019/1028-4427-2017-23-4-439-443.
 16. Sczesny-Kaiser M., Höffken O., Aach M. et al. (2015). HAL exoskeleton training improves walking parameters and normalizes cortical excitability in primary somatosensory cortex in spinal cord injury patients. *J. Neuroeng. Rehabil.*, 12, 68.
 17. Baunsgaard C.B., Nissen U.V., Brust A.K. et al. (2018). Exoskeleton gait training after spinal cord injury: An exploratory study on secondary health conditions. *J. Rehabil. Med.*, 50 (9), 806–813.
 18. Bodrova R.A. (2015). Assessing of rehabilitation potential of patients with spinal cord injury using the International Classification of Functioning, Disability and Health. *Bulletin of Rehabilitation Medicine*, 4 (68), 13–22.
 19. Tkachenko P.V., Daminov V.D., Karpov O.E. (2017). Application of ExoAtlet exoskeleton in complex rehabilitation of the spinal cord injury patients. *Bulletin of Rehabilitation Medicine*, 2 (78), 126–132. In Russ.

ABOUT THE AUTHORS

Gvozдарева Mariya Andreyevna — Head, Physiotherapeutic Department, Physiotherapist of High Certificate, Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopedics n.a. Y.L. Tsvyryan.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Гвоздарева Мария Андреевна — заведующий физиотерапевтическим отделением, врач-физиотерапевт высшей категории ФГБУ «Новосибирский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Я.Л. Цивьяна» Минздрава России.

Илясова Екатерина Сергеевна — врач-физиотерапевт высшей категории ФГБУ «Новосибирский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Я.Л. Цивьяна» Минздрава России.

Дроздов Георгий Олегович — врач — мануальный терапевт, старший лаборант кафедры госпитальной терапии и медицинской реабилитации ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный медицинский университет» Минздрава России.

Карева Нина Петровна — д-р мед. наук, профессор кафедры госпитальной терапии и медицинской реабилитации ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный медицинский университет» Минздрава России; ведущий научный сотрудник ФГБУ «Новосибирский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Я.Л. Цивьяна» Минздрава России.

Образец цитирования: Гвоздарева М.А., Илясова Е.С., Дроздов Г.О., Карева Н.П. Влияние реабилитационных тренировок в роботизированном экзоскелете на качество жизни пациентов с позвоночно-спинномозговой травмой // Journal of Siberian Medical Sciences. 2020. № 4. С. 17–29.

Илясова Екатерина Сергеевна — Physiotherapist of High Certificate, Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopedics n.a. Y.L. Tsivyan.

Drozdov Georgy Olegovich — Manual Therapist, Senior Laboratory Assistant, Department of Hospital Therapy and Medical Rehabilitation, Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopedics n.a. Y.L. Tsivyan.

Kareva Nina Petrovna — Dr. Sci. (Med.), Professor, Department of Hospital Therapy and Medical Rehabilitation, Novosibirsk State Medical University; Leading Researcher, Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopedics n.a. Y.L. Tsivyan.

Citation example: Gvozhdareva M.A., Ilyasova E.S., Drozdov G.O., Kareva N.P. (2020). Effects of rehabilitation training in robotic exoskeleton on the quality of life of patients with spinal cord injury. *Journal of Siberian Medical Sciences*, 4, 17–29.