

© Коллектив авторов, 2021

УДК 616-035.1

DOI – <https://doi.org/10.14300/mnnc.2021.16028>

ISSN – 2073-8137

ПОВРЕЖДЕНИЕ СПИННОГО МОЗГА ПРИ КОМПРЕССИОННЫХ ПЕРЕЛОМАХ ПОЗВОНОЧНИКА: НЕВРОЛОГИЧЕСКИЙ ДЕФИЦИТ И ТЕХНОЛОГИИ РЕАБИЛИТАЦИИ ПАЦИЕНТОВ С НЕВРОЛОГИЧЕСКИМИ НАРУШЕНИЯМИ

Ю. О. Жариков, А. А. Нагайцева, В. Н. Николенко

Первый Московский государственный медицинский университет им. И. М. Сеченова (Сеченовский Университет), Российская Федерация

SPINAL INJURIES IN COMPRESSION FRACTURES OF THE SPINE: NEUROLOGICAL INSUFFICIENCY AND REHABILITATION OF PATIENTS WITH NEUROLOGICAL DISORDERS

Zharikov Yu. O., Nagajtseva A. A., Nikolenko V. N.

I. M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Russian Federation

В обзоре отражены современные данные о реабилитационных технологиях, используемых для лечения пациентов с повреждениями спинного мозга травматического генеза. Охарактеризованы основные принципы, заложенные в основе лечебного эффекта предлагаемых методов. Обобщены данные, обуславливающие возможность использования достижений технического прогресса и информационных технологий как методик, имеющих высокий реабилитационный потенциал и способствующих улучшению качества жизни данной группы больных.

Ключевые слова: травма спинного мозга, технологии реабилитации

Literature Review studies aim to identify current data in rehabilitation technologies used to treat patients with traumatic spinal cord injuries. The obtained data reflect the basic principles underlying the therapeutic effect of the currently proposed methods. The article summarizes the data that determine the possibility of using the achievements of technical progress and IT-technologies as methods of the high rehabilitation potential and contribute to improve the quality of life in this group of patients.

Keywords: spinal cord injury, rehabilitation technologies

Для цитирования: Жариков Ю. О., Нагайцева А. А., Николенко В. Н. ПОВРЕЖДЕНИЕ СПИННОГО МОЗГА ПРИ КОМПРЕССИОННЫХ ПЕРЕЛОМАХ ПОЗВОНОЧНИКА: НЕВРОЛОГИЧЕСКИЙ ДЕФИЦИТ И ТЕХНОЛОГИИ РЕАБИЛИТАЦИИ ПАЦИЕНТОВ С НЕВРОЛОГИЧЕСКИМИ НАРУШЕНИЯМИ. *Медицинский вестник Северного Кавказа*. 2021;16(1):114-118. DOI – <https://doi.org/10.14300/mnnc.2021.16028>

For citation: Zharikov Yu. O., Nagajtseva A. A., Nikolenko V. N. SPINAL INJURIES IN COMPRESSION FRACTURES OF THE SPINE: NEUROLOGICAL INSUFFICIENCY AND REHABILITATION OF PATIENTS WITH NEUROLOGICAL DISORDERS. *Medical News of North Caucasus*. 2021;16(1):114-118. DOI – <https://doi.org/10.14300/mnnc.2021.16028> (In Russ.)

МРТ – магнитно-резонансная томография
МСКТ – мультиспиральная компьютерная томография

ЭМГ – электромиография
HAL-терапия – Hybrid Assistive Limb терапия

Травматическое повреждение позвоночника с травмой спинного мозга остается одной из наиболее актуальных проблем в нейрохирургии, травматологии и нейрореабилитации. Частота спинномозговой травмы в мире составляет в год примерно 250–500 тысяч случаев [1]. В Российской Федерации показатель травмы позвоночника с повреждением спинного мозга достигает отметки 8000 случаев в год [2]. Согласно данным статистики, приведенной в клинических рекомендациях «Ведение больных с последствиями позво-

ночно-спинномозговой травмы на втором и третьем этапах медицинской и медико-социальной реабилитации» (2017), в крупных промышленных российских городах частота позвоночно-спинномозговой травмы составляет 0,58–0,6 случая на 10 000 населения. Наиболее распространенными причинами являются дорожно-транспортные происшествия, падения, насильственные действия, спорт [3, 4].

Компрессионные переломы позвоночника в зависимости от уровня повреждения проявляются кли-

нически нарушением функции различных сегментов спинного мозга [3]. Ниже места травмы наблюдается нарушение целостности нейронов и глии (в частности, олигодендроцитов, формирующих миелиновую оболочку), повышение концентрации медиатора глутамата, приводящее к гибели нервных клеток в результате эксайтотоксического эффекта, повреждение гематоэнцефалического барьера с проникновением внеклеточных агентов – эти факторы через каскад реакций вызывают апоптоз [5].

При повреждении спинного мозга могут затрагиваться восходящие (экстероцептивные и проприоцептивные нервные пути) и нисходящие (пирамидные и экстрапирамидные пути). Так как при компрессионном переломе костные осколки чаще всего смещаются в вентральную часть спинномозгового канала, они вызывают передний спинальный синдром при поражении передних двух третей спинного мозга [3]. При этом затрагиваются кортикоспинальные (потеря двигательной иннервации), спиноталамические пути (болевая, температурная, общая чувствительность), а также вегетативные отделы, обуславливающие иннервацию органов малого таза [3, 6].

При повреждении поясничных и крестцовых сегментов спинного мозга могут развиваться синдромы мозгового конуса или конского хвоста, отмечаются нарушения функций кишечника, органов малого таза, нижних конечностей [7]. Проявления этих синдромов во многом идентичны, что затрудняет их дифференцировку, при этом к синдрому мозгового конуса следует относить повреждения уровня S₃–S₅, а к синдрому конского хвоста – от L₃ и ниже [3, 8].

Неврологическая симптоматика проявляется нарушением функции и иннервации ниже уровня повреждения спинного мозга, повреждение нижних грудных сегментов приводит к параплегии, а шейных – к тетраплегии. Имеет значение для реабилитации и степень повреждения спинного мозга. Так, при неполной параплегии и неполной тетраплегии пациенты имеют больший восстановительный потенциал, чем при полной тетраплегии и параплегии [9].

Наличие повреждения на каком-либо уровне спинного мозга влечет за собой возникновение неврологического дефицита, который значительно ухудшает качество жизни пациентов и не может быть полностью устранен с помощью хирургического вмешательства или медикаментозных методов. В этом случае требуется проведение реабилитационных мероприятий, которые могут включать в себя лечебную физкультуру, аппаратные методы или их комбинацию. Задачей реабилитации является способствование возникновению новых межнейронных связей, стимуляция процессов нейропластичности и развитие позитивной биологической обратной связи от «отключенных» областей с корковыми центрами головного мозга.

Для оценки степени тяжести нарушений используется пятибалльная оценочная шкала ASIA (American Spinal Injury Association), основанная на карте дерматомов. Она позволяет симметрично с обеих сторон оценить чувствительный (по наиболее каудальному неизмененному дерматому с нормальной болевой и тактильной чувствительностью) и двигательный (по наиболее каудальному сегменту посредством определения и сравнения мышечной силы) неврологические уровни повреждения, а также их степень и тяжесть. Согласно шкале тяжести повреждения спинного мозга выделяют 5 степеней от А (полное повреждение с отсутствием иннервации 4 и 5 сакральных сегментов) до Е (норма) [10]. Несмотря на некоторые ограничения, такие как невозможность определения

происхождения травмы, непринятие во внимание дополнительных ее факторов, ограничение по возрасту, данная оценочная шкала не теряет своей актуальности в настоящее время [11].

Золотым стандартом диагностики спинномозговой травмы является МРТ и мультиспиральная КТ (МСКТ). Методы следует использовать комплексно для выявления мелких осколков костной ткани, оценки сочетанной травмы костной ткани и внутренних органов (МСКТ), а также крупных участков спинного мозга и мягких тканей, окружающих позвоночник (МРТ) [3, 12]. Для выявления сопряженных повреждений кровеносных сосудов существуют такие методы лучевой диагностики, как КТ-ангиография (для грудного и пояснично-крестцового отделов), МР-ангиография (для шейного отдела), ангиография по 2D- или 3D-времяпролетной методике [3]. Миелография с введением рентгеноконтрастных веществ в субарахноидальное пространство применяется при отсутствии возможности для проведения МРТ и неэффективности МСКТ; спондилография и электрофизиологическая диагностика не во всех случаях способны дать необходимые сведения для дальнейших действий [13].

При составлении программы реабилитации следует оценить состояние пациента и его потенциал, подтвердить отсутствие спинального шока, оценить степень неврологического дефицита. Используются шкалы для оценки мобильности, баланса, боли, психического состояния, которые применяются на ранних этапах травматической болезни спинного мозга в реанимационном отделении, палатах интенсивной терапии, далее проводится второй этап в отделении нейрореабилитации [14, 15].

В литературе имеются примеры нейрорегенеративного действия специальных упражнений, благодаря которым восстанавливается проводимость импульсов по спинному мозгу. Реабилитация проводится в соответствии с индивидуальной программой и первоначально включает пассивные движения в суставах, которые могут совмещаться с функциональной электростимуляцией и применением массажа, на следующем этапе пациент выполняет активные телодвижения [16]. Их эффект, в частности, заключается в восстановлении проведения моторных и сенсорных сигналов, сохранении мышечной массы, ослаблении воспалительной реакции, увеличении продукции нейротрофических факторов и следующей из этого стимуляции синаптической пластичности [17].

Для реабилитации пациентов может использоваться роботизированная механотерапия. Тренировки, с помощью которых достигается клинический эффект, подбираются с учетом индивидуальных характеристик пациента и его заболевания и проводятся с постепенным уменьшением нагрузки тела [18]. Заметными преимуществами данного метода является меньшее участие медицинского персонала в контроле над проведением тренировок, достаточно широкий выбор упражнений, предупреждение спастического синдрома и ортостатических реакций [18, 19]. Приводится случай сочетания механотерапии с чрескостной электростимуляцией, однако применение данной комбинации требует более тщательного изучения [10].

Сходным механизмом воздействия обладает кинезиотерапевтическая установка, действие которой направлено на создание условий и выработку навыков движения, частично или полностью утраченных вследствие травмы, с помощью выполняемых упраж-

нений, а также ослабления проявлений спастического синдрома; причем положительный эффект связывается не с нейрогенеративными возможностями организма, а с реализацией функций мышц, не используемых в связи с параличом [20].

В последнее время в реабилитации этих больных стала применяться HAL-терапия с использованием экзоскелета, методика получила широкое распространение в Японии и Германии. Результаты демонстрируют восстановление афферентных и эфферентных проводящих путей, развитие пресинаптического торможения и координацию работы мышц-агонистов и антагонистов [21]. Устройства подразделяются по источнику энергии на активные и пассивные, по локализации – для нижней или верхней конечности, а также комбинированный тип – экзоскелет-костюм (широко не применяется в медицинской практике), по весу, количеству функций, мобильности. Выделяются условно несколько ценовых категорий устройства: от 1 тысячи долларов (отечественного производства, в основном пассивного типа) до 50 тысяч долларов и выше (большинство моделей активного типа, созданных на основе современных материалов и технологий) [22]. Экзоскелет может использоваться при пара- и тетраплегии, неполных и полных спинномозговых травмах различной давности [23]. Отмечено, что возраст и уровень повреждения существенно не влияют на исход реабилитационных мероприятий [21].

В реабилитационных мероприятиях может также использоваться эпидуральная или чрескожная электростимуляция, лечебный эффект которой достигается путем воздействия на афферентные волокна задних корешков спинного мозга. При введении электродов для эпидуральной стимуляции используется общая анестезия, уточнение места крепления проводится с помощью рентгеноконтрастных веществ [24]. Электроды можно располагать в шейной, поясничной и крестцовой областях для стимулирования мышц конечностей при парезе или плегии. Основные различия в применении методов заключаются в том, что эпидуральная стимуляция позволяет воздействовать на волокна локально, а чрескожная – неинвазивна и обладает более широкой областью воздействия. Оба метода вызывают идентичные потенциалы ЭМГ, что свидетельствует о возможности их использования для реабилитации на равных условиях [25].

В связи со все более широким внедрением в медицинскую реабилитацию инновационных технологий стали применяться устройства с биологической обратной связью, а также основанным на ней интерфейсом «мозг-машина (компьютер)». Метод направ-

лен на тренировку опорно-двигательного аппарата и стимуляцию кортикоспинальной пластичности. Преимущество состоит в повышении значимости практической составляющей выполняемых упражнений и, как следствие, мотивации и заинтересованности в них пациента [26]. Описан пример эффективного использования данного интерфейса в дополнение к чрескожной функциональной электростимуляции у двух пациентов с тяжелой хронической параплегией, развившейся в результате травмы спинного мозга [27].

Наряду с применением технологий биологической обратной связи появилась возможность использовать для реабилитации пациентов, в том числе со спинномозговой травмой, технологий виртуальной реальности, которые не менее эффективны по сравнению с традиционными методами, но в то же время повышают вовлеченность и мотивацию [28]. Отмечаются некоторые недостатки использования подобной технологии, в их число входит негативное в некоторых случаях влияние на пациента: появление тошноты, рвоты, головокружения, головной боли, а также высокая стоимость оборудования [29].

Важную роль в выборе программы реабилитации играют возможные осложнения спинномозговой травмы. Перед началом восстановительной программы следует провести коррекцию ортопедических осложнений консервативными методами, а при отсутствии положительного эффекта прибегнуть к хирургическим; пациенты с воспалительными урологическими заболеваниями не могут приступать к реабилитационным мероприятиям до устранения осложнений со стороны мочевыделительной системы [30, 31]. Особое место среди осложнений занимает спастический синдром, для устранения которого предлагаются методы нейромодуляции: электростимуляция и локальная гипотермия спинного мозга, введение смеси лекарственных средств (клофелина, морфина гидрохлорида в физиологическом растворе) [32].

Таким образом, выбор способа реабилитации при травматической болезни спинного мозга должен проводиться с учетом индивидуальных особенностей пациента при использовании наиболее совершенных методов, в том числе активном внедрении в рутинную практику экзоскелетов и достижений IT-технологий. Необходимо учитывать уровень и степень повреждения спинного мозга, реабилитационный потенциал больного, наличие или отсутствие спинального шока, степень неврологического дефицита, наличие осложнений и их выраженность.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Литература/References

- Holanda L. J., Silva P. M. M., Amorim T. C., Lacerda M. O., Simao C. R., Morya E. Robotic assisted gait as a tool for rehabilitation of individuals with spinal cord injury: a systematic review. *J. NeuroEng. Rehab.* 2017;14:126. <https://doi.org/10.1186/S12984-017-0338-7>
- Лобзин С. В., Мирзаева Л. М., Цинзерлинг Н. В., Дулаев А. К., Тамаев Т. И., Тюликов К. В. Острое травматическое повреждение спинного мозга в Санкт-Петербурге. Эпидемиологические данные: частота, гендерные и возрастные особенности. *Вестник Северо-Западного государственного медицинского университета им. И. И. Мечникова.* 2019;11(2):27-34. [Lobzin S. V., Mirzaev L. M., Tcinzerling N. V., Dulaev A. K., Tamayev T. I., Tyulikov K. V. Acute traumatic spinal cord injury in Saint Petersburg. Epidemiological data: incidence rate, gender and age characteristics. *Vestnik Zapadnogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta im. I. I. Mechnikova.* – *Herald of North-Western State Medical University named after I. I. Mechnikov.* 2019;11(2):27-34. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.17816/mechnikov201911227-34>
- Бажин А. В., Егорова Е. А. Оптимизация схемы обследования пациентов с позвоночно-спинномозговой травмой с использованием новых технологий лучевой диагностики. *Современные технологии в медицине.* 2018;10(2):125-134. [Bazhin A. V., Egorova E. A. Diagnostic Imaging in Patients with Spinal Injury: an Optimized Procedure Based on Novel Technologies. *Sovremennye tehnologii v medicine.* – *Modern technologies in medicine.* 2018;10(2):125-134. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.17691/stm2018.10.2.14>
- Murray C. M., Van Kessel G., Guerin M., Hillier S., Stanley M. Exercising choice and control: a qualitative meta-synthesis of perspectives of people with a spinal cord injury. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* 2019;100(9):1752-1762. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2019.01.011>
- Hachem L. D., Ahuja C. S., Fehlings M. G. Assessment and management of acute spinal cord injury: From

- point of injury to rehabilitation. *J. Spinal Cord. Medicine.* 2017;40(6):665-675.
<https://doi.org/10.1080/10790268.2017.1329076>
6. Kunam V. K., Velayudhan V., Chaudhry Z. A., Bobinski M., Smoker W. R. K., Reede D. L. Incomplete Cord Syndromes: Clinical and Imaging Review. *Radiographics.* 2018;38(4):1201-1222.
<https://doi.org/10.1148/rg.2018170178>
 7. Сулейманова М. А., Карпов С. М., Вышлова И. А., Карпов А. С., Апагуни А. Э., Караков К. Г. Травмы спинного мозга, синдромы поражения. *Современные проблемы науки и образования.* 2018;2:38. [Suleymanova M. A., Karpov S. M., Vyshlova I. A., Karpov A. S., Apaguni A. E., Karakov K. G. Trauma of the spinal cord, the syndrome of defeat. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya.* 2018;2:38. (In Russ.).]
 8. Brouwers E., van Dement H., Curt A., Starremans B., Hosman A., Bartels R. Definitions of traumatic conus medullaris and cauda equina syndrome: a systematic literature review. *Spinal Cord.* 2017;55:886-890.
<https://doi.org/10.1038/sc.2017.54>
 9. Alizadeh A., Dyck S. M., Karimi-Abdolrezaee S. Traumatic Spinal Cord Injury: An Overview of Pathophysiology, Models and Acute Injury Mechanisms. *Front. Neurol.* 2019;10:282. <https://doi.org/10.3389/fneur.2019.00282>
 10. Виссарионов С. В., Баиндурашвили А. Г., Крюкова И. А. Международные стандарты неврологической классификации травмы спинного мозга (шкала ASIA/ISNCSCI, пересмотр 2015 года). *Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста.* 2016;4(2):67-72. [Vissarionov S. V., Baidurashvili A. G., Kryukova I. A. International standards for neurological classification of spinal cord injuries (ASIA/ISNCSCI scale, revised 2015). *Ortopediya, travmatologiya i voss-tanovitel'naya hirurgiya detskogo vozrasta.* 2016;4(2):67-72. (In Russ.).]
<https://doi.org/10.17816/PTORS4267-72>
 11. Roberts T. T., Leonard G. R., Cepela D. J. Classifications In Brief: American Spinal Injury Association (ASIA) Impairment Scale. *Clin. Orthop. Relat. Res.* 2017;475:1499-1504. <https://doi.org/10.1007/S11999-016-5133-4>
 12. Тихова К. Е., Савелло В. Е., Мануковский В. А., Шумакова Т. А. Возможности магнитно-резонансной и компьютерной томографии в диагностике острой позвоночно-спинномозговой травмы шейного отдела позвоночника. *Вестник Российской военной-медицинской академии.* 2016;3(55):61-70. [Tihova K. E., Savello V. E., Manukovsky V. A., Shumakova T. A. Possibilities of magnetic resonance imaging and computed tomography in diagnosis of acute cerebrospinal trauma of cervical spine. *Vestnik Rossiiskoi voenno-meditsinskoi akademii.* – *Bulletin of the Russian Military Medical Academy.* 2016;3(55):61-70. (In Russ.).]
 13. Крылов В. В., Гринь А. А., Луцик А. А., Парфёнов В. Е., Дулаев А. К. [и др.]. Рекомендательный протокол лечения острой осложненной и неосложненной травмы позвоночника у взрослых (ассоциации нейрохирургов РФ). Часть 2. *Вопросы нейрохирургии им. Н. Н. Бурденко.* 2015;79(1):83-89. [Krylov V. V., Grin' A. A., Lutsik A. A., Parfenov V. E., Dulaev A. K. [et al.]. Recommended protocol for treating complicated and uncomplicated acute spinal injury in adults (Association of Neurosurgeons of Russia). Part 2. *Voprosy Neurokhirurgii Imeni N. N. Burdenko.* – *Questions of neurosurgery named after N. N. Burdenko.* 2015;79(1):83-89. (In Russ.).]
<https://doi.org/10.17116/neiro201579183-89>
 14. Галяев И. Ю., Барабанова М. А., Тимченко Л. В., Жадан О. Н. Этапность и преемственность в реабилитации пациентов нейрохирургического профиля. *Инновационная медицина Кубани.* 2018;1(9):6-11. [Galyaev I. Y., Barabanova M. A., Timchenko L. V., Zhadan O. N. Staging and continuity in rehabilitation of patients with neurosurgical issues. *Innovatsionnaya medicina Kubani.* – *Innovative medicine of the Kuban.* 2018;1(9):6-11. (In Russ.).]
 15. Behrman A. L., Ardolino E. M., Harkema S. J. Activity-based therapy: from basic science to clinical application for recovery after spinal cord injury. *J. Neurol. Phys. Ther.* 2017;41(3):39-45.
<https://doi.org/10.1097%2FNFPT.0000000000000184>
 16. Якушин О. А., Ванеев А. В., Федоров М. Ю., Новокшонов А. В., Крашенинникова Л. П. Случай успешного комплексного лечения пациента с позвоночно-спинномозговой травмой на шейном уровне. *Политравма.* 2016;2:68-72. [Yakushin O. A., Vaneev A. V., Fedorov M. Yu., Novokshonov A. V., Krashenninnikova L. P. A case of successful complex treatment of a patient with spine and spinal cord injury at cervical level. *Politravma.* – *Polytrauma.* 2016;2:68-72. (In Russ.).]
 17. Sandrow-Feinberg H. R., Houle J. D. Exercise after Spinal Cord Injury as an Agent for Neuroprotection, Regeneration and Rehabilitation. *Brain Res.* 2015;1619:12-21.
<https://doi.org/10.1016/j.brainres.2015.03.052>
 18. Полилова Ю. В., Дробышев В. А., Ступак В. В., Шелякина О. В., Цветовский С. Б. [и др.]. Роботизированная механотерапия в этапной реабилитации пациентов с последствиями позвоночно-спинномозговой травмы. *Хирургия позвоночника.* 2017;14(1):46-50. [Polilova Yu. V., Drobyshev V. A., Stupak V. V., Shelyakina O. V., Tsvetovskiy S. B. [et al.]. Robotic mechanotherapy in staged rehabilitation of patients with consequences of spinal cord injury. *Hir. pozvonoc.* – *Spine surgery.* 2017;14(1):46-50. (In Russ.).] <https://doi.org/10.14531/ss2017.1.46-50>
 19. Сидякина И. В., Добрушина О. Р., Лядов К. В., Шаповаленко Т. В., Ромашин О. В. Доказательная медицина в нейрореабилитации: инновационные технологии. *Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры.* 2015;3:53-56. [Sidiakina I. V., Dobrushina O. R., Liadov K. V., Sharovalenko T. V., Romashin O. V. The role of evidence-based medicine in the neurorehabilitation: the innovative technologies (a review). *Voprosy kurortologii, fizioterapii i lechebnoj fizicheskoy kultury.* – *Questions of balneology, physiotherapy and physical therapy.* 2015;3:53-56. (In Russ.).]
 20. Коновалова Н. Г., Филатов Е. В., Ляховецкая В. В., Фроленко Ю. С. Опыт применения кинезиотерапевтической установки «Экзарта» в реабилитации пациентов с патологией спинного мозга на шейном уровне. *Физиотерапия, бальнеология и реабилитация.* 2017;16(2):102-106. [Konovalova N. G., Filatov E. V., Lyakhovetskaya V. V., Frolenko Yu. S. The experience with the application of the «Ekzarta» (redcord) kinesiotherapeutic equipment for the rehabilitation of the patients with spinal cord pathology at the cervical level. *Fizioterapiya, balneologiya i reabilitatsiya.* – *Physiotherapy, balneology and rehabilitation.* 2017;16(2):102-106. (In Russ.).]
<https://doi.org/10.18821/1681-3456-2017-16-2-102-106>
 21. Grasmücke D., Zierlacks A., Jansen O., Fisahn C., Sczesny-Kaiser M. [et al.]. Against the odds: what to expect in rehabilitation of chronic spinal cord injury with a neurologically controlled Hybrid Assistive Limb exoskeleton. A subgroup analysis of 55 patients according to age and lesion level. *Neurosurgical Focus.* 2017;42(5):E15.
<https://doi.org/10.3171/2017.2.FOCUS171>
 22. Воробьев А. А., Андрющенко Ф. А., Засыпкина О. А., Соловьева И. О., Кривоножкина П. С., Поздняков А. М. Терминология и классификация экзоскелетов. *Вестник Волгоградского государственного медицинского университета.* 2015;3(55):71-77. [Vorobiev A. A., Andrutshenko F. A., Zasyapkina O. A., Solovieva I. O., Krivonozhkina P. S., Pozdnykov A. M. Terminology and classification of exoskeleton. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo medicinskogo universiteta.* – *Bulletin of the Volgograd State Medical University.* 2015;3(55):71-77. (In Russ.).]
 23. Baunsgaard C. B., Nissen U. V., Brust A. K., Frotzler A., Ribeill C. [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;56:106-116.
<https://doi.org/10.1038/S41393-017-0013-7>
 24. Calvert J. S., Grahn P. J., Strommen J. A., Lavrov I. A., Beck L. A. [et al.]. Electrophysiological guidance of epidural electrode array implantation over the human lumbosacral spinal cord to enable motor function after chronic paralysis. *J. Neurotrauma.* 2019;36:1451-1460.
<https://doi.org/10.1089/neu.2018.5921>
 25. Hofstoetter U. S., Freundl B., Binder H., Minassian K. Common neural structures activated by epidural and transcutaneous lumbar spinal cord stimulation: Elicitation of posterior root muscle reflexes. *PLoS ONE.* 2018;13(1):e0192013.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0192013>
 26. Бодрова Р. А., Аухадеев Э. И., Якупов Р. А., Закамырдина А. Д., Кормачев М. В. Обоснование применения технологий медицинской реабилитации с

- биологической обратной связью у пациентов с повреждением спинного мозга с позиций Международной классификации функционирования, ограничений жизнедеятельности и здоровья. *Практическая медицина*. 2017;1(102):104-109. [Bodrova R. A., Aukhadeev E. I., Yakupov R. A., Zakamyrdina A. D., Kormachev M. V. Justification of medical rehabilitation technologies with biological feedback in patients with spinal cord injury according to the International classification of functioning, disability and health. *Prakticheskaja medicina. – Practical medicine*. 2017;1(102):104-109. (In Russ.)].
27. Selfslagh A., Shokur S., Campos D. S. F., Donati A. R. C., Almeida S. [et al.]. Non-invasive, brain-controlled functional electrical stimulation for locomotion rehabilitation in individuals with paraplegia. *Sci. Rep.* 2019;9:6782. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-43041-9>
 28. Воловик М. Г., Борзиков В. В., Кузнецов А. Н., Базаров Д. И., Полякова А. Г. Технологии виртуальной реальности в комплексной медицинской реабилитации пациентов с ограниченными возможностями (обзор). *Современные технологии в медицине*. 2018;10(4):173-182. [Volovik M. G., Borzikov V. V., Kuznetsov A. N., Bazarov D. I., Polyakova A. G. Virtual reality technology in complex medical rehabilitation of patients with disabilities (review). *Sovremennye tehnologii v medicine. – Modern technologies in medicine*. 2018;10(4):173-182. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.17691/stm2018.10.4.21>
 29. Massetti T., da Silva T. D., Crocetta T. B., Guarnieri R., de Freitas B. L. [et al.]. The clinical utility of virtual reality in neurorehabilitation: a systematic review. *J. Central Ner. Syst. Dis.* 2018;10:1-18. <https://doi.org/10.1177/1179573518813541>
 30. Филатов Е. В., Палаткин П. П., Фроленко С. Ю., Баранников А. А., Урюпин В. Ю. Значение осложнений травматической болезни спинного мозга в двигательной реабилитации пациентов. *Медицина в Кузбассе*. 2016;15(2):41-47. [Filatov E. V., Palatkin P. P., Frolenko S. Yu., Barannikov A. A., Uryupin V. Yu. Significance of the traumatic spinal cord injury complications in motor rehabilitation of patients. *Medicina v Kuzbasse. – Medicine in Kuzbass*. 2016;15(2):41-47. (In Russ.)].
 31. Kukes V. G., Nikolenko V. N., Pavlov C. S., Zharikova T.S., Marinin V. F., Gridin L. A. The correlation of somatotype of person with the development and course of various diseases: results of Russian research. *Russ. Open Med. J.* 2018;7(3):301. <https://doi.org/10.15275/rusomj.2018.0301>
 32. Нинель В. Г., Смолькин А. А., Коршунова Г. А., Норкин И. А. Методы нейромодуляции в лечении спастического синдрома и их роль в комплексной реабилитации пациентов после травмы позвоночника и спинного мозга. *Хирургия позвоночника*. 2016;13(3):15-21. [Ninel V. G., Smol'kin A. A., Korshunova G. A., Norkin I. A. Methods of neuromodulation in the treatment of spastic syndrome and their role in complex rehabilitation of patients after spine and spinal cord injuries. *Hir. pozvonoc. – Spine surgery*. 2016;13(3):15-21. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.14531/ss2016.3.15-21>

Сведения об авторах:

Жариков Юрий Олегович, кандидат медицинских наук, доцент кафедры анатомии; тел.: 89166479938; e-mail: dr_zharikov@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9636-3807>

Нагайцева Анна Анатольевна, студентка; тел.: 89087605324; e-mail: ffma0@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4915-0793>

Николенько Владимир Николаевич, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой; e-mail: vn.nikolenko@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9532-9957>