

ISSN 1814-6023 (Print)

ISSN 2524-2350 (Online)

УДК 616.711.6-001-036.82/85:612.8

<https://doi.org/10.29235/1814-6023-2018-15-4-422-428>

Поступила в редакцию 11.09.2018

Received 11.09.2018

И. А. Ильясевич, Е. В. Сошникова, А. Н. Мазуренко, К. А. Криворот

*Республиканский научно-практический центр травматологии и ортопедии,
Минск, Республика Беларусь*

НЕЙРОФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ У ПАЦИЕНТОВ С ТРАВМОЙ ПОЯСНИЧНОГО ОТДЕЛА ПОЗВОНОЧНИКА

Аннотация. Выполнена электрофизиологическая оценка функционального состояния спинного мозга у 26 пациентов с оскольчатый переломом L_1 -позвонок до и после операции. Данные, полученные при анализе результатов электромиографии и транскраниальной магнитной стимуляции, позволили количественно оценить степень нарушения функций спинного мозга, определить объемы и сроки завершения реабилитации.

Ключевые слова: повреждение поясничного отдела позвоночника, спинной мозг, электромиография, транскраниальная магнитная стимуляция

Для цитирования: Нейрофизиологическое обоснование дифференцированной реабилитации у пациентов с травмой поясничного отдела позвоночника / И. А. Ильясевич [и др.] // Вест. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. мед. наук. – 2018. – Т. 15, № 4. – С. 422–428. <https://doi.org/10.29235/1814-6023-2018-15-4-422-428>

I. A. Ilyasevich, E. V. Soshnikova, A. N. Mazurenko, K. A. Krivorot

Republican Scientific-Practical Centre of Traumatology and Orthopedics, Minsk, Republic of Belarus

NEUROPHYSIOLOGICAL SUBSTANTIATION OF THE DIFFERENTIATED REHABILITATION IN PATIENTS WITH LUMBAR SPINE INJURY

Abstract. Electrophysiological evaluation of the features of the functional state of the spinal cord in 26 patients with a fractured L_1 vertebra before and after operation was made. The analysis data of the results on electromyography and transcranial magnetic stimulation allowed estimating the impairment degree of spinal cord functions and determining the volume and time of rehabilitation completion.

Keywords: lumbar spine trauma, spine cord, electromyography, transcranial magnetic stimulation

For citation: Ilyasevich I. A., Soshnikova E. V., Mazurenko A. N., Krivorot K. A. Neurophysiological substantiation of the differentiated rehabilitation in patients with lumbar spine injury. *Vesti Natsyonal'nai akademii navuk Belarusi. Seriya meditsinskikh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Medical series*, 2018, vol. 15, no. 4, pp. 422–428 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1814-6023-2018-15-4-422-428>

Введение. Одним из наиболее распространенных видов нестабильных биомеханических повреждений позвоночника, возникающих при воздействии аксиальных, сгибательных и ротационных нагрузок, является оскольчатый перелом позвонка. Он характеризуется повреждением переднего и среднего позвоночных столбов с обязательным нарушением целостности переднего полукольца позвоночного канала, а в большинстве случаев – сдавлением спинного мозга (СМ) костными фрагментами поврежденных тел, дуг и суставных отростков, фрагментами разорванных дисков и обрывками связок, эпидуральными и субдуральными гематомами, сочетанием различных факторов [1, 2]. При травме позвоночника также имеет место сотрясение СМ, которое характеризуется обратимыми нарушениями его функций [3, 4]. При этом клинически у пациента с так называемой неосложненной травмой позвоночника симптоматика неврологических нарушений в остром периоде может не определяться. Однако характерной патофизиологической особенностью посттравматических изменений СМ являются процессы отсроченной во времени нейродеструкции, развивающейся на клеточном и субклеточном уровнях. В основе патогенеза вторичных расстройств лежат компрессионно-ишемические реакции на уровне травмы, приводящие к функциональным осложнениям СМ [5–8]. В единичных работах были предприняты по-

пыткі нейрофизиологического анализа закономерностей патогенеза двигательных нарушений при повреждении позвоночника, однако отсутствие в них систематизации и анализа данных не позволило оценить эффективность диагностики в зависимости от уровня, степени и срока травматического поражения [8–10].

С учетом современных знаний о патогенезе травматической болезни СМ целью реабилитации пациентов с тяжелыми двигательными расстройствами является формирование компенсаторных навыков взамен утраченных функций [11, 12]. В основе восстановления нарушенных функций СМ лежат пластические свойства сегментарных отделов центральной нервной системы, обеспечивающие сохранение межнейронных взаимодействий СМ даже при значительных поражениях статической и динамической функций позвоночника [7, 13, 14]. Современные медицинские технологии реабилитации пациентов с нарушением проводимости СМ не всегда учитывают наличие редуцированных вызванных ответов, являющихся одним из признаков частичной сохранности функций СМ [8, 15, 16]. Это объясняется тем, что возможность регистрации указанных вызванных ответов появилась сравнительно недавно, благодаря развитию новых методов соматосенсорных вызванных потенциалов (ССВП) и транскраниальной магнитной стимуляции (ТМС), а также тем, что вопрос о реализации физиологических резервов посттравматического потенциала СМ и его корешков для эффективного восстановления функций окончательно не изучен [7–10].

Цель работы – дать нейрофизиологическую оценку эффективности дифференцированной реабилитации моторной функции у пациентов с оскольчатый переломом поясничного отдела позвоночника.

Материалы и методы исследования. Выполнено нейрофизиологическое исследование нервно-мышечной системы до операции, в ранние и поздние сроки после операции (1, 6, 12 и 24 мес.) у 26 пациентов с оскольчатый переломом L_1 позвонка. Степень неврологического осложнения по шкале *ASIA* определяли как тип «Е», характерный для неосложненного повреждения позвоночника. В группу контроля вошли 25 здоровых лиц.

Оценку клиничко-функциональных результатов лечения в отдаленные сроки проводили с применением клиничского, лучевого и статистического методов исследования. С помощью электромиографии (ЭМГ) регистрировали биоэлектрическую активность мышц бедер, голеней и стоп. По данным стимуляционной ЭМГ осуществляли анализ параметров центральной *F*-волны, рефлекторного Н-потенциала и периферического М-ответа мышц голеней и стоп при электрическом раздражении *nn. peroneus et tibialis*. Состояние нисходящих моторных путей СМ оценивали по данным транскраниальной, в поясничной области – по данным корешковой магнитной стимуляции (КМС). Регистрировали моторные ответы (МО) мышц бедра (*mm. rectus femoris, vastus lateralis – L₂–L₄*), мышц голеней (*m. tibialis anterior – L₄–L₅*) и стоп (*m. extensor digitorum brevis – L₅; m. abductor hallucis – S₁*). Рассчитывали время центрального моторного проведения импульса в системе нисходящих трактов СМ как разницу между показателями латентного времени МО при ТМС и КМС.

Оборудование: цифровая электрофизиологическая установка Nicolet Viking Select (Nicolet Biomedical, США) в комплексе с магнитным стимулятором Magstim-200 (Magstim Company Ltd, Великобритания).

Результаты и их обсуждение. Клиничское состояние пациентов с травматическим повреждением позвоночника оценивали в соответствии с данными разработанной нами инструкции по применению «Метод клиничко-функциональной оценки результатов хирургического лечения пациентов с костно-травматическими повреждениями позвоночника», используя балльные таблицы [17]. Установлено, что у пациентов с неосложненным повреждением позвоночника в сроки 6–12 мес. после операции и реабилитации двигательная функция мышц нижних конечностей была в полном объеме или незначительно уменьшена. Выраженность болевого синдрома в поясничном отделе позвоночника в отдаленные сроки снижалась, но в ряде случаев сохранялись жалобы на периодическое обострение боли.

Диагностика функционального состояния мышц, проведенная до операции, показала, что электрофизиологические показатели мышц нижних конечностей, зарегистрированные у 6 пациентов, соответствовали контролю. У 20 пациентов выявлены изменения ЭМГ, свидетельствующие о снижении рефлекторной возбудимости мышц и нарушении моторной проводимости корешков

Характеристика параметров вызванных потенциалов и моторных ответов, зарегистрированных у пациентов с неосложненным оскольчатый переломом поясничного отдела позвоночника в различные сроки посттравматического периода (M ± m)

Characterization of the parameters of evoked potentials and motor responses recorded in patients with the uncomplicated comminuted fracture of the lumbar spine at various times of the post-traumatic period (M ± m)

Параметр	Посттравматический период		
	1 мес.	6 мес.	12 мес.
Время периферического проведения импульса (<i>F</i> -волна), мс	27,4 ± 1,7	27,7 ± 3,6	26,9 ± 3,3
Амплитуда М-ответа (<i>m. extensor digitorum brevis, L₅</i>), мВ	4,1 ± 1,2	4,3 ± 1,5	4,0 ± 1,5
Амплитуда М-ответа (<i>m. soleus, L₅-S₁</i>), мВ	8,6 ± 5,0	8,2 ± 6,7	8,8 ± 5,6
Амплитуда Н-рефлекса (<i>m. soleus, L₅-S₁</i>), мВ	3,2 ± 2,5	4,1 ± 3,3	3,4 ± 2,6
Амплитуда МО при ТМС (<i>m. extensor digitorum brevis, L₅</i>), мВ	1,5 ± 0,8	1,3 ± 0,7*	2,0 ± 0,8
Латентное время МО при ТМС (<i>m. extensor digitorum brevis, L₅</i>), мс	38,0 ± 1,0	38,4 ± 3,0	40,9 ± 3,1

Примечание. МО – моторный ответ; * – достоверные изменения параметра при $p < 0,05$ по *t*-критерию Стьюдента.

поясничных нервов. Наиболее выраженными были данные ТМС (см. таблицу). Нарушения электрофизиологического паттерна МО характеризовались уменьшением его амплитуды на 50–60 % (норма $2,3 \pm 1,6$ мВ) в сочетании со значительным удлинением латентного времени до $44 \pm 2,6$ мс (контроль $38,4 \pm 1,6$ мс). Указанные отклонения МО расценивали как признак моторной недостаточности корешков конского хвоста.

Через 6 мес. у 14 (70 %) пациентов наблюдали нормализацию электрофизиологических параметров МО, что позволило сделать вывод о завершении реабилитации. У 6 (30 %) пациентов признаки моторной недостаточности поясничных нервов сохранялись и в более поздние сроки. Несмотря на общую позитивную динамику электрофизиологических параметров и улучшение самочувствия пациентов, среднее значение амплитуды МО через 6 мес. оставалось у них сниженным до $1,3 \pm 0,7$ мВ (при норме $2,6 \pm 0,5$ мВ), что свидетельствовало о необходимости продолжения реабилитации.

Анализ цифрового материала таблицы показал, что такие электрофизиологические показатели, как скорость эфферентного проведения импульса по периферическим нервам конечностей (по величине *F*-волны в *n. peroneus, L₅*), амплитуда М-ответа мышц голени и стоп, коэффициент рефлекторной возбудимости мышц голени (H_{\max}/M_{\max}), в поздние сроки посттравматического периода незначительно отклонялись от контроля ($p > 0,05$), демонстрируя умеренные реактивные изменения функции СМ. В отличие от ЭМГ, диагностика методом ТМС позволяла более точно оценить функцию и выявить признаки субклинической моторной недостаточности корешков поясничных нервов на различных этапах реабилитации.

На рис. 1 представлены осциллограммы пациента, у которого динамика электрофизиологических показателей в послеоперационном периоде (на протяжении 6 мес.) характеризовалась сохранением ряда нарушений: уменьшением параметров ЭМГ и модификацией ее структуры по редуцированному типу, угнетением Н-рефлекса, уменьшением амплитуды МО при ТМС и удлинением его латентного времени по сравнению с контролем. Данные диагностики являлись обоснованием для продолжения реабилитации в усиленном режиме.

На этапе амбулаторно-поликлинической медицинской помощи пациенты получали комплексное лечение, включающее ФТЛ, ЛФК и массаж. Электрофизиологический контроль через 12 мес. выявил у 83 % пациентов улучшение нервно-мышечной функции. Остаточное снижение моторной функции корешков в указанные сроки выявлено у 3 (17 %) пациентов. Сравнительный анализ данных клинического и электрофизиологического исследований в отдаленные сроки показал, что хорошие результаты реабилитации преобладали у пациентов, которым оперативное лечение проводили в первые 1–2 недели после травмы. Отсутствие хороших результатов было связано с увеличением времени от момента травмы до операции от 1 до 4 мес.

В отдаленные сроки (через 12–24 мес.) на фоне стабилизации основных показателей ЭМГ наблюдали рост средней величины амплитуды МО до уровня нижней границы нормы ($2,0 \pm 0,8$ мВ).

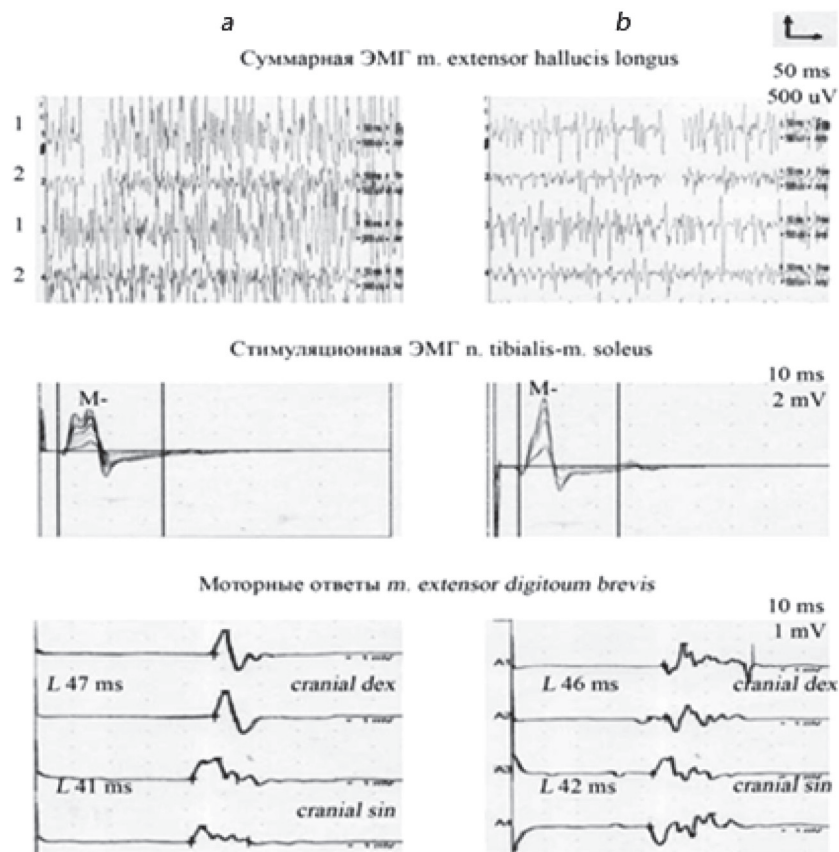


Рис. 1. Динамика электрофизиологических показателей функции мышц нижних конечностей при оскольчатом переломе L_1 позвонка. Моторная недостаточность сегментов спинного мозга L_5-S_1 и соответствующих корешков: *a* – до операции; *b* – через 6 мес. после операции. L – латентный период; 1 – ЭМГ мышц справа; 2 – ЭМГ мышц слева

Fig. 1. Dynamics of electrophysiological indices of the muscle function of the lower limbs with a fracture of the L_1 vertebra. Motor failure of segments of the spinal cord L_5-S_1 and the corresponding roots: *a* – before surgery; *b* – 6 months after operation. L – latent period; 1 – EMG of muscles on the right; 2 – EMG of muscles on the left

При этом в группе пациентов показатель латентного времени МО, позволяющий оценить скорость моторной проводимости импульса по нервным трактам СМ и его корешкам, соответствовал контрольному значению ($40,9 \pm 3,1$ мс). Результаты диагностики в отдаленные сроки отражали незначительное остаточное снижение моторной проводимости корешков конского хвоста у пациентов с неосложненной травмой поясничного отдела позвоночника. По данным балльной таблицы, хороший клинично-функциональный результат лечения выявлен у 92 % пациентов, удовлетворительный – у 8 %.

Анализ количественных параметров МО, зарегистрированных в динамике наблюдения в одной и той же мышце при ТМС и КМС, позволил перейти к изучению нейрофизиологического механизма восстановления двигательной функции мышц у пациентов с травматическим повреждением позвоночника. Установлено, что в поздние сроки на фоне восстановления амплитуды МО мышцы при ТМС и улучшения ее двигательной функции величина амплитуды МО при КМС (в поясничной области) пораженных корешков оставалась сниженной на 20–56 %. Уменьшение амплитуды корешковых МО сопровождалось удлинением латентного времени, что соответствовало признакам снижения моторной проводимости. Кажущееся несоответствие данных ТМС и КМС объяснялось пластическими свойствами сегментарного аппарата центральной нервной системы, реализация которых возможна при условии морфологической сохранности нервных трактов СМ. При ТМС в результате перераспределения потока нисходящей кортико-спинальной импульсации по двигательным корешкам, сохранившим связь с соответствующими сегментами СМ, в пострадавшей мышце происходит функциональная перестройка ее двигательных единиц. При КМС поток возбуждающей импульсации ограничен функциональными возможностями пораженного корешка,

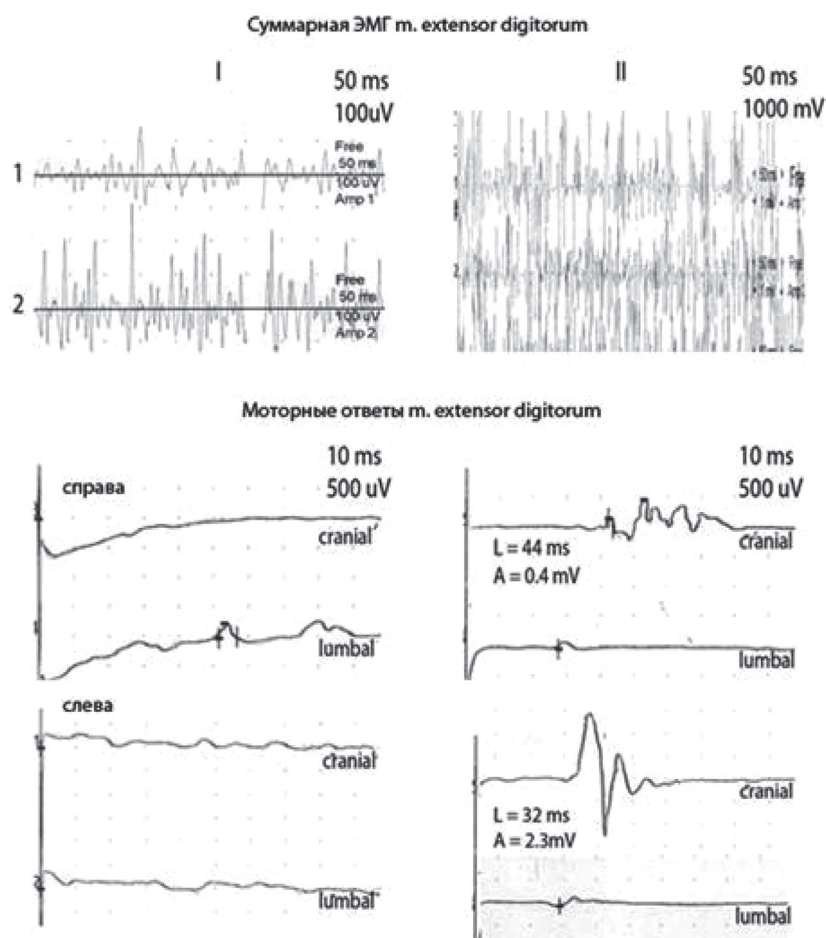


Рис. 2. Динамика электрофизиологических показателей мышц стоп у пациента М. с неосложненным переломом L_1 (ASIA «E») в ранние (I) и поздние (II) сроки после реабилитации

Fig. 2. Dynamics of electrophysiological parameters of the feet muscles of patient M. with the uncomplicated fracture L_1 (ASIA “E”) in the early (I) and later (II) periods after rehabilitation

поэтому двигательная функция мышцы оказывается сниженной. Таким образом, компенсаторная двигательная реиннервация является одним из механизмов восстановления двигательной функции мышц нижних конечностей после оскольчатого перелома поясничного отдела позвоночника.

На рис. 2 видно, что в поздние сроки (II – через 24 мес. после реабилитации) отмечается увеличение биоэлектрической активности мышц голени и восстановление симметричного режима функционирования билатеральных мышц, которое сопровождается увеличением амплитуды МО при ТМС (обозначение на рис. – cranial). В то же время при изолированной корешковой магнитной стимуляции (обозначение – lumbal) сохраняется угнетение амплитуды МО мышц обеих стоп, указывающее на остаточные нарушения проводимости поврежденного корешка. Следовательно, восстановление биоэлектрической активности мышцы и рост амплитуды ее МО при ТМС осуществляется на периферическом уровне за счет распространения эфферентной импульсации по нервным волокнам, входящим в состав пояснично-крестцовых корешков, не утративших связь с пояснично-крестцовыми сегментами СМ.

Заключение. Травматическое повреждение позвоночника сопровождается нарушением функции СМ и его корешков, для оценки которого наиболее информативной является электрофизиологическая диагностика, основанная на современных методах регистрации вызванных потенциалов и МО. Данные диагностики опережают клинические проявления патологии СМ при травме позвоночника и позволяют дать оценку нарушений его функции на всех этапах реабилитации. Наиболее информативными являлись данные ТМС, оценивающие проводниковую функцию моторных трактов СМ и его корешков по параметрам МО.

Применение нейрофизиологического исследования у 26 пациентов с неосложненной травмой поясничного отдела позвоночника в самые ранние сроки выявило признаки субклинической моторной недостаточности корешков поясничных нервов. В процессе этапной реабилитации электрофизиологический контроль нервно-мышечной системы нижних конечностей позволил точно оценить степень восстановления нарушенных функций СМ, определить сроки завершения и оптимальные объемы реабилитационных мероприятий.

В результате проведенного лечения хороший клинико-физиологический результат достигнут у 92 % пациентов, удовлетворительный – у 8 %. Установлено, что отсутствие хороших результатов в ранние сроки восстановительного периода связано с увеличением времени от момента травмы до операции (1–4 мес.).

Результаты исследования моторной проводимости СМ и его корешков на ранних и поздних этапах реабилитации позволили перейти к изучению физиологических механизмов восстановления двигательной функции при травматическом повреждении поясничного отдела позвоночника. По данным ТМС, физиологической основой улучшения двигательной функции мышц нижних конечностей в условиях недостаточности переднерогового контроля с уровня травмы поясничного отдела позвоночника являлись процессы компенсаторной реиннервации за счет перераспределения эфферентной импульсации по двигательным корешкам поясничных нервов с последующей функциональной перестройкой двигательных единиц соответствующих мышц.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список использованных источников

1. Корнилов, Н. В. Повреждения позвоночника. Тактика хирургического лечения / Н. В. Корнилов, В. Д. Усиков. – СПб. : МОРСАР АВ, 2000. – 231 с.
2. Denis, F. The three column spine and its significance in the classification of acute thoracolumbar spinal injuries / F. Denis // *Spine*. – 1983. – Vol. 8, N 8. – P. 817–831. <https://doi.org/10.1097/00007632-198311000-00003>
3. Повреждения позвоночника и спинного мозга / А. Е. Барыш [и др.] ; под ред. Н. Е. Полищука, Н. А. Коржа, В. Я. Фищенко. – Киев : Книга плюс, 2001. – 387 с.
4. Практическое руководство по нейротравматологии / Ю. Г. Шанько [и др.]. – Минск : Белпринт, 2010. – 347 с.
5. Некоторые аспекты патофизиологии травматического повреждения и регенерации спинного мозга / И. А. Борщенко [и др.] // *Вопр. нейрохирургии им. Н. Н. Бурденко*. – 2000. – № 2. – С. 28–31.
6. Восстановление функции спинного мозга: современные возможности и перспективы исследования / И. Н. Шевелев [и др.] // *Вопр. нейрохирургии им. Н. Н. Бурденко*. – 2000. – № 3. – С. 35–39.
7. Savic, G. Prognosis and recovery in ischaemic and traumatic spinal cord injury / G. Savic, H. L. Frankel // *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry*. – 1999. – Vol. 67, N 5. – P. 564–565. <https://doi.org/10.1136/jnnp.67.5.564>
8. Xie, J. Electrophysiological outcomes after spinal cord injury / J. Xie, M. Boakye // *Neurosurg. Focus*. – 2008. – Vol. 25, N 5. – P. E11. <https://doi.org/10.3171/foc.2008.25.11.e11>
9. Беляев, В. И. Травма спинного мозга (диагностика, электростимуляционное и восстановительное лечение) / В. И. Беляев. – М. : Владмо, 2001. – 238 с.
10. Role of motor evoked potentials in diagnosis of cauda equine and lumbosacral cord lesions / V. Di. Lazzaro [et al.] // *Neurology*. – 2004. – Vol. 63, N 12. – P. 2266–2271. <https://doi.org/10.1212/01.wnl.0000147296.97980.ca>
11. Качесов, В. А. Основы интенсивной реабилитации. Травма позвоночника и спинного мозга / В. А. Качесов. – М. : б. и., 2002. – Кн. 1. – 126 с.
12. Смычек, В. Б. Медицинская реабилитация пострадавших от позвоночно-спинальной травмы на этапах оказания специализированной медицинской помощи (лечебном и реабилитационном) : инструкция по применению № 216-1208 / В. Б. Смычек, Ю. В. Осипов, О. И. Дулуб. – Минск : б. и., 2008. – 16 с.
13. Оганисян, А. А. Пластические изменения в центральной нервной системе при повреждении спинного мозга / А. А. Оганисян // *Электрофизиологические исследования компенсации функций при повреждениях центральной нервной системы* : сб. ст. / отв. ред. Б. Д. Стефанцов. – М., 1968. – С. 5–19.
14. Пинчук, Д. Ю. Биологическая обратная связь по электромиограмме в неврологии и ортопедии / Д. Ю. Пинчук, М. Г. Дудин. – СПб. : Человек, 2002. – 120 с.
15. Зефирова, А. Л. Механизмы восстановления функций нервных окончаний в процессе реиннервации скелетной мышцы / А. Л. Зефирова, Р. С. Куртасанов // *Физиол. журн. им. И. М. Сеченова*. – 1995. – Т. 81, № 1. – С. 106–113.
16. Ekusheva, E. V. Neurophysiology in the assessment of the efficacy of the rehabilitation of sensomotor disturbances due to spinal cord lesions / E. V. Ekusheva, V. B. Voitenkov, N. V. Scripchenko // *Вестн. клин. нейрофизиол. (спец. вып.: Клиническая нейрофизиология и нейрореабилитация : материалы 5-й науч.-практ. конф. с междунар. участием)*. – СПб., 2017. – С. 131–132.
17. Метод клинико-функциональной оценки результатов хирургического лечения пациентов с костно-травматическими повреждениями позвоночника : инструкция по применению № 003-0217 : утв. М-вом здравоохранения Респ. Беларусь 17.02.2017 / сост. : А. В. Белецкий [и др.]. – Минск, 2017. – 10 с.

References

1. Kornilov N. V., Usikov V. D. *Damage of the spine. Tactics of surgical treatment*. St. Petersburg, MORSAR AV Publ., 2000. 231 p. (in Russian).
2. Denis F. The three column spine and its significance in the classification of acute thoracolumbar spinal injuries. *Spine*, 1983, vol. 8, no. 8, pp. 817–831. <https://doi.org/10.1097/00007632-198311000-00003>
3. Polishchuk N. E., Korzh N. A., Fishchenko V. Ya. (ed.). *Damage of the spine and spinal cord*. Kiev, Kniga plyus Publ., 2001. 387 p. (in Russian).
4. Shan'ko Yu. G., Tanin A. L., Makarevich S. V., Mazurenko A. N. *Practical guide to neurotraumatology*. Minsk, Belprint Publ., 2010. 347 p. (in Russian).
5. Borshchenko I. A., Baskov A. V., Korshunov A. G., Satanova F. S. Some aspects of the pathophysiology of traumatic injury and spinal cord regeneration. *Voprosy neurohirurgii imeni N. N. Burdenko = Problems of neurosurgery named after N. N. Burdenko*, 2000, no. 2, pp. 28–31 (in Russian).
6. Shevelev I. N., Yarikov D. E., Baskov A. V., Borshchenko I. A. The restoration of the function of the spinal cord: modern possibilities and prospects of research. *Voprosy neurohirurgii im. N. N. Burdenko = Problems of neurosurgery named after N. N. Burdenko*, 2000, no. 3, pp. 35–39 (in Russian).
7. Savic G., Frankel H. L. Prognosis and recovery in ischaemic and traumatic spinal cord injury. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*, 1999, vol. 67, no. 5, pp. 564–565. <https://doi.org/10.1136/jnnp.67.5.564>
8. Xie J., Boakye M. Electrophysiological outcomes after spinal cord injury. *Neurosurgical Focus*, 2008, vol. 25, no. 5, p. E11. <https://doi.org/10.3171/foc.2008.25.11.e11>
9. Belyaev V. I. *Trauma of the spinal cord (diagnosis, electrostimulation and restorative treatment)*. Moscow, Vladmo Publ., 2001. 238 p. (in Russian).
10. Lazzaro V. Di, Pilato F., Oliviero A., Saturno E., Tonali P. A. Role of motor evoked potentials in diagnosis of cauda equine and lumbosacral cord lesions. *Neurology*, 2004, vol. 63, no. 12, pp. 2266–2271. <https://doi.org/10.1212/01.wnl.0000147296.97980.ca>
11. Kachesov V. A. *Fundamentals of intensive rehabilitation. Injury of the spine and spinal cord. Vol. 1*. Moscow, s. n., 2002. 126 p. (in Russian).
12. Smychek V. B., Osipov Yu. V., Dulub O. I. *Medical rehabilitation of victims with vertebral-spinal trauma at the stages of specialized medical care (medical and rehabilitation): instruction for use no. 216-1208*. Minsk, 2008. 16 p. (in Russian).
13. Oganisyan A. A. Plastic changes in the central nervous system in spinal cord injury. *Elektrofiziologicheskie issledovaniya kompensatsii funktsii pri povrezhdeniyakh tsentral'noi nervnoi sistemy: sbornik statei* [Electrophysiological studies of the compensation of functions in injuries of the central nervous system: a collection of articles]. Moscow, 1968, pp. 5–19 (in Russian).
14. Pinchuk D. Yu., Dudim M. G. *Biological feedback by electromyogram in neurology and orthopedics*. St. Petersburg, Chelovek Publ., 2002. 120 p. (in Russian).
15. Zefirov A. L., Kurtasanov L. S. Mechanisms of nerve ending's functions restoration during skeletal muscles reinnervation. *Fiziologichesky zhurnal im. I. M. Sechenova = Russian Journal of Physiology*, 1995, vol. 81, no. 1, pp. 106–113 (in Russian).
16. Ekusheva E. V., Voitenkov V. B., Scripchenko N. V. Neurophysiology in the assessment of the efficacy of the rehabilitation of sensomotor disturbances due to spinal cord lesions. *Vestnik klinicheskoi neurofiziologii (spec. vypusk: Klinicheskaya neurofiziologiya i reabilitatsiya: materialy 5-i nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem* [Proceedings of Clinical Neurophysiology (special issue: Clinical neurophysiology and neurorehabilitation: materials of the 5th scientific and practical conference with international participation)]. Sankt-Peterburg, 2017, pp. 131–132.
17. Beletskii A. V., Makarevich S. V., Il'yashevich I. A., Mazurenko A. N., Bobrik P. A., Yurchenko S. M., Zalepugin S. D., Krivorot K. A. *Method of clinico-functional evaluation of the results of surgical treatment of patients with bone-traumatic injuries of the spine : instruction for use no. 003-0217*. Minsk, 2017. 10 p. (in Russian).

Информация об авторах

Ильясевич Инесса Александровна – д-р биол. наук, доцент, заведующий лабораторией. Республиканский научно-практический центр травматологии и ортопедии (ул. Кизhevатова, 60/4, 220024, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: inessa.ilyasevich@mail.ru

Сошниковна Елена Валерьевна – канд. биол. наук, вед. науч. сотрудник. Республиканский научно-практический центр травматологии и ортопедии (ул. Кизhevатова, 60/4, 220024, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: elena-soshnikova@mail.ru

Мазуренко Андрей Николаевич – канд. мед. наук, доцент, заведующий лабораторией. Республиканский научно-практический центр травматологии и ортопедии (ул. Кизhevатова, 60/4, 220024, г. Минск, Республика Беларусь)

Криворот Кирилл Анатольевич – ст. науч. сотрудник. Республиканский научно-практический центр травматологии и ортопедии (ул. Кизhevатова, 60/4, 220024, г. Минск, Республика Беларусь)

Information about the authors

Inessa A. Ilyasevich – D. Sc. (Biol.), Assistant Professor, Head of the Laboratory. Republican Scientific-Practical Centre of Traumatology and Orthopedics (60/4, Kizhevato Str., 220024, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: inessa.ilyasevich@mail.ru.

Elena V. Soshnikova – D. Sc. (Biol.), Leading researcher. Republican Scientific-Practical Centre of Traumatology and Orthopedics (60/4, Kizhevato Str., 220024, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: elena-soshnikova@mail.ru

Andrei N. Mazurenko – D. Sc. (Med.), Assistant Professor, Head of the Laboratory. Republican Scientific-Practical Centre of Traumatology and Orthopedics (60/4, Kizhevato Str., 220024, Minsk, Republic of Belarus)

Kiril A. Krivorot – Senior researcher. Republican Scientific-Practical Centre of Traumatology and Orthopedics (60/4, Kizhevato Str., 220024, Minsk, Republic of Belarus)