

<https://doi.org/10.17116/jnevro201911902144>

Электрофизиологический мониторинг функционального состояния спинного мозга и его корешков у больных с повреждениями грудного и поясничного отделов позвоночника

Г.А. КОРШУНОВА*, А.Е. ШУЛЬГА, В.В. ЗАРЕЦКОВ, А.А. СМОЛЬКИН

НИИ травматологии, ортопедии и нейрохирургии ФГБОУ ВО «Саратовский государственный медицинский университет им. В.И. Разумовского» Минздрава России, Саратов, Россия

Цель исследования. Оценка динамики результатов нейрофизиологического мониторинга у больных с повреждением грудного и поясничного отделов позвоночника на этапах лечения. **Материал и методы.** У 38 больных с неосложненными (22 больных, 1-я группа) и осложненными (16 пациентов, 2-я группа) повреждениями грудного и поясничного отделов позвоночника проведены электронейромиографическое исследование (ЭНМГ) и транскраниальная магнитная стимуляция (ТМС). Обследование выполнено как в ранние (до 2 нед), так и в поздние (более 1 мес) сроки с момента травмы, непосредственно перед операцией и на 10-е сутки после декомпрессивно-стабилизирующих вмешательств. **Результаты и обсуждение.** До операции у пациентов 1-й группы в 71,4% случаев выявлены ЭНМГ-признаки угнетения активности мотонейронов сегмента L5 спинного мозга с аксонопатией малоберцового нерва. Наиболее выраженные изменения ЭНМГ-показателей зарегистрированы при стенозе позвоночного канала более 30%. Данные ТМС в 1-й группе не отличались от нормы. Во 2-й группе результаты ЭНМГ и ТМС до операции свидетельствовали о сохранении активности мотонейронов на уровне поражения и ниже его, несмотря на грубую неврологическую симптоматику и 100% дефицит просвета позвоночного канала. Данные ЭНМГ и ТМС в послеоперационном периоде указывали на отсутствие достоверной отрицательной динамики у больных обеих групп. У пациентов с двигательными нарушениями, оперированных в поздний период после травмы, на 10-е сутки после операции динамика нейрофизиологических данных прослеживалась в основном при ТМС. Наличие низкоамплитудных корковых вызванных мышечных ответов, которые ранее отсутствовали, позволили выявить начальные признаки восстановления проводимости (22% случаев), которые свидетельствовали об эффективности декомпрессивных вмешательств в отдаленном посттравматическом периоде. **Заключение.** Проведение ЭНМГ- и ТМС-мониторинга у больных с осложненными и неосложненными повреждениями грудного и поясничного отделов позвоночника позволило выявить положительное влияние на состояние проводниковой функции и сегментарного аппарата спинного мозга декомпрессивно-стабилизирующих вмешательств, выполненных не только в ранний, но и в более поздний после травмы период.

Ключевые слова: повреждения позвоночника, травма спинного мозга, хирургическое лечение, электронейромиография, транскраниальная магнитная стимуляция.

Functional state of spinal cord and its radices in patients with thoracic and lumbar spine injuries

G.A. KORSHUNOVA, A.E. SHUL'GA, V.V. ZARETSKOV, A.A. SMOL'KIN

Research Institute of Traumatology, Orthopedics and Neurosurgery «Razumovsky Saratov State Medical University» of Ministry Health of the Russian Federation, Saratov, Russia

Objective. To estimate the character of neurophysiological monitoring in patients with thoracic and lumbar spine injuries at different treatment stages. **Material and methods.** Thirty-eight patients with non-complicated (22 patients, group 1) and complicated (16 patients, group 2) thoracic and lumbar spine injuries underwent electroneuromyography (ENM) and transcranial magnetic stimulation (TMS). The examination was performed at early (up to 2 weeks) and later (more than 1 month) post-injury periods, before the operation and on the 10th day after decompressing-stabilizing interventions. **Results.** Before the operation, 71.4% patients of group 1 had ENM-signs of suppressed motor neuron activity in L5 segment of the spinal cord with peroneal nerve axonopathy. The most significant changes in ENM-indexes were observed in medullary channel stenosis of more than 30%. TMS parameters in group 1 were normal while in the 2nd group, EMN and TMS results before the operation demonstrated preserved motor neuron activity at the injury level despite gross neurological symptoms and 100% of medullary channel lumen deficit. In the postoperative period, ENM and TMS revealed no definite negative dynamics in patients of both groups. Patients with locomotor disorders, who underwent surgery at late post-injury periods, showed neurophysiological dynamics on the 10th day postoperatively. Low amplitude motor evoked potentials (kMEP), which were not present before, suggested initial signs of conductivity restoration (in 22% of patients) that proved the effectiveness of decompressive interventions in the long-term post-injury period. **Conclusion.** ENM- and TMS monitoring in patients with complicated and non-complicated injuries of thoracic and lumbar spine allowed revealing the positive influence of decompressing-stabilizing operations conducted both at early and late post-injury periods on the state of spinal cord conductivity and segmental apparatus.

Keywords: spinal injuries, spinal cord trauma, surgical treatment, electroneuromyography, transcranial magnetic stimulation.

Высокий процент инвалидизации пострадавших при травме грудного и поясничного отделов позвоночника придает большое медико-социальное значение проблеме поиска путей улучшения лечебных и реабилитационных мероприятий при данной патологии [1, 2]. Степень утраты нормальной жизнедеятельности и способности к самообслуживанию в первую очередь определяются наличием повреждения спинного мозга и его тяжестью [3].

Позвоночно-спинномозговая травма сопровождается сложным комплексом сенсорных, двигательных и вегетативных нарушений, которые при анатомическом перерыве или разрыве спинного мозга необратимы, а в случае сотрясения и ушиба могут полностью или частично регрессировать [4, 5]. Вышеописанные процессы в спинном мозге, как правило, протекают на фоне его сдавления, что вследствие ишемии может препятствовать регрессу неврологической симптоматики либо являться причиной ее появления в отдаленном периоде травмы [6]. Длительно существующая не устраненная компрессия содержимого позвоночного канала нередко приводит к блоку субарханоидального пространства и хронической недостаточности спинального кровообращения, и как следствие к атрофии спинного мозга, миеломалиции и кистозной дегенерации [7].

В этой связи особую актуальность приобретают хирургические вмешательства, направленные на устранение компрессии содержимого позвоночного канала [8–10]. Как резонно утверждают многочисленные авторы, полноценно выполненная декомпрессия спинного мозга в первые часы после травмы останавливает вторичные механизмы его повреждения и способствует максимальному восстановлению функций [11, 12]. Однако результаты ряда проведенных исследований указывают на тот факт, что улучшение неврологического статуса наступает даже в случаях, когда декомпрессивные вмешательства выполнялись спустя 6 мес и более после сдавления спинного мозга [13].

Таким образом, можно сказать, что до сих пор не определена роль хирургических вмешательств, направленных на устранение сдавления спинного мозга у пациентов с застарелыми осложненными повреждениями позвоночника [14]. Кроме того, неясны характер и степень влияния длительно существующей компрессии спинного мозга у пациентов с неосложненной травмой.

В настоящее время при травме позвоночного столба все чаще используются нейрофизиологические методы оценки функционального состояния спинного мозга и его корешков [15]. Наряду с ними широкое применение получила также транскраниальная магнитная стимуляция (ТМС) [16]. На комбинированном использовании данных методик основан ряд алгоритмов нейрофизиологического обследования больных с деформациями и повреждениями позвоночника, направленных на прогнозирование возможности восстановления двигательных функций у этой группы пациентов [17, 18]. Учитывая вышесказанное, для решения вопросов, касающихся влияния оперативных вмешательств на проводниковую и рефлекторную функции спинного мозга до и в ранние сроки после его декомпрессии у больных с различным характером течения заболевания, были использованы данные электронейромиографии (ЭНМГ) и ТМС.

Цель исследования — оценка динамики результатов нейрофизиологического мониторинга у больных с повреждением грудного и поясничного отделов позвоночника.

Материал и методы

Проведено клинично-инструментальное обследование 38 пациентов (26 мужчин и 12 женщин) в возрасте от 24 до 68 лет ($44,4 \pm 13$ лет) с повреждениями грудного и поясничного отделов позвоночника до и на 10-е сутки после декомпрессии спинного мозга и его корешков и 15 здоровых добровольцев.

Неврологический статус пострадавших оценивали по шкале ASIA/IMSOP, согласно которой были выделены две группы. В 1-ю группу вошли 22 пациента, у которых отсутствовали признаки поражения спинного мозга и его корешков (степень E), во 2-ю группу — 16 больных с осложненной травмой грудного и поясничного отделов позвоночника (степень A, B, C и D).

В структуре неосложненных повреждений (1-я группа) 40% составили пациенты с оскольчатыми переломами в грудопоясничном (до L1 позвонка включительно) отделе позвоночника и 60% — с повреждением поясничных позвонков (L2–L5). Степень сужения просвета позвоночного канала на грудном уровне колебалась от 5 до 30%, на поясничном — от 10 до 80%. Во 2-й группе пациенты с переломами поясничных позвонков составили 29%, больные с компрессионно-оскольчатыми переломами грудопоясничных позвонков — 71%, степень стеноза позвоночного канала в данной группе была более выраженной и колебалась от 50 до 100%.

В обеих группах были пациенты, поступившие в ранние сроки после травмы (до 3 нед) и в более поздний период (более 1 мес). Соответственно декомпрессивные вмешательства осуществлялись в разные сроки с момента повреждения. В зависимости от показаний резекцию поврежденного позвонка дополняли металлофиксацией дорсальными (транспедикулярная, ламинарная системы) или вентральными (передние винтовые системы) конструкциями. Оперативный доступ к различным отделам позвоночного столба (торакотомия, торакофрентомия, торакофренолюмботомия, люмботомия) определяли локализацией травмы. Декомпрессию спинного мозга и его корешков осуществляли посредством резекции тела поврежденного позвонка и смежных с ним дисков таким образом, чтобы вентральный полудиаметр дурального мешка визуализировался на всем протяжении костного дефекта. Все оперативные вмешательства завершали передним опорным спондилодезом.

Использовали стандартную ЭНМГ с определением величин латентного периода, мышечного ответа (М-ответ), скорости проведения импульса по моторным волокнам, поздних антидромных ответов мотонейронов (F-волна) малоберцового и большеберцового нервов, а также ТМС с регистрацией вызванных мышечных ответов (ВМО) с передней большеберцовой мышцы. При проведении обоих видов исследования больные находились в горизонтальном положении, лежа на спине.

Для нейрофизиологических исследований использовали электромиограф Keypoint (Дания) и магнитный стимулятор Нейро-МС/Д фирмы «Нейрософт» (Россия) с кольцевым индуктором диаметром 100 мм. Интенсивность стимула превышала 60% пороговой величины. ВМО регистрировали на фоне напряжения тестируемой мышцы. Из 5 регистрируемых корковых ВМО анализу подвергали минимальные по латентности и максимальные по амплитуде. Обследование больных осуществляли до и через 10 дней

Таблица 1. ЭНМГ-показатели обследованных

Параметр	Большеберцовый нерв			Малоберцовый нерв		
	1-я группа	2-я группа	здоровые	1-я группа	2-я группа	здоровые
Латентный период, мс	3,9±0,9	5,0±0,2 [^] **	2,8±0,3	2,9±0,6	7,2±0,8 [^] **	2,4±0,8
M-ответ, мВ	9,1±1,2	2,3±0,3 [^] **	8,4±1,3	3,2±0,9*	0,2±0,09 [^] **	5,4±0,5
Скорость проведения импульса, м/с	49,2±2,2	54,3±2,0**	40,1±2,8	49,3±4,4	43,7±3,8**	57,5±2,7
F-волна, мс	44,6±1,4	54,0±1,8 [^] **	44,9±1,9	48,5±1,7	50,8±1,8**	41,1±1,8

Примечание. * — достоверность различий между 1-й или 2-й группой и нормой ($p < 0,05$); [^] — достоверность различий между 2-й группой и нормой ($p < 0,01$); ** — достоверность различий между 1-й и 2-й группой ($p < 0,05$).

после декомпрессивно-стабилизирующих операций на позвоночнике.

Статистический анализ проводили с помощью пакета программ Statistica 10.0. Достоверность различий в группах до и после лечения определяли с использованием непараметрического метода для несвязанных выборок Манна—Уитни с вычислением *U*-критерия. Различия считали значимыми при $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение

Анализируя исходные ЭНМГ-данные пациентов с повреждением позвоночника, выявлено достоверное различие между электрофизиологическими показателями больных 1-й и 2-й групп и пациентов 2-й группы и нормы (табл. 1).

У пациентов 1-й группы отличались от данных нормы только значения M-ответов малоберцового нерва. У большей части обследованных (71,4%) амплитуда была ниже или на уровне нижней границы нормы ($> 3,5$ мВ). В основном снижении параметров M-ответов регистрировали у больных со стенозом позвоночного канала более 30%, независимо от уровня травмы. Регулярные поздние антидромные ответы мотонейронов получены у 64,2% пациентов. В тех случаях, когда амплитуда M-ответа была ниже 2,7 мВ, F-волны не регистрировали.

Средние значения M-ответов большеберцового нерва соответствовали норме и были симметричными. Амплитуда M-ответа не опускалась ниже 5 мВ. Несмотря на то что F-волны регистрировали в 100% случаев, значения скорости проведения импульса на уровне корешка были сниженными ($44,6 \pm 1,4$ м/с) в 30,7% случаев. Это обусловлено тем, что практически у половины обследованных скорость проведения импульса на уровне проксимального отрезка колебалась от 34 до 44 м/с. Степень изменений ЭНМГ-показателей у пациентов 1-й группы не зависела от периода времени, прошедшего после травмы.

Для выявления степени нарушения проводимости спинного мозга на уровне повреждения позвоночника проводили ТМС с оценкой латентного периода и амплитуды коркового ВМО (кВМО) передней большеберцовой мышцы. У больных 1-й группы при ТМС получен кВМО со значениями латентного периода 29,1 мс, амплитудой 1,8 мВ слева и 27,3 мс и 1,2 мВ справа. Значения латентного периода находились в пределах нормы, показатели амплитуды были снижены практически в 2 раза по сравнению с нормой (2,8 мВ), что совпадало с данными M-ответов малоберцового нерва и значениями поздних нейрональных ответов с уровня L5 спинного мозга.

Данные нейрофизиологического исследования периферических нервов нижних конечностей у пациентов с неосложненными повреждениями позвоночника на этапе

планирования операции позволили выявить снижение функциональной активности мотонейронов уровня L5 спинного мозга у 64% больных и начальные признаки аксональной дисфункции малоберцового нерва в 71,4% случаев. У 30,7% больных снижение скорости проведения импульса на уровне центральных отрезков нерва свидетельствовало о демиелинизирующем поражении S1 корешков спинного мозга.

Проведение ТМС у больных с неосложненной травмой нижнегрудных и поясничных позвонков позволили выявить субклинические признаки моторной недостаточности пояснично-крестцовых сегментов спинного мозга. Наличие нейрофизиологических признаков угнетения активности мотонейронов спинного мозга ниже уровня повреждения и снижения функциональной активности моторных волокон малоберцового нерва в предоперационный период диктовали необходимость проведения в дальнейшем медикаментозного лечения.

Результаты предоперационных ЭНМГ-исследований у пациентов с осложненной травмой позвоночника значительно отличались от данных нормы и показателей 1-й группы (см. табл. 1). При стимуляции периферических нервов низкоамплитудные M-ответы малоберцового нерва зарегистрированы только с одной стороны в 63% случаев и с двух сторон — в 21%. Амплитуда ответов была существенно ниже значений нормы и не превышала $0,2 \pm 0,02$ мВ и $0,8 \pm 0,01$ мВ ($p < 0,01$). Амплитуды M-ответов большеберцового нерва были также значительно снижены (не более $0,3 \pm 0,03$ мВ слева и $0,8 \pm 0,05$ мВ справа, $p < 0,01$), но зарегистрированы практически у всех пациентов. Скорость проведения импульса на уровне голени была сниженной только по волокнам большеберцового нерва. Поздние антидромные ответы мотонейронов получены только в 22% случаев с уровня L5 и у 78% больных — с уровня спинного мозга S1. В тех случаях, когда не удавалось получить поздние ответы с мышц стопы, отведение осуществляли с мышц голени. Средние значения латентного периода F-волн большеберцового нерва были с асимметрией на 5—7 мс. Скорость проведения импульса на уровне корешков спинного мозга также была сниженной и не превышала $40,7 \pm 2,1$ м/с.

Следует отметить, что M-ответы с F-волнами с мышц стопы и/или голени зарегистрированы у больных не только с клиникой нижнего парапареза, но и у пациентов с полным отсутствием активных движений в нижних конечностях. Также, как и у больных 1-й группы, зависимости изменений ЭНМГ-показателей от срока поступления в стационар не выявлено.

При проведении ТМС получен ВМО передней большеберцовой мышцы только у 47% больных 2-й группы и в основном с клиникой нижнего парапареза. Средние значения латентного периода ($5,2 \pm 0,3$ мс) и амплитуд ($0,47 \pm 0,1$ мс)

достоверно ($p < 0,02$) отличались от показателей 1-й группы и нормы. кВМО амплитудой не более 0,8 мВ регистрировали только при фасцилитации. Значения латентного периода кВМО ($48,2 \pm 3,2$ мс) были существенно ниже показателей пациентов 1-й группы и нормы ($p < 0,02$) и свидетельствовали о частичном нарушении проводимости спинного мозга на уровне повреждения. Отсутствие кВМО в 63% случаев указывало не только на полный функциональный блок проводимости спинного мозга, но и на нарушения проводимости корешков спинного мозга у пациентов с переломами позвонков L2—L5. Значительные отклонения показателей ЭНМГ и ТМС у больных 2-й группы свидетельствовали о выраженном нарушении проводимости спинного мозга на уровне поражения, тяжелом аксонально-демиелинизирующем поражении корешков спинного мозга L5, S1 и периферических нервов нижних конечностей. Выявлено, что данные ЭНМГ-исследования у больных 2-й группы позволили определить в предоперационный период признаки нейрональной активности ниже уровня поражения в большем числе наблюдений, чем по результатам ТМС.

Проведение нейрофизиологических исследований у пациентов с клиникой нижней параплегии на фоне застарелой травмы позвоночника при наличии признаков частичного блока проводимости спинного мозга позволило не только уточнить тяжесть проводниковых и сегментарных расстройств, но и надеяться на более благоприятный прогноз в отношении восстановления двигательных и чувствительных нарушений.

Повторное обследование больных на 10-е сутки после устранения компрессии спинного мозга и его корешков проводили с целью оценки влияния декомпрессии на состояние пояснично-крестцовых сегментов спинного мозга. У пациентов 1-й группы достоверных изменений паттерна М-ответов большеберцового нерва после операции не отмечено, только в 35% случаев повышение амплитуды F-волн максимально до 780 мкВ свидетельствовало о повышенной возбудимости мотонейронов S1 уровня спинного мозга. У 19% больных с переломом груднопоясничных позвонков с ранее выявленным снижением параметров М-ответа малоберцового нерва амплитуда повысилась на 35—50% и достигла нижней границы нормы, что указывало на реактивацию мотонейронов спинного мозга и обратимость аксонального поражения уже в ранний послеоперационный период. При ТМС в 20% случаев выявлено умеренное повышение амплитуды кВМО без отрицательных изменений показателей кортико-спинальной проводимости, что совпадало с данными ЭНМГ.

Положительная динамика показателей ЭНМГ и ТМС выявлена у 36% больных с осложненной травмой позво-

ночника в виде тенденции к повышению амплитуд моторных ответов как малоберцового, так и большеберцового нервов. Однако достоверным проявлением положительной динамики в послеоперационный период было появление низкоамплитудных моторных ответов (50—80 мкВ) при ТМС, преимущественно у пациентов с повреждением груднопоясничного отдела позвоночника. Иными словами, в ранние сроки после декомпрессии позвоночника восстановление проводимости спинного мозга и его корешков чаще прослеживалось по данным ТМС в виде появления кВМО при отсутствии динамики ЭНМГ и клинических признаков улучшения моторной проводимости.

Таким образом, проведение нейрофизиологического мониторинга у больных с осложненными и неосложненными повреждениями грудного и поясничного отделов позвоночника позволило выявить положительное влияние на состояние проводниковой функции и сегментарного аппарата спинного мозга декомпрессивно-стабилизирующих вмешательств, выполненных не только в ранний, но и в более поздний после травмы период.

Выводы

1. Использование нейрофизиологических исследований в комплексном обследовании больных с неосложненными переломами грудных и поясничных позвонков позволило выявить признаки снижения функциональной активности мотонейронов спинного мозга на уровне L5 и аксонопатии малоберцового нерва у 71,4% больных, демиелинизирующего поражения корешка S1 в 30,7% случаев при отсутствии признаков снижения проводимости моторных путей спинного мозга при ТМС.

2. Тяжесть изменений нейрофизиологических показателей зависела не от срока поступления больного в стационар, а от степени стеноза позвоночного канала на уровне повреждения. При стенозировании позвоночного канала свыше 50% на грудном уровне и при 90% стенозе на уровне поясничных позвонков регистрировали полный функциональный блок проводимости спинного мозга.

3. Проведение декомпрессивно-стабилизирующих операций пациентам как с неосложненной, так и с осложненной травмой позвоночника не вызывало отрицательной динамики нейрофизиологических данных. Положительный эффект в ранние сроки был более выражен у пациентов с застарелыми повреждениями позвоночника и диагностировался в ранние сроки по данным ТМС.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Шульга А.Е., Зарецков В.В., Островский В.В., Арсениевич В.Б., Смолькин А.А., Норкин И.А. К вопросу о причинах развития вторичных посттравматических деформаций грудного и поясничного отделов позвоночника. *Саратовский медицинский журнал*. 2015;11(4):570-575. [Shulga AE, Zaretskov VV, Ostrovsky VV, Arsenievich VB, Smolkin AA, Norkin IA. Towards the causes of secondary post-traumatic deformations of thoracic and lumbar spine. *Saratovskii Nauchno-meditsinskii Zhurnal*. 2015;11(4):570-575. (In Russ.)].
2. Mayer M, Ortmaier R, Koller H, Koller J, Hitzl W, Auffarth A, Resch H, von Keudell A. Impact of Sagittal Balance on Clinical Outcomes in Surgically Treated T12 and L1 Burst Fractures: Analysis of Long-Term Outcomes after Posterior-Only and Combined Posteroanterior Treatment. *Biomed Res Int*. 2017;2017:1568258. <https://doi.org/10.1155/2017/1568258>
3. Stampas A, Tansy KE. Spinal cord injury medicine and rehabilitation. *Se-min Neurol*. 2014;34(5):524-533. <https://doi.org/10.1055/s-0034-1396006>
4. Крылов В.В., Гринь А.А., Лушник А.А., Парфенов В.Е., Дулаев А.К., Мануковский В.А., Коновалов Н.А., Перльмуттер О.А., Сафин Ш.М., Кравцов М.Н., Манашук В.И., Рерих В.В. Рекомендательный протокол лечения острой осложненной и неосложненной травмы позвоночника у взрослых (Ассоциация нейрохирургов РФ). Часть 1. *Вопросы нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко*. 2014;6:60-67. [Krylov VV, Grin' AA,

- Lutsik AA, Parfenov VE, Dulaev AK, Manukovskii VA, Kononov NA, Perl'mutter OA, Safin ShM, Kravtsov MN, Manashchuk VI, Rerikh VV. A protocol recommended for treating acute complicated and uncomplicated spinal injuries in adult patients (Association of Neurosurgeons of Russia). Part 1. *Voprosy Neurokhirurgii im. N.N. Burdenko*. 2014;6:60-67 (In Russ.]. <https://www.mediasphera.ru/issues/zhurnal-voprosy-nejrokhirurgii-imeni-n-n-burdenko/2014/6/downloads/ru/030042-8817201469>
5. Siebert JR, Eade AM, Osterhout DJ. Biomaterial Approaches to Enhancing Neurorestoration after Spinal Cord Injury: Strategies for Overcoming Inherent Biological Obstacles. *Biomed Res Int*. 2015;2015:752572. <https://doi.org/10.1155/2015/752572>
 6. Шульга А.Е., Норкин И.А., Нинель В.Г., Пучиньян Д.М., Зарецков В.В., Коршунова Г.А., Островский В.В., Смолькин А.А. Современные аспекты патогенеза травмы спинного мозга и стволов периферических нервов. *Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова*. 2014;100(2):145-160. [Shul'ga AE, Norkin IA, Ninel VG, Puchin'yan DM, Zaretskov VV, Korshunova GA, Ostrovskiy VV, Smol'kin AA. Modern aspects of pathogenesis of the trauma of the spinal cord and trunks of peripheral nerves. *Rossiiskii Fiziologicheskii Zhurnal im. I.M. Sechenova*. 2014;100(2):145-160. (In Russ.)].
 7. Wilson JR, Tetreault LA, Kim J, Shamji MF, Harrop JS, Mroz T, Cho S, Fehlings MG. State of the Art in Degenerative Cervical Myelopathy: An Update on Current Clinical Evidence. *Neurosurgery*. 2017;80(3):33-45. <https://doi.org/10.1093/neuros/nyw083>
 8. Рерих В.В., Борзых К.О. Посттравматическое сужение позвоночного канала и его хирургическое ремоделирование при взрывных переломах грудных и поясничных позвонков. *Хирургия позвоночника*. 2011;3:15-20. [Rerikh VV, Borzykh KO. Post-traumatic spinal canal narrowing and its surgical remodeling for thoracic and lumbar burst fractures. *Khirurgiya pozvonochnika*. 2011;3:15-20. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.14531/ss2011.3.15-20>
 9. Зарецков В.В., Арсениевич В.Б., Лихачев С.В., Шульга А.Е., Степухович С.В., Богомолова Н.В. Застарелое повреждение переходного грудного отдела позвоночника. *Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста*. 2016;4(2):61-66. [Zaretskov VV, Arsenievich VB, Likhachev SV, Shul'ga AE, Stepukhovich SV, Bogomolova NV. A clinical case study of long-term injury of the thoracic and lumbar spine. *Ortopediya, Travmatologiya i Vosstanovitel'naya Khirurgiya Detskogo Vozrasta*. 2016;4(2):61-66. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.17816/PTORS4261-66>
 10. Flanagan EP, Pittock SJ. Diagnosis and management of spinal cord emergencies. *Handb Clin Neurol*. 2017;140:319-335. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63600-3.00017-9>
 11. Луцки А.А., Бондаренко Г.Ю., Булгаков В.Н., Епифанцев А.Г. Передние декомпрессивно-стабилизирующие операции при осложненной травме грудного и груднопоясничного отделов позвоночника. *Хирургия позвоночника*. 2012;3:8-16. [Lutsik AA, Bondarenko GYu, Bulgakov VN, Yepifantsev AG. Anterior decompressive and stabilizing surgery for complicated thoracic and thoracolumbar spinal injuries. *Khirurgiya Pozvonochnika*. 2012;3:8-16. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.14531/ss2012.3.8-16>
 12. Ahuja CS, Nori S, Tetreault L, Wilson J, Kwon B, Harrop J, Choi D, Fehlings MG. Traumatic Spinal Cord Injury-Repair and Regeneration. *Neurosurgery*. 2017;80(3):9-22. <https://doi.org/10.1093/neuros/nyw080>
 13. Siddiqui AM, Khazaei M, Fehlings MG. Translating mechanisms of neuroprotection, regeneration, and repair to treatment of spinal cord injury. *Prog Brain Res*. 2015;218:15-54. <https://doi.org/10.1016/bs.pbr.2014.12.007>
 14. Зарецков В.В., Арсениевич В.Б., Лихачев С.В., Шульга А.Е., Титова Ю.И. Использование транспедикулярной фиксации при оскольчатых переломах тел грудных и поясничных позвонков. *Саратовский научно-медицинский журнал*. 2014;10(3):441-446. [Zaretskov VV, Arsenievich VB, Likhachev SV, Shul'ga AE, Titova YuI. Transpedicular fixation in comminuted fractures of bodies of thoracic and lumbar vertebrae. *Saratovskii Nauchno-meditsinskii Zhurnal*. 2014;10(3):441-446. (In Russ.)].
 15. Нинель В.Г., Смолькин А.А., Щуковский В.В., Коршунова Г.А. Алгоритм хирургического лечения болевых и спастических синдромов у пациентов после травмы спинного мозга. *Саратовский научно-медицинский журнал*. 2015;11(3):297-302. [Ninel VG, Smolkin AA, Shchukovskiy VV, Korshunova GA. Algorithm of surgical treatment of pain and spastic syndromes in patients after spinal cord injury. *Saratovskii Nauchno-meditsinskii Zhurnal*. 2015;11(3):297-302. (In Russ.)].
 16. Никитин С.С., Куренков А.Л. *Магнитная стимуляция в диагностике и лечении болезней нервной системы*. М.: ООО «САШКО»; 2003. [Nikitin SS, Kurenkov AL. *Magnetic stimulation and diagnostics and treatment of nervous system diseases*. М.: ООО «САШКО»; 2003. (In Russ.)].
 17. Шейн А.П., Криворучко Г.А. Электронейромиографические характеристики мышц нижних конечностей у пациентов со спондилолистезом различного генеза. *Хирургия позвоночника*. 2011;1:56-61. [Shein AP, Krivoruchko GA. Electroneuromyographic characteristics of lower limb muscles in patients with spondylolisthesis of different genesis. *Khirurgiya Pozvonochnika*. 2011;1:56-61. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.14531/ss2011.1.56-61>
 18. Ильясевич И.А., Шалатонина О.И., Сошникова Е.В., Мазуренко А.Н., Юзефович А.И., Васью О.Н. Нейрофизиологические исследования в диагностике и лечении дегенеративного стеноза позвоночного канала. *Медицинские новости*. 2013;7:55-60. [Ilyasevich IA, Shalatonina OI, Soshnikova EV, Mazurenko AN, Yuzepovich AI, Vasko ON. Neurophysiological research in diagnostics and treatment of degenerative stenosis of the spinal canal. *Meditsinskie Novosti*. 2013;7:55-60. (In Russ.)].

Поступила 28.08.17