



РЕАБИЛИТАЦИЯ ПАЦИЕНТОВ В ОТДАЛЕННОМ ПЕРИОДЕ ТРАВМЫ СПИННОГО МОЗГА: МЕТААНАЛИЗ ЛИТЕРАТУРНЫХ ДАННЫХ

О.Г. Прудникова, А.А. Качесова, С.О. Рябых

Российский научный центр «Восстановительная травматология и ортопедия»

им. акад. Г.А. Илизарова, Курган, Россия

Цель исследования. С позиций доказательной медицины провести анализ литературных источников по вопросам реабилитации пациентов в отдаленном периоде травмы спинного мозга.

Материал и методы. Дизайн исследования — метаанализ публикаций с уровнем доказательности 1a, b, c, 2a и уровнем рекомендаций A. Проведен электронный поиск по базам данных PubMed, Web of Science, Scopus, Cochrane Library, CrossRef, AO Spine, Eurospine, ResearchGate, eLIBRARY, MEDLINE и по библиографии ключевых статей. Критерии включения: систематические обзоры, рандомизированные контролируемые исследования, мультицентровые когортные исследования с уровнем доказательности 1a, b, c, 2a и уровнем рекомендаций A для взрослых пациентов с отдаленными последствиями травмы спинного мозга (более 4 мес. после травмы). Критерии исключения: тематические статьи, клинические случаи, наблюдения, когортные неконтролируемые исследования, экспериментальные исследования, доклады, статьи с уровнями доказательности 2b, c, 3a, b, 4, 5 и уровнями рекомендаций B, C, D, детский возраст пациентов, ранний период после травмы спинного мозга (менее 4 мес.), нетравматические поражения спинного мозга.

Результаты. Найдено 108 статей с датой публикации 1997–2019 гг. Критериям включения соответствовали 65 публикаций: 33 систематических обзора, 12 рандомизированных контролируемых исследований, 19 мультицентровых работ, одно открытое проспективное исследование включено в обзор в связи с особенностями используемого метода лечения. Наибольшая доказательная база при реабилитации пациентов в отдаленном периоде травмы спинного мозга представлена для физических методов реабилитации. Наиболее эффективными являются локомоторные тренировки по отработке навыков передвижения. Вспомогательные вертикализирующие и роботизированные устройства необходимы для восстановления и улучшения проприоцептивной иннервации. При нарушении проводящих путей спинного мозга восстановление двигательных функций происходит за счет активизации супраспинальных интернейронных связей. Эпидуральная электростимуляция поясничного утолщения спинного мозга активизирует генератор произвольных двигательных движений конечностей и в сочетании с тренировками проприоцептивной чувствительности приводит к регрессу двигательных нарушений. Постоянное применение электростимуляции блокирует проприоцептивную чувствительность и угнетает восстановление спинальной проводимости. Для направлений регенераторной медицины параметры клинического исследования в настоящее время не определены.

Заключение. Основной проблемой в реабилитации пациентов в отдаленном периоде травмы спинного мозга является отсутствие единой концепции, разработанных стратегий реабилитационных технологий, критериев оценки исходного статуса и эффективности лечения.

Ключевые слова: отдаленный период травмы спинного мозга, реабилитация в отдаленном периоде травмы спинного мозга, лечение в отдаленном периоде травмы спинного мозга.

Для цитирования: Прудникова О.Г., Качесова А.А., Рябых С.О. Реабилитация пациентов в отдаленном периоде травмы спинного мозга: метаанализ литературных данных // Хирургия позвоночника. 2019. Т. 16. № 3. С. 8–16. DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2019.3.8-16>.

REHABILITATION OF PATIENTS IN LATE PERIOD AFTER SPINAL CORD INJURY: A META-ANALYSIS OF LITERATURE DATA

O.G. Prudnikova, A.A. Kachesova, S.O. Ryabykh

Russian Ilizarov Scientific Center for Restorative Traumatology and Orthopaedics, Kurgan, Russia

Objective. To analyze the literature on rehabilitation of patients in late period after spinal cord injury from the standpoint of evidence-based medicine.

Material and Methods. The study design is a meta-analysis of publications with levels 1a, b, c, and 2a evidence and a level A recommendations. An electronic search was conducted in the PubMed, Web of Science, Scopus, Cochrane Library, CrossRef, AO Spine, Eurospine, ResearchGate, eLIBRARY, and MEDLINE databases, and in references of key articles. Inclusion criteria were systematic reviews, randomized controlled studies, multicenter cohort studies with a level 1a, b, c, and 2a evidence and level A recommendations for adult patients with

long-term sequelae of spinal cord injury (more than 4 months after injury). Exclusion criteria were topic articles, clinical cases, observations, cohort uncontrolled studies, experimental articles, reports, articles with levels 2b, c, 3a, b, 4, and 5 evidence and level B, C, and D recommendations, pediatric patients, early period after spinal cord injury (less than 4 months), and non-traumatic lesions of the spinal cord. **Results.** The search returned 108 articles with publication date within 1997–2019. The inclusion criteria was met by 65 publications: 33 systematic reviews, 12 randomized controlled studies, 19 multicenter studies; and one open prospective study was included in the review due to the particular treatment method used. The greatest evidence base for the rehabilitation of patients in the long-term period after spinal cord injury is presented for physical methods of rehabilitation. The most effective are locomotor training to develop skills of movement. Auxiliary verticalization and robotic devices are needed to restore and improve proprioceptive innervation. In case of violation of the spinal tracts, the restoration of motor functions occurs due to the activation of supraspinal interneuronal connections. Epidural electrical stimulation of the lumbar thickening of the spinal cord activates a generator of voluntary movement of the limbs and, in combination with training of proprioceptive sensitivity, leads to a regression of movement disorders. The constant use of electrostimulation blocks proprioceptive sensitivity and inhibits the recovery of spinal conductivity. Parameters of clinical application are not defined for areas of regenerative medicine.

Conclusion. The main problem in rehabilitation of patients in late period after spinal cord injury is the lack of a unified concept, developed strategies of rehabilitation technologies, and criteria for assessment of the initial status and treatment efficiency.

Key Words: late period after spinal cord injury, rehabilitation in late period after spinal cord injury, treatment in late period after spinal cord injury.

Please cite this paper as: Prudnikova OG, Kachesova AA, Ryabykh SO. Rehabilitation of patients in late period after spinal cord injury: a meta-analysis of literature data. *Hir. Pozvonoc.* 2019;16(3):8–16. In Russian.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2019.3.8-16>.

Несмотря на большое количество публикаций, основные направления реабилитации пациентов в отдаленном периоде травмы спинного мозга с позиций доказательной медицины не сформулированы. Многие из них либо находятся на стадии экспериментальных исследований, либо не определены для клинического применения, либо описывают единичные клинические наблюдения.

Цель исследования – анализ литературных источников по вопросам реабилитации пациентов в отдаленном периоде травмы спинного мозга с позиций доказательной медицины.

Дизайн исследования: метаанализ публикаций с уровнем доказательности 1a, b, c, 2a и уровнем рекомендаций А.

Материал и методы

Произведен электронный поиск по базам данных PubMed, Web of Science, Scopus, Cochrane Library, CrossRef, AO Spine, Eurospine, ResearchGate, eLIBRARY, MEDLINE и по библиографии ключевых статей.

Критерии включения: систематические обзоры, рандомизированные контролируемые исследования, мультицентровые когортные исследова-

ния с уровнем доказательности 1a, b, c, 2a и уровнем рекомендаций А для взрослых пациентов с отдаленными последствиями травмы спинного мозга (более 4 мес. после травмы).

Ключевые слова поиска: отдаленный период травмы спинного мозга (chronic spinal cord injury), реабилитация в отдаленном периоде травмы спинного мозга (rehabilitation of patients in chronic spinal cord injury), лечение в отдаленном периоде травмы спинного мозга (treatment of patients in chronic spinal cord injury).

Критерии исключения: тематические статьи, клинические случаи, наблюдения, когортные неконтролируемые исследования, экспериментальные статьи, доклады, статьи с уровнями доказательности 2b, c, 3a, b, 4, 5 и уровнями рекомендаций B, C, D, детский возраст пациентов, ранний период после травмы спинного мозга (менее 4 мес.), нетравматические поражения спинного мозга.

Период поиска: апрель 2016 – март 2019 г.

Результаты и их обсуждение

Всего найдено 108 статей с датой публикации 1997–2019 г. Из них критериям включения соответствовали

65 публикаций: 33 систематических обзора, 12 рандомизированных контролируемых исследований, 19 мультицентровых работ. Одно открытое проспективное исследование (отдаленный период наблюдения 48 мес.) также включено в обзор в связи с особенностями используемого метода лечения. Тематика статей представлена в табл.

Травма спинного мозга по своим последствиям является одной из самых инвалидирующих для пострадавшего и дорогостоящей в плане лечения и реабилитации среди других видов повреждений. Более 2 млн человек в мире живут с последствиями повреждения спинного мозга, включающими физические, социальные, психологические и эмоциональные расстройства, которые затрагивают семью пострадавшего, друзей, работодателей, сообщество и систему здравоохранения в целом [2].

Исследования последствий травмы спинного мозга освещают многие аспекты. Nowrouzi et al. [2] провели анализ статей по проблемам отдаленного периода повреждения спинного мозга. Наиболее публикуемыми и цитируемыми являются темы патологии/анамнеза, лечения и эпидемиологии.

Таблица

Распределение статей по темам и дизайну исследования

Тема публикации	Дизайн исследования	Количество статей
Библиографические обзоры	систематические обзоры	2
Проблемы классификации, направлений реабилитации, исходы	– систематические обзоры;	5
	– мультицентровые исследования	15
Физические методы реабилитации	– систематические обзоры;	8
	– мультицентровые исследования;	1
	– рандомизированные контролируемые исследования	7
Эпидуральная электростимуляция	– систематические обзоры;	13
	– мультицентровые исследования;	2
	– рандомизированные контролируемые исследования	5
Нейрорегенерация, клеточные технологии	– систематические обзоры;	5
	– мультицентровые исследования;	1
	– проспективное исследование	1

Библиометрическое обзорное исследование Liu et al. [3] выявило 5607 публикаций по реабилитации пациентов с травмой спинного мозга в 1997–2016 гг. с ежегодным увеличением их количества. Самая активная страна – США. Публикации последних 20 лет можно разделить на три этапа: до 2005 г. – начальный период, публикации о текущем положении дел; 2005–2011 г. – период быстрого развития, работы о решениях поставленных проблем, после 2011 г. – период медленного развития, спад публикационной активности, обусловленный кризисом развития, поиск эффективных технических средств, таких как искусственный интеллект, интерфейс «мозг – компьютер», терапия стволовыми клетками, прорывы в реформировании существующих технологий [3].

Реабилитация пациентов с повреждением спинного мозга основывается на патоморфологических изменениях как вещества спинного мозга, нервной системы, так и всего организма в целом и распределяется на фазы от момента травмы: острая, подострая и хроническая. Острую и подострую фазу объединяют в стадию невровосстановления (12–18 мес. после травмы), хроническую фазу называют стадией после невровосстановления [4]. В отечественной литературе соответствующей по временным характе-

ристикам является классификация периодов травматической болезни спинного мозга (ТБСМ) О.А. Амелиной [5]: острый (от нескольких дней до 3–4 мес.), промежуточный (1–2 года), отдаленный (неопределенно долго).

Реабилитация в острой и подострой стадиях направлена на стимулирование и усиление нейровосстановительных процессов, максимальное восстановление утраченных функций, профилактику вторичных осложнений и создание оптимальных условий для длительного поддержания здоровья пациента [6].

Отдаленный период травмы спинного мозга характеризуется сформированными неврологическими нарушениями и измененным функциональным статусом пациентов.

В настоящее время не существует общепринятых подходов к оценке состояния, уходу и методикам реабилитации пациентов с травматической болезнью спинного мозга как в остром, так и в отдаленном периоде заболевания [7–10].

Результаты систематического обзора Burns et al. [4] показывают, что доказательная база по многим ключевым вопросам реабилитации после травмы спинного мозга ограничена. Недостаточно информации о времени реабилитации, ее характере, объеме (интенсивность, частота, длительность), роли

и влиянии физических и психологических особенностей пациента, вида травмы, рентабельности и эффективности альтернативных методов. Методики восстановления после травмы спинного мозга не систематизированы, и термин «реабилитация» включает в себя и хирургические, и физические, и механические методы без оценки результатов и эффективности и в большинстве случаев представляет собой «черный ящик» или «русскую матрешку» [11].

В последние годы предпринимаются попытки систематизировать и классифицировать основные реабилитационные технологии: Van Langeveld et al. [10] проанализировали методики 10 реабилитационных центров Голландии и Германии [10], существует проект SCIRehab в США [8], Rapidi et al. [12] оценили работу европейских реабилитационных центров. Основные выводы при организации помощи больным с последствиями травмы спинного мозга: оказание помощи врачами, имеющими опыт в реабилитации таких больных, проведение программ в составе многопрофильных междисциплинарных команд, пациент-ориентированный подход с учетом функционального статуса пациента, его потребности, периода после травмы, пожизненный мониторинг с периодическими госпитализациями.

Не вызывает сомнений, что характер и содержание методов реабилитации должны варьироваться в зависимости от многих факторов: периода заболевания, уровня повреждения, неврологического статуса, социальных аспектов. Кроме того, время, тип, интенсивность и длительность лечения определяются не только медицинским заключением, но и политикой здравоохранения, финансированием [4].

Проблемой для оценки как исходного состояния больных, так и результатов реабилитации является отсутствие единых шкал и опросников. Наиболее распространены шкала ASIA для оценки неврологического статуса, шкалы SCIM и FIM – для оценки функционального состояния, 10- или 15-метровый walk-тест – для оценки походки.

Чем позднее начинается реабилитация от момента получения травмы, тем хуже ее результаты и качество жизни больных [13–17]. На эффективность реабилитации также влияют возраст пациентов, уровень образования [13], масса тела [18, 19], семейное положение и повторные госпитализации (динамическое наблюдение командой специалистов) [8, 10, 12].

В обзорах Hyun et al. [20] и Huang et al. [21] показаны основные объективно доказанные направления нейровосстановительной терапии для пациентов с полным повреждением спинного мозга. Пациентам в отдаленном периоде травмы спинного мозга больше не говорят, что ничего нельзя сделать. Механизмы нейровосстановительной терапии включают нейромодуляцию, нейропротекцию, ремиелинизацию или нейрорепарацию, нейропластичность, аксональную регенерацию, контроль за противовоспалительными ответами, нейрогенез, ангиогенез и нейрореплантацию. Частичное функциональное восстановление и улучшение качества жизни отмечено после трансплантации стволовых и эмбриональных клеток, интратекального введения нейротрофических факторов на уровне конуса спинного мозга, внутримы-

шечного введения клеточной суспензии. Электростимуляция денервированных мышц является эффективной для сохранения мышечной массы, перфузии крови, косметического эффекта. Интерфейсы с нейропротезами конечностей помогают пациентам адаптироваться к некоторым видам повседневной деятельности. Сенсорная афферентация и обратная связь лежат в основе роботизированных тренажеров. Методики невротизации включают варианты трансплантации в спинной мозг периферического нерва выше и ниже уровня травмы, трансплантацию передних корешков спинно-мозговых нервов для улучшения иннервации мочевого пузыря [20]. Нейрореабилитация включает в себя комплексы локомоторных тренировок в сочетании с роботизированными устройствами. Перспективным является сочетание методик с учетом функционального состояния пациента в отдаленном периоде травмы спинного мозга. Но возможности этих процессов при травме спинного мозга ограничены, как и ограничена их эффективность [21]. По заключению авторов, ни одни клинические испытания для пациентов в отдаленном периоде травмы спинного мозга не показали функциональных улучшений. При имплантации стволовых клеток не определены наиболее эффективный метод доставки и количество материала. Экспериментальные разработки (плюрипотентные стволовые клетки, нейротрофические факторы, антиингибиторы, биополимеры) и их сочетание с физическими методами также не определены для клинического применения [20, 21].

Возможности и перспективы регенераторной медицины в хронической фазе травматической болезни спинного мозга показаны в статье Dalamagkas et al. [22]. Для отдаленного периода травмы характерно завершение процессов воспаления, нейропластичности и спонтанной регенерации. Регенераторные технологии, перспективные для внедрения в клинику: нейросферы – популяции нервных стволовых клеток человека, которые

способны обновляться и дифференцироваться в основные типы клеток ЦНС после культивирования в течение нескольких поколений; леска из биоматериала и нейрональных стволовых клеток для создания перекидного моста на уровне повреждения; трансплантация шванновских клеток и моноклеарных клеток пуповинной крови; бактериальный фермент, воздействующий на рубцовую ткань; генная терапия с использованием модифицированного гена хондроитиназы; наноструктурные матрицы на основе оксида графена, фибрина и гидрогеля; биоматериал на основе хитозана и ламинина. В настоящее время эти технологии являются экспериментальными с клиническими случаями наблюдения, показания и методы их применения не определены [22].

Для оценки эффективности и безопасности кислотного фактора роста фибробластов aFGF было проведено открытое проспективное клиническое исследование с отдаленным результатом 48 мес. По мнению авторов [23], aFGF – безопасный, доступный метод лечения, но с незначительным функциональным улучшением.

Из физических методов реабилитации чаще всего анализируются локомоторные тренировки, ходьба на беговой дорожке, занятия на роботизированных и визуально ориентированных устройствах.

Систематические обзоры, посвященные анализу эффективности занятий на роботизированных устройствах в сравнении с другими опорно-двигательными стратегиями обучения (беговая дорожка, поддержание тела, электрическое стимулирование мышц, занятия в ортезах, обучение ходьбе), не нашли статистически значимых различий при оценке уровня самостоятельности передвижения, расстояния и скорости [24–29]. Рандомизированное контролируемое исследование Galea et al. [30] выявило лучший результат при обучении ходьбе пациентов с хронической травматической болезнью спинного мозга обычными локомоторными тренировками, чем с роботизированными устройствами.

При сравнительном анализе эффективности занятий на роботизированных устройствах пациентов с неполным повреждением спинного мозга определено, что они в большей степени улучшают передвижение, чем обычные тренировки, но в остром периоде заболевания [17, 31].

Dobkin et al. [32] и Lucareli et al. [33] не получили достоверных доказательств большей эффективности занятий на беговой дорожке, чем просто обучения ходьбе.

Визуально ориентированные задания и занятия на беговой дорожке в равной степени улучшают выносливость и походку [34, 35]. Эффективность тренировок по типу обратной связи, направленных на активацию нейрональных сетей спинного мозга, находящихся в неактивном состоянии, показана в обзоре McDonald et al. [36].

Рандомизированное контролируемое исследование Boswell-Ruys et al. [37] показало эффективность обычных тренировок типа «сидеть без поддержки» по сравнению с контрольной группой, не получавшей лечения.

Активно применяемым методом лечения пациентов в отдаленном периоде травмы спинного мозга является эпидуральная электростимуляция (ЭЭС).

Мотонейроны являются единственным каналом, по которому двигательные команды достигают мышц. Проводимость мотонейронов находится под контролем ствола мозга через систему интернейронов и супраспинальных связей. При травме спинного мозга нарушается как проводимость мотонейронов, так и нейромодулирующий эффект ствола мозга [38]. При повреждении спинного мозга критическое количество мотонейронов выживает, но они не могут проводить потенциалы действия и электрически неотзывчивы. Под воздействием нейромодулирующих факторов через систему супраспинальных связей они могут переходить в активное электрическое состояние. Таким образом, нейрональные сети спинного и головного мозга могут быть основным фактором, от функциональной активности

которого зависит восстановление произвольных активных движений конечностей. Воздействие на систему супраспинальных связей приводит к постепенному возвращению спинальной возбудимости и появлению сокращений мышц [39, 40]. Еще одним механизмом действия ЭЭС считают стимуляцию интернейронных связей через активизацию проприоцептивной иннервации [41].

В 1911 г. был описан генератор произвольных движений конечностей как скопление интернейронов, локализованных в поясничном утолщении спинного мозга. Активируется генератор за счет медиаторов супраспинальной нейронной сети и инициирует последовательную активацию мышц бедра, голени, затем сгибание стопы, сгибание колена и сгибание бедра [40]. Реабилитационные эффекты стимуляции спинного мозга широко показаны в исследованиях на животных, в ходе которых видна способность самостоятельного передвижения при применении ЭЭС во время ходьбы на беговой дорожке, несмотря на полную потерю функции без ЭЭС [42–45]. Проведенные эксперименты свидетельствуют о том, что двигательный паттерн при ЭЭС требует сочетания с сенсорной информацией. Восстановление функции ходьбы должно обязательно сочетаться с вертикальной нагрузкой на конечности, этот фактор играет критическую роль в реабилитации людей с травмой спинного мозга методом ЭЭС [46–49].

Использование электрического поля в дорсальном эпидуральном пространстве активирует нервные структуры как внутри, так и снаружи спинного мозга. Позвоночный канал и его содержимое представляют собой неоднородный проводник с несколькими нервными структурами, которые при электрической стимуляции вызывают различные реакции. Самую высокую проводимость имеет спинно-мозговая жидкость, затем – белое вещество спинного мозга. При этом на проводимость влияет ориентация волокон (продольная или поперечная), угол отхождения от спинно-

го мозга, внутреннее распределение интраспинальных волокон и серого вещества. Наиболее важным фактором, определяющим распределение тока при ЭЭС, является ширина ликворного пространства между электродом и нейронными структурами. Другими важными факторами являются размер и ориентация нервных волокон: сначала стимулируются более крупные волокна, которые пересекают электрическое поле в поперечном направлении и имеют более низкий порог, чем волокна, проходящие в продольном направлении. Следовательно, при расположении электрода близко к спинному мозгу преимущественно стимулируется поперечная сегментарная часть афферентной системы. Для стимуляции передних двигательных мотонейронов и интраспинальных нейронов расположение электрода должно быть на уровне скопления ликвора, для распределения возбуждения – на уровне всех структур дурального мешка [50].

Пояснично-крестцовая ЭЭС позволяет добиться улучшения двигательной и чувствительной функций, функции тазовых органов у пациентов с отдаленными последствиями травмы спинного мозга. В большинстве случаев используется имплантация устройств для хронической стимуляции после пробной тестовой стимуляции. Хроническая ЭЭС требует постоянного нахождения имплантируемого электрода на дуральном мешке, выполнения ламинэктомии, имплантации устройства генератора импульсов с последующим его подключением и настройкой [44]. Эксплуатация таких устройств не всегда удобна для пациентов [47]. Кроме того, авторы описывают риски хирургической инфекции, послеоперационной нестабильности и деформации позвоночника. Разрабатываемый электронный стимулятор, построенный из мягких материалов, способный одновременно проводить электрическую и нейрохимическую стимуляцию спинного мозга, еще не прошел клинических испытаний. Конфигурация электродов и параметры, необ-

ходимые для стимуляции двигательной активности, зависят от анатомии спинного мозга, тяжести травмы и размещения электрода. Стратегия подбора индивидуальных параметров ЭЭС для каждого пациента трудоемка [44]. Альтернативой этому является чрескожная стимуляция поясничного отдела спинного мозга и временная ЭЭС [42, 43, 45]. Эти методики более функциональны для больных при сочетании с курсами локомоторных тренировок. Перспективно использование периодической (курсовой) временной целенаправленной стимуляции спинного мозга с целью выборочной активации сенсомоторной сети для достижения улучшенных моторных характеристик у людей с травмой спинного мозга [48, 51].

Эффективность ЭЭС зависит от локализации электрода, продолжительности заболевания, остаточных функций, но в целом она оказывает положительное влияние на скорость ходьбы, выносливость и переносимость физических нагрузок [52, 53].

Jones et al. [17] провели рандомизированное контролируемое исследование пациентов с неполным повреждением спинного мозга в отдаленном периоде после травмы для оценки эффективности ранних или отсроченных двигательных тренировок в сочетании с ЭЭС и показали ее большую эффективность в сравнении с интратекальным введением нейротрансмиттеров.

Мультицентровое исследование Wenger et al. [54] с участием 16 клиник определило протоколы ЭЭС поясничных сегментов спинного мозга, воспроизводящие естественную активацию мотонейрона во время передвижения. Комбинация селективных спинно-мозговых имплантатов и программного обеспечения модулирует движения разгибателя и сгибателя в режиме реального времени, что позволяет проводить тренировки больных для улучшения походки.

Доказана эффективность ЭЭС для улучшения функции верхних конечностей у пациентов с тетрапарезом при неполном повреждении спин-

ного мозга [55]. Именно нормальное функционирование кисти – наиболее важная проблема для людей с травмой спинного мозга на шейном уровне.

Исследования на здоровых людях и пациентах с повреждением спинного мозга и детским церебральным параличом свидетельствуют, что даже чрескожная электростимуляция на уровне поясничного утолщения спинного мозга приводит к повышению возбудимости поясничных спинальных нейронных структур, активации деятельности афферентных систем, включая дорсальные корешки с их моно- и полисинаптическими проекциями к моторным ядрам, увеличению скорости проведения импульсов по нервным проводникам и структурам нервно-мышечного аппарата [43, 56].

Еще одним аспектом применения ЭЭС в отдаленном периоде травматической болезни спинного мозга является нейропатический болевой синдром [57]. Moreno-Duarte et al. [58] при анализе девяти рандомизированных контролируемых исследований выявили уменьшение болевого синдрома в шести источниках без каких-либо значительных отрицательных последствий стимуляции.

Недостатком ЭЭС является то, что она способна эффективно генерировать надежную опорно-двигательную реакцию после повреждения спинного мозга у грызунов, но не у людей [41, 42, 45, 51, 56]. Основным патофизиологическим аспектом этого является отсутствие проприоцептивной иннервации у крыс. Клинические и экспериментальные исследования показывают, что именно сочетание ЭЭС с локомоторными тренировками играет решающую роль в активации спинно-мозговых нейронных сетей и создании значимого произвольного моторного ответа мышц [56]. При этом эффект применения хронической ЭЭС наблюдается только во время ее проведения и только в сочетании с тренировками [41, 45, 49, 56].

Компьютерное моделирование, доклинические и клинические экс-

перименты показали, что постоянная ЭЭС блокирует проприоцептивную иннервацию за счет активации тормозных сетей, участвующих в движении, и уменьшает или отменяет сознательное восприятие положения ног. Разрушение проприоцептивной информации во время непрерывной ЭЭС ухудшает способность спинного мозга координировать формирование двигательного паттерна после травматической болезни. Именно механизм проприоцептивной связи играет определяющую роль в реорганизации остаточных нисходящих путей и восстановлении двигательной активности при травматической болезни спинного мозга. Периодическая стимуляция, наоборот, не допускает блокирования проприоцептивной информации, обеспечивая надежный контроль над двигательной активностью нейронов. Это демонстрирует важность определения протоколов стимулирования, учитывающих сохранение проприоцептивной информации [41, 44, 51, 54].

Заключение

Основной проблемой в реабилитации пациентов в отдаленном периоде травматической болезни спинного мозга является отсутствие единой концепции, разработанных стратегий реабилитационных технологий, критериев оценки исходного статуса и эффективности лечения. Связано это с тем, что отсутствуют протоколы применения известных методов лечения, многие направления проходят стадию экспериментальных исследований и клинических наблюдений. Кроме того, в реабилитации таких пациентов участвуют специалисты разных направлений.

Наибольшая доказательная база при реабилитации пациентов в отдаленном периоде травмы спинного мозга представлена для физических методов восстановления. Наиболее эффективными являются локомоторные тренировки по отработке навыков передвижения. Вспомогательные вертикализирующие и роботизированные устройства необходимы для восста-

новления и улучшения проприоцептивной иннервации.

При нарушении проводящих путей спинного мозга восстановление двигательных функций происходит за счет активизации супраспинальных интернейронных связей. ЭЭС поясничного утолщения спинного мозга активизирует генератор произвольных движений конечностей и в сочетании с тренировками проприоцептивной чувствительности приводит к регрессу двигательных нарушений. При этом постоянное применение ЭЭС блокирует проприоцептивную чувствитель-

ность и угнетает восстановление спинальной проводимости.

Для направлений регенераторной медицины не определены параметры клинического использования.

В реабилитации пациентов с травматической болезнью спинного мозга происходит смена парадигмы. Исторически терапия была сосредоточена на обучении компенсаторным стратегиям, затем, с пониманием нейропластичности, появляются нейромышечные технологии восстановления потерянных функций, в настоящее время активно внедряются роботизи-

рованные устройства, искусственный интеллект, аддитивные технологии. Но именно комбинация направлений на этапах лечения с учетом неврологического и функционального статусов является оптимальным вариантом реабилитационной программы для пациентов с последствиями травмы спинного мозга.

Исследование не имело спонсорской поддержки. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Литература/References

- Oxford Centre for Evidence-based Medicine – Levels of Evidence (March 2009). [Electronic resource]. URL: <http://www.cebm.net/oxford-centre-evidence-based-medicine-levels-evidence-march-2009>.
- Nowrouzi B, Assan-Lebbe A, Sharma B, Casole J, Nowrouzi-Kia B. Spinal cord injury: a review of the most-cited publications. *Eur Spine J.* 2017;26:28–39. DOI: 10.1007/s00586-016-4669-z.
- Liu X, Liu N, Zhou M, Lu Y, Li F. Bibliometric analysis of global research on the rehabilitation of spinal cord injury in the past two decades. *Ther Clin Risk Manag.* 2018;15:1–14. DOI: 10.2147/TCRM.S163881.
- Burns AS, Marino RJ, Kalsi-Ryan S, Middleton JW, Tetreault LA, Dettori JR, Mihalovich KE, Fehlings MG. Type and timing of rehabilitation following acute and subacute spinal cord injury: a systematic review. *Global Spine J.* 2017;7(3 Suppl):175S–194S. DOI: 10.1177/2192568217703084.
- Амелина О.А. Травма спинного мозга. Клиническая неврология с основами медико-социальной экспертизы / под ред. А.Ю. Макарова. СПб., 1998. С. 232–248. [Amelina OA. Spinal cord injury. Clinical neurology with the basics of medical and social expertise, ed. by A.Yu. Makarov. St. Petersburg, 1998:232–248. In Russian].
- Mazwi NL, Adeletti K, Hirschberg RE. Traumatic spinal cord injury: recovery, rehabilitation, and prognosis. *Curr Trauma Rep.* 2015;1:182–192. DOI: 10.1007/s40719-015-0023-x.
- Maharaj MM, Hogan JA, Phan K, Mobbs RJ. The role of specialist units to provide focused care and complication avoidance following traumatic spinal cord injury: a systematic review. *Eur Spine J.* 2016;25:1813–1820. DOI: 10.1007/s00586-016-4545-x.
- Whiteneck G, Gassaway J, Dijkers M, Backus D, Charlifue S, Chen D, Hammond F, Hsieh CH, Smout RJ. The SCIRehab project: treatment time spent in SCI rehabilitation. Inpatient treatment time across disciplines in spinal cord injury rehabilitation. *J Spinal Cord Med.* 2011;34:133–148. DOI: 10.1179/107902611X12971826988011.
- Kirshblum SC, Waring W, Biering-Sorensen F, Burns SP, Johansen M, Schmidt-Read M, Donovan W, Graves DE, Jha A, Jones L, Mulcahey MJ, Krasnioukov A. Reference for the 2011 revision of the international Standards for Neurological Classification of Spinal Cord Injury. *J Spinal Cord Med.* 2001;34:547–554. DOI: 10.1179/107902611X13186000420242.
- Van Langeveld SAHB, Post MWM, van Asbeck FWA, Postma K, Ten Dam D, Pons K. Development of a classification of physical, occupational, and sports therapy interventions to document mobility and self-care in spinal cord injury rehabilitation. *J Neurol Phys Ther.* 2008;32:2–7. DOI: 10.1097/NPT.0b013e3181663533.
- Whyte J, Hart T. It's more than a black box; it's a Russian doll: defining rehabilitation treatments. *Am J Phys Med Rehabil.* 2003;32:639–652. DOI: 10.1097/01.PHM.0000078200.61840.2D.
- Rapidi CA, Tederko P, Moslavac S, Popa D, Branco CA, Kiekens C, Varela Donoso N, Christodoulou N. 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 Rehabil Med.* 2018;54:797–807. DOI: 10.23736/S1973-9087.18.05374-1.
- Teeter L, Gassaway J, Taylor S, LaBarbera J, McDowell S, Backus D, Zanca JM, Natale A, Cabrera J, Smout RJ, Kreider SE, Whiteneck G. Relationship of physical therapy inpatient rehabilitation interventions and patient characteristics to outcomes following spinal cord injury: the SCIRehab project. *J Spinal Cord Med.* 2012;35:503–526. DOI: 10.1179/2045772312y.0000000058.
- Abdul-Sattar AB. Predictors of functional outcome in patients with traumatic spinal cord injury after inpatient rehabilitation: in Saudi Arabia. *Neuro Rehabilitation.* 2014;35:341–347. DOI: 10.3233/NRE-141111.
- Scivoletto G, Morganti B, Molinari M. Early versus delayed inpatient spinal cord injury rehabilitation: an Italian study. *Arch Phys Med Rehabil.* 2005;86:512–516. DOI: 10.1016/j.apmr.2004.05.021.
- Sumida M, Fujimoto M, Tokuhiko A, Tominaga T, Magara A, Uchida R. Early rehabilitation effect for traumatic spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil.* 2001;82:391–395. DOI: 10.1053/apmr.2001.19780.
- Jones ML, Evans N, Tefertiller C, Backus D, Sweatman M, Tansey K, Morrison S. Activity-based therapy for recovery of walking in chronic spinal cord injury: Results from a secondary analysis to determine responsiveness to therapy. *Arch Phys Med Rehabil.* 2014;95:2247–2252. DOI: 10.1016/j.apmr.2014.07.401.
- Horn SD, Smout RJ, DeJong G, Dijkers MP, Hsieh CH, Lammertse D, Whiteneck GG. Association of various comorbidity measures with spinal cord injury rehabilitation outcomes. *Arch Phys Med Rehabil.* 2013;94(4 Suppl):S75–S86. DOI: 10.1016/j.apmr.2012.10.036.
- Tian W, Hsieh CH, DeJong G, Backus D, Groah S, Ballard PH. Role of body weight in therapy participation and rehabilitation outcomes among individuals with traumatic spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil.* 2013;94(4 suppl):S125–S136. DOI: 10.1016/j.apmr.2012.10.039.

20. **Hyun JK, Kim HW.** Clinical and experimental advances in regeneration of spinal cord injury. *J Tissue Eng.* 2010;2010:650857. DOI: 10.4061/2010/650857.
21. **Huang H, Sun T, Chen L, Moviglia G, Chernykh E, von Wild K, Deda H, Kang KS, Kumar A, Jeon SR, Zhang S, Brunelli G, Bohbot A, Soler MD, Li J, Cristante AF, Xi H, Onose G, Kern H, Carraro U, Saberi H, Sharma HS, Sharma A, He X, Muresanu D, Feng S, Otom A, Wang D, Iwatsu K, Lu J, Al-Zoubi A.** Consensus of clinical neurorestorative progress in patients with complete chronic spinal cord injury. *Cell Transplant.* 2014;23 Suppl 1:S5–S17. DOI: 10.3727/096368914X684952.
22. **Dalamagkas K, Tsintou M, Seifalian A, Seifalian AM.** Translational regenerative therapies for chronic spinal cord injury. *Int J Mol Sci.* 2018;19.pii:E1776. DOI: 10.3390/ijms19061776.
23. **Ko CC, Tu TH, Wu JC, Huang WC, Tsai YA, Huang SF, Huang HC, Cheng H.** Functional improvement in chronic human spinal cord injury: Four years after acidic fibroblast growth factor. *Scientific Reports.* 2018;8:12691. DOI: 10.1038/s41598-018-31083-4.
24. **Fisahn C, Aach M, Jansen O, Moisi M, Mayadev A, Pagarigan KT, Detto-ri JR, Schildhauer TA.** The effectiveness and safety of exoskeletons as assistive and rehabilitation devices in the treatment of neurologic gait disorders in patients with spinal cord injury: a systematic review. *Global Spine J.* 2016;6:822–841. DOI: 10.1055/s-0036-1593805.
25. **Mehrholz J, Harvey LA, Thomas S, Elsner B.** Is body-weight-supported treadmill training or robotic-assisted gait training superior to overground gait training and other forms of physiotherapy in people with spinal cord injury? A systematic review. *Spinal Cord.* 2017;55:722–729. DOI: 10.1038/sc.2017.31.
26. **Hayes S, James Wilcox CR, Forbes White HS, Vanicek N.** The effects of robot assisted gait training on temporal-spatial characteristics of people with spinal cord injuries: A systematic review. *J Spinal Cord Med.* 2018;41:1–15. DOI: 10.1080/10790268.2018.1426236.
27. **Swinnen E, Duerinck S, Baeyens J-P, Meeusen R, Kerckhofs E.** Effectiveness of robot-assisted gait training in persons with spinal cord injury: a systematic review. *J Rehabil Med.* 2010;42:520–526. DOI: 10.2340/16501977-0538.
28. **Cheung EYY, Ng TKW, Yu KKK, Kwan RLC, Cheing GLY.** Robot-assisted training for people with spinal cord injury: a meta-analysis. *Arch Phys Med Rehabil.* 2017;98:2320–2331.e12. DOI: 10.1016/j.apmr.2017.05.015.
29. **Fisahn C, Aach M, Jansen O, Moisi M, Mayadev A, Pagarigan KT, Detto-ri JR, Schildhauer TA.** The effectiveness and safety of exoskeletons as assistive and rehabilitation devices in the treatment of neurologic gait disorders in patients with spinal cord injury: a systematic review. *Global Spine J.* 2016;6:822–841. DOI: 10.1055/s-0036-1593805.
30. **Galea MP, Dunlop SA, Davis GM, Nunn A, Geraghty T, Hsueh YS, Churilov L.** Intensive exercise program after spinal cord injury ("Full-On"): study protocol for a randomized controlled trial. *Trials.* 2013;14:291. DOI: 10.1186/1745-6215-14-291.
31. **Nam KY, Kim HJ, Kwon BS, Park JW, Lee HJ, Yoo A.** Robot-assisted gait training (Lokomat) improves walking function and activity in people with spinal cord injury: a systematic review. *J Neuroeng Rehabil.* 2017;14:24. DOI: 10.1186/s12984-017-0232-3.
32. **Dobkin B, Barbeau H, Deforge D, Ditunno J, Elashoff R, Apple D, Basso M, Behrman A, Harkema S, Saulino M, Scott M.** The evolution of walking-related outcomes over the first 12 weeks of rehabilitation for incomplete traumatic spinal cord injury: the multicenter randomized Spinal Cord Injury Locomotor Trial. *Neurorehabil Neural Repair.* 2007;21:25–35. DOI: 10.1177/1545968306295556.
33. **Lucareli PR, Lima MO, Lima FP, de Almeida JG, Brech GC, D'Andrea Greve JM.** Gait analysis following treadmill training with body weight support versus conventional physical therapy: a prospective randomized controlled single blind study. *Spinal Cord.* 2011;49:1001–1007. DOI: 10.1038/sc.2011.37.
34. **Yang JF, Musselman KE, Livingstone D, Brunton K, Hendricks G, Hill D, Gorassini M.** Repetitive mass practice or focused precise practice for retraining walking after incomplete spinal cord injury? A pilot randomized clinical trial. *Neurorehabil Neural Repair.* 2014;28:314–324. DOI: 10.1177/1545968313508473.
35. **Field-Fote EC, Roach KE.** Influence of a locomotor training approach on walking speed and distance in people with chronic spinal cord injury: a randomized clinical trial. *Phys Ther.* 2011;91:48–60. DOI: 10.2522/ptj.20090359.
36. **McDonald JV, Becker D, Sadowsky CL, Jane JA, Conturo TE, Schultz LM.** Late recovery following spinal cord injury. Case report and review of the literature. *J Neurosurg.* 2002;97(2 Suppl):252–265. DOI: 10.3171/spi.2002.97.2.0252.
37. **Boswell-Ruys CL, Harvey LA, Barker JJ, Ben M, Middleton JW, Lord SR.** Training unsupported sitting in people with chronic spinal cord injuries: a randomized controlled trial. *Spinal Cord.* 2010;48:138–143. DOI: 10.1038/sc.2009.88.
38. **Frigon A, Rossignol S.** Functional plasticity following spinal cord lesions. *Prog Brain Res.* 2006;157:231–260. DOI: 10.1016/s0079-6123(06)57016-5.
39. **Bennett DJ, Li Y, Harvey PJ, Gorassini M.** Evidence for plateau potentials in tail motoneurons of a wake chronic spinal rats with spasticity. *J Neurophysiol.* 2001;86:1972–1982. DOI: 10.1152/jn.2001.86.4.1972.
40. **Johnson MD, Heckman CJ.** Gain control mechanisms in spinal motoneurons. *Front Neural Circuits.* 2014;8:81. DOI: 10.3389/fncir.2014.00081.
41. **Formento E, Minassian K, Wagner F, Mignardot JB, Le Goff-Mignardot CG, Rowald A, Bloch J, Micera S, Capogrosso M, Courtine G.** Electrical spinal cord stimulation must preserve proprioception to enable locomotion in humans with spinal cord injury. *Nat Neurosci.* 2018;21:1728–1741. DOI: 10.1038/s41593-018-0262-6.
42. **Gerasimenko Y, Gorodnichev R, Puhov A, Moshonkina T, Savochin A, Selionov V, Roy RR, Lu DC, Edgerton VR.** Initiation and modulation of locomotor circuitry output with multisite transcatheter electrical stimulation of the spinal cord in noninjured humans. *J Neurophysiol.* 2015;113:834–842. DOI: 10.1152/jn.00609.2014.
43. **Gerasimenko Y, Gorodnichev R, Moshonkina T, Sayenko D, Gad P, Edgerton VR.** Transcutaneous electrical spinal-cord stimulation in humans. *Ann Phys Rehabil Med.* 2015;58:225–231. DOI: 10.1016/j.rehab.2015.05.003.
44. **Calvert JS, Grahn PJ, Zhao KD, Lee KH.** Emergence of epidural electrical stimulation to facilitate sensorimotor network functionality after spinal cord injury. *Neuro-modulation.* 2019;22:244–252. DOI: 10.1111/ner.12938.
45. **Musienko P, Heutschi J, Friedli L, van den Brand R, Courtine G.** Multi-system neurorehabilitative strategies to restore motor functions following severe spinal cord injury. *Exp Neurol.* 2012;235:100–109. DOI: 10.1016/j.expneurol.2011.08.025.
46. **Harkema S, Gerasimenko Y, Hodes J, Burdick J, Angeli C, Chen Y, Ferreira C, Willhite A, Rejc E, Grossman RG, Edgerton VR.** Effect of epidural stimulation of the lumbosacral spinal cord on voluntary movement, standing, and assisted stepping after motor complete paraplegia: a case study. *Lancet.* 2011;377:1938–1947. DOI: 10.1016/S0140-6736(11)60547-3.
47. **Young W.** Electrical stimulation and motor recovery. *Cell Transplant.* 2015;24:429–446. DOI: 10.3727/096368915X686904.
48. **Calvert JS, Grahn PJ, Strommen JA, Lavrov IA, Beck LA, Gill ML, Linde MB, Brown DA, Van Straaten MJ, Veith DD, Lopez C, Sayenko DG, Gerasimenko YP, Edgerton VR, Zhao KD, Lee KH.** 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. DOI: 10.1089/neu.2018.5921.

49. **Taccola G, Sayenko D, Gad P, Gerasimenko Y, Edgerton VR.** And yet it moves: Recovery of volitional control after spinal cord injury. *Prog Neurobiol.* 2018;160:64–81. DOI: j.pneurobio.2017.10.004.
50. **Barolat G.** Epidural spinal cord stimulation anatomical and electrical properties of the intraspinal structures relevant to spinal cord stimulation and clinical correlations. *Neuromodulation.* 1998;1:63–71. DOI: 10.1111/j.1525-1403.1998.tb00019.x.
51. **Wagner FB, Mignardot JB, Goff-Mignardot CJL, Demesmaecker R, Komi S, Capogrosso M, Rowald A, Seanez I, Caban M, Pirondini E, Vat M, McCracken IA, Heimgartner R, Fodor I, Watrin A, Seguin P, Paoles E, Van Den Keybus K, Eberle G, Schurch B, Pralong E, Becce F, Prior J, Buse N, Buschman R, Neufeld E, Kuster N, Carda S, von Zitzewitz J, Delattre V, Denison T, Lambert H, Minassian K, Bloch J, Courtine G.** Targeted neurotechnology restores walking in humans with spinal cord injury. *Nature.* 2018;563:65–71. DOI: 10.1038/s41586-018-0649-2.
52. **Huang H, He J, Herman R, Carhart MR.** Modulation effects of epidural spinal cord stimulation on muscle activities during walking. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng.* 2006;14:14–23. DOI: 10.1109/TNSRE.2005.862694.
53. **Hamid S, Hayek R.** Role of electrical stimulation for rehabilitation and regeneration after spinal cord injury: an overview. *Eur Spine J.* 2008;17:1256–1269. DOI: 10.1007/s00586-008-0729-3.
54. **Wenger N, Moraud EM, Gandar J, Musienko P, Capogrosso M, Baud L, Le Goff GG, Barraud Q, Pavlova N, Dominici N, Minev IR, Asboth L, Hirsch A, Duis S, Kreider J, Mortera A, Haverbeck O, Kraus S, Schmitz F, DiGiovanna J, van den Brand R, Bloch J, Detemple P, Lacour SP, Bezard E, Micera S, Courtine G.** Spatiotemporal neuromodulation therapies engaging muscle synergies improve motor control after spinal cord injury. *Nat Med.* 2016;22:138–145. DOI: 10.1038/nm.4025.
55. **Popovic MR, Kapadia N, Zivanovic V, Furlan JC, Craven BC, McGillivray C.** Functional electrical stimulation therapy of voluntary grasping versus only conventional rehabilitation for patients with subacute incomplete tetraplegia: a randomized clinical trial. *Neurorehabil Neural Repair.* 2011;25:433–442. DOI: 10.1177/1545968310392924.
56. **Shah PK, Lavrov I.** Spinal epidural stimulation strategies: clinical implications of locomotor studies in spinal rats. *Neuroscientist.* 2017;23:664–680. DOI: 10.1177/1073858417699554.
57. **De Andres J, Reina MA, Hernandez-Garcia JM, Carrera A, Oliva A, Prats-Galino A.** Role of spinal anatomical structures for neuromodulation. *Region Anesth Pain M.* 2011;36:E130–E137.
58. **Moreno-Duarte I, Morse LR, Alam M, Bikson M, Zafonte R, Fregni F.** Targeted therapies using electrical and magnetic neural stimulation for the treatment of chronic pain in spinal cord injury. *NeuroImage.* 2013;85 Pt 3:1003–1013. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2013.05.097.

Адрес для переписки:

Прудникова Оксана Германовна
РНЦ «Восстановительная травматология и ортопедия»
им. акад. Г.А. Илизарова,
Россия, 640014, Курган, ул. М. Ульяновой, 6,
pog6070@gmail.com

Address correspondence to:

Prudnikova Oksana Germanovna
Ilizarov Scientific Center Restorative Traumatology and Orthopaedics,
M. Ulyanovoy str., 6, Kurgan, 640014, Russia,
pog6070@gmail.com

Статья поступила в редакцию 19.04.2019

Рецензирование пройдено 29.04.2019

Подписано в печать 17.05.2019

Received 19.04.2019

Review completed 29.04.2019

Passed for printing 17.05.2019

Оксана Германовна Прудникова, д-р мед. наук, старший научный сотрудник научно-клинической лаборатории патологии осевого скелета и нейрохирургии, заведующая травматолого-ортопедическим отделением № 10, Российский научный центр «Восстановительная травматология и ортопедия» им. акад. Г.А. Илизарова, Россия, 640014, Курган, ул. М. Ульяновой, 6, ORCID: 0000-0003-1432-1377, pog6070@gmail.com;

Анастасия Анатольевна Качесова, врач-невролог клиники патологии позвоночника и редких заболеваний, Российский научный центр «Восстановительная травматология и ортопедия» им. акад. Г.А. Илизарова, Россия, 640014, Курган, ул. М. Ульяновой, 6, ORCID: 0000-0001-9065-7388, K-an-an@inbox.ru;

Сергей Олегович Рябык, д-р мед. наук, руководитель клиники патологии позвоночника и редких заболеваний, Российский научный центр «Восстановительная травматология и ортопедия» им. акад. Г.А. Илизарова, Россия, 640014, Курган, ул. М. Ульяновой, 6, ORCID: 0000-0001-6565-7052, rso_@mail.ru.

Oksana Germanovna Prudnikova, DMSc, senior researcher at scientific-clinical laboratory of axial skeleton pathology and neurosurgery, head of trauma-orthopaedic department No. 10, Russian Ilizarov Scientific Center for Restorative Traumatology and Orthopaedics, M. Ulyanovoy str., 6, Kurgan, 640014, Russia, ORCID: 0000-0003-1432-1377, pog6070@gmail.com;

Anastasia Anatolyevna Kachesova, neurologist of the Clinic of Spinal Pathology and Rare Diseases, Russian Ilizarov Scientific Center for Restorative Traumatology and Orthopaedics, M. Ulyanovoy str., 6, Kurgan, 640014, Russia, ORCID: 0000-0001-9065-7388, K-an-an@inbox.ru;

Sergey Olegovich Ryabykh, MD, Head of Clinic of Spinal Pathology and Rare Diseases, Russian Ilizarov Scientific Center for Restorative Traumatology and Orthopaedics, M. Ulyanovoy str., 6, Kurgan, 640014, Russia, ORCID: 0000-0001-6565-7052, rso_@mail.ru.