

ВОЗМОЖНОСТИ МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ В ДИАГНОСТИКЕ ПОВРЕЖДЕНИЙ СПИННОГО МОЗГА У ПОСТРАДАВШИХ С ТРАВМОЙ ШЕЙНОГО ОТДЕЛА ПОЗВОНОЧНИКА

Тихова К.Е., Савелло В.Е., Мануковский В.А.

ГБУ СПб НИИ Скорой Помощи им. И.И. Джанелидзе, Санкт-Петербург, Россия.

Цель исследования. Изучить возможности МРТ в диагностике повреждений спинного мозга у пострадавших с травмой шейного отдела позвоночника.
Материалы и методы. Обследовано 100 пострадавших в возрасте 39±16 лет со спинальной травмой. Из них 86% мужчин и 14% женщин. МРТ-изображения получали на томографе «Signa HD, GE» (1,5 T) по стандартной методике при помощи катушки для головы и шеи. Пациентам, в тяжелом состоянии, томографию проводили в условиях ИВЛ. Первичное МРТ исследование выполнялось в течении 48 ч после получения травмы, повторные – через 1, 3 и 12 месяцев.

Результаты. Было выделено шесть видов изолированных и сочетанных повреждений спинного мозга: ушиб (9%), сдавление извне (9%), перерыв (3%), ушиб/сдавление с полным (45%) и частичным (13%) ограничением резервных пространств позвоночного канала, сдавление извне/отек (13%) спинного мозга. Смертность в течение месяца после получения травмы составила 9%. Повреждения спинного мозга (83%) изучались в динамике с определением исхода и сопоставлением с клиническими данными. Варианты исходов травм по данным МРТ: полные спинальные повреждения 26% (ASIA A/B 24%, C 2%), неполные спинальные повреждения 37% (ASIA C/D 36%, B 1%), регресс травматических изменений спинного мозга 20% (норма 18%, ASIA D 2%). Большое количество случаев (84%) полного спинального повреждения (разрушение всего поперечника мозга) было следствием совокупности взаимосвязанных между собой двух видов повреждений, ушиба и сдавления. При этом определялись следующие индикаторы тяжести травмы: гематомиелоишемия (58%), полное отсутствие ликворных пространств (84%), генерализованный отек мозга, степень сдавления >20%. При неполных спинальных повреждениях доминирующей травмой при первичной диагностике у пострадавших был ушиб спинного мозга (84%), при котором отмечался сочетанный его характер (76%), гематомиелия (5%), полное ограничение резервных пространств (51%). Сдавление спинного мозга извне (70%) представляло собой повреждение, которое наиболее часто встречалось у пострадавших с благоприятным исходом травмы. Одним из условий для полного неврологического восстановления было отсутствие распространенного отека мозгового вещества спинного мозга при его сдавлении. Чувствительность МРТ при первичной диагностике травмы спинного мозга составила 92%, специфичность 97%, общая точность 94%.

Заключение. Применение МРТ для оценки повреждений спинного мозга шейного отдела позвоночника позволяет разграничивать обратимые и необратимые изменения мозгового вещества, прогнозировать вероятность исхода заболевания, а также предотвращать вторичные повреждения благодаря своевременному применению адекватных лечебных мероприятий.

Ключевые слова: магнитно-резонансная томография, шейный отдел позвоночника, повреждение шейного спинного мозга.

Контактный автор: Тихова К.Е., email: ksusha-tihova@yandex.ru

Для цитирования: Тихова К.Е., Савелло В.Е., Мануковский В.А. Возможности магнитно-резонансной томографии в диагностике повреждений спинного мозга у пострадавших с травмой шейного отдела позвоночника. REJR 2021; 11(3):151-161. DOI: 10.21569/2222-7415-2021-11-3-151-161.

Статья получена: 24.05.21

Статья принята: 30.08.21

POSSIBILITIES OF MAGNETIC RESONANCE TOMOGRAPHY IN DIAGNOSTICS OF SPINAL CORD INJURIES IN PATIENTS WITH A NECK SPINE INJURY

Tixova K.E., Savello V.E., Manukovsky V.A.

St. Petersburg I.I. Dzhanelidze Research Institute of Emergency Medicine. St. Petersburg, Russia.

Purpose. To study the possibilities of MRI in the diagnosis of traumatic injuries of the spinal cord of the cervical spine.

Materials and methods. A total of 100 victims aged 39±16 years with spinal cord injury were examined. Of these, 86% are men, 14% are women. MRI images were obtained on a Signa HD, GE (1.5 T) scanner according to the standard technique using a head and neck coil. Patients in serious condition underwent tomography under mechanical ventilation. The primary MRI examination was performed within 48 hours after injury, and repeated ones after 1, 3 and 12 months.

Results. Six types of isolated and combined spinal cord injuries were identified: contusion (9%), external compression (9%), interruption (3%), contusion/compression with complete (45%) and partial (13%) limitation of reserve spaces spinal canal, external compression/edema (13%) of the spinal cord. The mortality rate within a month after the injury was 9%. Traumatic spinal cord injuries (83%) were studied in dynamics with the determination of the outcome and comparison with clinical data. Variants of trauma outcomes according to MRI data in victims: complete spinal injuries 26% (ASIA A/B 24%, C 2%), incomplete spinal injuries 37% (ASIA C/D 36%, B 1%), regression of traumatic changes in the spinal cord 20% (normalization of neurological status 18%, ASIA D 2%). A large number of cases (84%) of complete spinal injury (destruction of the entire diameter of the brain) was the result of a combination of interrelated two types of injury, contusion and compression. The following indicators of trauma severity were determined: hematomyelischemia (58%), complete absence of CSF spaces (84%), generalized cerebral edema, degree of compression >20%. In case of incomplete spinal injuries, the dominant trauma during the initial diagnosis was spinal cord contusion (84%), in which there was a combined nature (76%), hematomyelia (5%), complete delimitation of the reserve spaces (51%). External compression of the spinal cord (70%) was the injury most frequently encountered in patients with favorable trauma outcomes. One of the conditions for complete neurological recovery was the absence of widespread edema of the medulla of the spinal cord when it was compressed. The sensitivity of MRI in the primary diagnosis of spinal cord injury was 92%, specificity 97%, overall accuracy 94%.

Conclusion. The use of MRI to assess injuries of the spinal cord of the cervical spine makes it possible to distinguish between reversible and irreversible changes in the medulla, predict the likelihood of an outcome of the disease, and also prevent secondary injuries due to the timely use of adequate therapeutic measures.

Keywords: magnetic resonance imaging, cervical spine, cervical cord injury.

Corresponding author: Tixova K.E., e-mail: ksusha-tihova@yandex.ru

For citation: Tixova K.E., Savello V.E., Manukovsky V.A. Possibilities of magnetic resonance tomography in diagnostics of spinal cord injuries in patients with a neck spine injury. REJR 2021; 11(3):151-161. DOI: 10.21569/2222-7415-2021-11-3-151-161.

Received: 24.05.21

Accepted: 30.08.21

Tравма спинного мозга является тяжелым видом повреждения и ассоциируется с серьезными последствиями, приводящими к смерти и стойкой инвалидности [1]. Группой риска данной травмы является преимущественно мужское население в возрасте 20-50 лет [2].

Несмотря на значительные успехи в лучевой диагностике, ранней спинальной хирургии, медикаментозной терапии показатели инвалидности не имеют тенденции к снижению и прежде всего это связано с разрушением проводниковой функции спинного мозга [1, 3-5]. На сегодняшний день особое внимание

уделяется патофизиологическому методу исследования травмы спинного мозга с изучением механизмов первичного и вторичного повреждения и поиском эффективных средств, направленных на блокирование запуска каскада патологических реакций с целью сохранения неповреждённых нервных клеток на периферии от эпицентра травмы [1, 2]. Восстановление проводниковой функции после травмы является сложной задачей, многообещающие положительные результаты связывают с внедрением в клиническую практику нейропротективной и регенеративной медикаментозной терапии [1, 2]. Визуализация спинного мозга в острый и отдаленные периоды травмы играет важную роль, поскольку позволяет оценивать эффективность лечения [1]. При подозрении на осложненную травму позвоночника инструментальные методы исследования начинают с компьютерной томографии, которая сравнительно легко выполнима и доступна [6]. Приоритетом компьютерной томографии является оценка костной травмы с определением ее вида и характера [6, 7]. Однако ее роль в оценке повреждений спинного мозга ограничена, прежде всего, за счет отсутствия специфичности. Единственным методом прижизненной диагностики состояния спинного мозга с получением анатомических изображений является магнитно-резонансная томография [6, 8, 9]. При помощи МРТ определяют качественные и количественные характеристики повреждения спинного мозга, полученные результаты сопоставляются с неврологическим статусом, делается прогноз на исход травмы, изучается состояние мозга на разных этапах травматической болезни [2, 7-12]. Наиболее актуально применение МРТ при травме спинного мозга на шейном уровне в связи с высокими показателями повреждений при данной локализации (50-70% от всей спинальной травмы) [11]. Практическое использование МРТ при повреждениях шейного спинного мозга влияет на тактику лечения пострадавших с изменением времени операции в 41%, хирургического подхода в 50%, уровня операции в 57% случаев [13]. При этом выделяют отдельную группу пострадавших без костной травмы, но с клинически подтвержденным спинальным повреждением, которые особо нуждаются в применении МРТ для оценки состояния спинного мозга. Схожая ситуация с высокой значимостью МРТ для определения тактики лечения возникает и у пострадавших с неврологическим дефицитом после незначительной травмы на фоне дегенеративного многоуровневого стеноза позвоноч-

ного канала [14].

Таким образом, получение полной информации о характере повреждения спинного мозга методом МРТ может способствовать увеличению эффективности применения хирургического лечения и медикаментозной терапии у пострадавших.

Цель исследования.

Изучить возможности МРТ в диагностике повреждений спинного мозга у пострадавших с травмой шейного отдела позвоночника.

Материал и методы.

Обследовано 100 пострадавших в возрасте 39±16 лет со спинальной травмой. Из них 86% мужчин и 14% женщин. Причины травмы: кататравма у 30%, травма ныряльщика у 27%, ДТП у 21%, падение с высоты собственного роста у 17%, падение тяжелого предмета на голову у 2%, ножевое ранение у 2%, неизвестная причина у 1% пострадавших. МРТ шейного отдела позвоночника (ШОП) выполняли на томографе «Signa HDi» (GE) с напряженностью магнитного поля 1,5 Тесла. Использовалась специализированная катушка для головы и шеи, которая предусматривает положение пациента во время исследования на спине с расположением рук вдоль туловища. Пациентам, находившимся в тяжелом состоянии, МРТ проводили в условиях ИВА. Обязательный протокол исследования включал в себя стандартные импульсные последовательности (ИП) быстрое спин-эхо и инверсия-восстановление в трех проекциях (T2 frFSE, T1 Flair, STIR irFSE), а также последовательность градиентное эхо (T2* GRE). Первым этапом исследования являлось выполнение T2 ВИ, T1 ВИ, STIR ИП в сагиттальных проекциях. Полученные изображения позволяли выявлять основные травматические изменения спинного мозга и планировать дальнейший объем исследования. Вторым этапом использовались аксиальные срезы с прицельным исследованием повреждённого мозгового вещества. Предварительно всем пострадавшим была выполнена КТ на томографе «Aquilion-16, Toshiba» с определением вида костной травмы позвоночника. Хирургическое вмешательство было выполнено 69% пострадавшим. Смертность в течение месяца составила 9% случаев. Первичное МРТ исследование выполнялось в течение 48 ч после получения травмы, повторные – через 1, 3 и 12 месяцев. При оценке неврологического статуса применяли шкалу ASIA\ISCSI (международный стандарт неврологической и функциональной классификации повреждений спинного мозга): А – полное нарушение проводимости спинного

мозга, В – неполное, тетраплегия, С – неполное, парезы менее 3 баллов, D – неполное, парезы более 3 баллов. Степень стеноза позвоночного канала (%), сдавления спинного мозга (%), увеличения объема спинного мозга в результате отека/набухания мозгового вещества (%), распространенности отека (сегмент) были оценены количественно.

Результаты.

По данным КТ были проанализированы виды костной травмы ШОП, выраженность которых оценивалась с учетом тяжести неврологических нарушений (ASIA) и степенью стеноза позвоночного канала (ПК). Разделяли повреждения по анатомической локализации и характеру травмы (закрытая, открытая). Травма нижнего уровня ШОП составила 79% и была представлена следующими морфологическими повреждениями: компрессионный перелом (32%), передний переломо-вывих (20%), перелом дужки (16%), задний подвывих (10%) шейных позвонков, проникающее ножевое ранение ПК (1%). Пострадавшие с компрессионными переломами отличались тяжелыми нарушениями проводимости спинного мозга (ASIA A/B 59%) при стенозе ПК на $26,2 \pm 13,9\%$. Более высокие показатели степени стеноза ПК ($40,46 \pm 16,8\%$) диагностировались у пострадавших с передними переломо-вывихами, но при этом число клинически тяжелых нарушений функций спинного мозга (ASIA A/B) у них было меньше и составило 35%. У пострадавших с переломами дужек тяжелые категории травм спинного мозга отмечались в 50% при стенозе ПК на $31,3 \pm 23,2\%$. Аналогичные показатели выраженности неврологических нарушений (ASIA A/B 50%) были получены у пострадавших с задними подвывихами, у которых стеноз ПК составил $37,5 \pm 9,3\%$. Отягощающим состоянием на момент травмы у 80% пострадавших данной группы было наличие стеноза ПК, обусловленного сопутствующими дегенеративными и/или оссифицирующими заболеваниями позвоночника. Переломы С2 ШОП составили 7% при стенозе ПК на $25,7 \pm 18,9\%$ и с преобладанием спинальных повреждений категорий ASIA C/D (86%), ножевое ранение спинного мозга на уровне С1 – 1%. Пострадавшим с ножевыми ранениями ШОП (2%) были характерны тяжелые неврологические нарушения (ASIA A/B 100%).

Отрицательные результаты КТ, случаи спинальной травмы без повреждения костной части позвоночника, составили 13%. Из них у 77% пострадавших определялся дегенеративный стеноз ПК ($33,9 \pm 9,8\%$), у 70% неврологический дефицит соответствовал ASIA C/D.

Травматические повреждения спинного мозга при МРТ исследовании были выявлены у 92% пострадавших. У 8% пострадавших обследование не показало признаков травмы мозгового вещества, регресс неврологического дефицита у которых в последующем позволил установить преходящий характер функциональных нарушений (сотрясение спинного мозга, ASIA D) и исключить тяжелое повреждение. Данные пострадавшие с сотрясением спинного мозга были исключены из динамического наблюдения.

Среди повреждений невральных структур на МР-изображениях различали сдавление, ушиб и перерыв спинного мозга.

Сдавление спинного мозга было диагностировано у 80% пострадавших, которое происходило извне и/или изнутри. В 69% случаев сдавление спинного мозга носило многофакторный характер. Сдавление извне (87,5%) явилось результатом смещения в ПК травмированных костно-фиброзных структур позвоночника с переднего/заднего направления. Сдавление изнутри (12,5%) расценивалось как вторичное компрессионное повреждение, обусловленное возникновением масс-эффекта при ушибах мозгового вещества.

Анализ причин сдавления спинного мозга извне основывался на количественных показателях степени их влияния на тяжесть стеноза ПК и оказывающего сдавливающего воздействия на мозговое вещество. Доказательными признаками сдавления извне явились: сужение диаметра ПК (100%), деформация контура спинного мозга (100%), сужение\отсутствие ликворных пространств (100%), смещение спинного мозга (85%), увеличение объема спинного мозга (отек/набухание мозгового вещества) выше и/или ниже уровня компрессии (63%). Показатели сдавления спинного мозга составили $24,5 \pm 14,9\%$. При этом выделялись компрессионные интервалы (<10%; 10–20%, >20%). Основными причинами компрессии спинного мозга были: грыжи межпозвоночных дисков (72%), дислокации позвонков (31%), костные отломки (21%), отек и/или гематома эпидурального пространства (18%), дегенеративный стеноз ПК (21%). Одним из этапов исследования было определение преобладающего направления сдавления извне, которое у большинства пострадавших было расценено как передние (86%), переднезадние (11%), задние (3%). Также важным моментом при визуализации спинного мозга при его сдавлении извне было наличие или отсутствие отека мозгового вещества.

Сдавление изнутри диагностировалось

тогда, когда зона ушиба спинного мозга с кровоизлиянием и/или отеком оказывала сдавливающее и смещающее воздействие на прилежащее мозговое вещество до такой степени, что возникала встречная компрессия со стороны стенок ПК с увеличением первичной травмы. Следует отметить, что схожая ситуация была отмечена у 17% пострадавших с прогрессирующим отеком спинного мозга при его сдавлении извне. В результате отека/набухания мозгового вещества выше и/или ниже уровня основной компрессии происходило значительное увеличение объема спинного мозга, несоответствующее объему ПК, что и создавало условия для дополнительного ущемления мозга в отграниченном пространстве.

Таким образом, для планирования сроков и объема оперативного доступа важное значение имели качественные и количественные характеристики сдавливающих факторов спинного мозга с определением ведущего направления.

Ушиб спинного мозга был диагностирован у 67% пострадавших. Проявлением ушиба на МР-изображениях был отек мозгового вещества (100%). Различали травматические отеки без структурных нарушений (55%) и с нарушением целостности мозгового вещества в виде контузионных очагов двух типов (45%). Первый тип (33%) контузионных очагов представлял собой участок, частично или полностью окруженный ликворным ободком, что свидетельствовало о разобщении очага ушиба с окружающим мозговым веществом. Второй тип (77%) – участок геморагии без четких контуров (гематомиелия, гематомиелоишемия), который расценивался как показатель тяжелого повреждения спинного мозга.

Полный перерыв спинного мозга (1%) на МР-изображениях диагностировался при наличии отстоящих друг от друга оборванных его концов в области повреждения. Частичный перерыв спинного мозга наблюдался при проникающих ножевых ранениях позвоночника (2%) с визуализацией линейной зоны разреза мозгового вещества, составляющую единую линию с раневым каналом в мягких тканях шеи. Также ножевым ранениям сопутствовали гематомиелия, ишемия, субарахноидальные кровоизлияния с блоком ликвородинамики, ликворея.

В зависимости от выявленных травматических изменений на МР-изображениях, у пострадавших было выделено шесть видов изолированных и сочетанных повреждений спинного мозга: ушиб (9%), сдавление извне (9%), перерыв (3%), ушиб/сдавление с пол-

ным ограничением резервных пространств ПК (45%), ушиб/сдавление с частичным ограничением резервных пространств (13%), сдавление извне/отек спинного мозга (13%).

Сочетанные повреждения спинного мозга.

Ушиб/сдавление спинного мозга с полным ограничением резервных пространств ПК (45%). При данном виде повреждения спинного мозга было выделено три варианта. Первый вариант (гематомиелоишемия, 16%), при котором множественная гематомиелия была первичным доминирующим повреждением с последующим развитием генерализованного отека и вторичного многоуровневого сдавления спинного мозга стенками ПК. При втором варианте (62%) диагностировалось сочетание ушиба и сдавления извне как результат первичной травмы с одинаковой долей участия обоих видов повреждения (рис. 1).

При третьем варианте (22%) ушиб спинного мозга сопровождался совместным сдавливающим воздействием как изнутри, так и снаружи, с равномерным распределением их между собой. Показатели количественной/качественной оценки на уровне спинальной травмы у пострадавших: стеноз ПК на $43,1 \pm 13,3\%$, сдавление спинного мозга извне на $28,2 \pm 15\%$, распространенность отека на $3,3 \pm 1,1$ сегментов, отек/набухание мозговой ткани на $21,5 \pm 10,5\%$, частота интрамедуллярных кровоизлияний при ушибах 31%. Распределение неврологического статуса у пострадавших при первичной оценке: ASIA A/B 67%, ASIA C/D 33%. Неврологический исход травмы у пострадавших: ASIA A/B 47%, ASIA C/D 44%, смерть 9%. Исход травмы по данным МРТ у пострадавших: полные спинальные повреждения 49%, неполные спинальные повреждения 42%.

Ушиб/сдавление спинного мозга с частичным ограничением резервных пространств ПК (13%). Основной первичной травмой у пострадавших данной группы был ушиб мозга, при котором возникающие патологические изменения в зоне повреждения мозговой ткани являлись иницирующими факторами для присоединения сдавливающего воздействия. Различали два варианта развития вторичной компрессии спинного мозга при его ушибе. При первом варианте (43%) зона ушиба сама расценивалась как центр сдавливающей силы, в результате чего происходило дополнительное локальное сдавление мозга извне стенками ПК. При втором варианте (57%) источником сдавления мозга извне были поврежденные смещенные мягкотканые и/или костные структуры позво-



Рис. 1 а (Fig. 1 а)



Рис. 1 б (Fig. 1 б)



Рис. 1 в (Fig. 1 с)

Рис. 1. МРТ сочетанного повреждения спинного мозга (ушиб/сдавление с полным ограничением резервных пространств позвоночного канала) при переломовывихе С5, сагиттальная проекция.

а – Т2 ВИ: сочетание ушиба первого типа и сдавления извне (дислокация С5), ASIA В; б – Т2* ВИ: отсутствие геморрагического компонента в ушибе; в – Т1 ВИ: отсутствие изображения ликворных пространств.

Fig. 1. MRI of associated spinal cord injury (contusion/compression with complete limitation of the reserve spaces of the spinal canal) with fracture-dislocation C5, sagittal projection.

а – Т2: a combination of type I contusion and external compression (C5 dislocation), ASIA B; б – Т2*: absence of a hemorrhagic component in spinal cord injury; с – Т1: absence of cerebrospinal fluid spaces.



Рис. 2 а (Fig. 2 а)



Рис. 2 б (Fig. 2 б)



Рис. 2 в (Fig. 2 с)

Рис. 2. МРТ сочетанного повреждения спинного мозга (ушиб/сдавление с частичным ограничением резервных пространств позвоночного канала) при компрессионном переломе С6, сагиттальная проекция.

а – Stir ИП: сочетание ушиба первого типа и сдавления извне (костный отломок тела С5), ASIA С; б – Т2* ВИ: отсутствие геморрагического компонента в ушибе; в – Т2 ВИ: частичное сохранение проходимости ликворных пространств.

Fig. 2. MRI of associated spinal cord injury (contusion/compression with partial limitation of the reserve spaces of the spinal canal) with C6 compression fracture, sagittal projection.

а – Stir: combination of type I contusion and external compression (bone fragment of the body C5), ASIA C; б – Т2*: absence of a hemorrhagic component in spinal cord injury; с – Т2: partial preservation of the patency of cerebrospinal fluid spaces.

ночника, включение которых в повреждающий процесс носило вторичный характер по отношению к первоначальной травме (рис. 2).

Количественная/качественная оценка повреждения спинного мозга у пострадавших: стеноз ПК на $27,6 \pm 10,13\%$, сдавление спинного мозга на $6,4 \pm 2,2\%$, распространенность отека мозга на $2,8 \pm 1,1$ сегментов, отек/набухание мозговой ткани на $13,1 \pm 7,7\%$, частота интрамедуллярных кровоизлияний при ушибах 38%. Первичные клинические данные у пострадавших: ASIA A/B 31%, ASIA C/D 69%. Неврологический исход травмы у пострадавших: ASIA B 8%, ASIA C/D 62%, выздоровление 15%, смерть 15%. Исход травмы по данным МРТ у пострадавших: полные спинальные повреждения 15%, неполные спинальные повреждения 55%, регресс травматических изменений спинного мозга 15%.

Сдавление извне/отек спинного мозга (13%). В данную группу вошли пострадавшие со сдавлением спинного мозга извне с отеком мозгового вещества (рис. 3).

Следует отметить, что у 23% пострадавших с тяжелой степенью сдавления извне имелись другие скрытые сочетанные повреждения, такие как ушиб и разрыв спинного мозга, диагностика которых была возможна только после хирургической декомпрессии ПК при расправлении мозга. Таким образом, при наличии выраженного сдавливающего фактора извне не всегда возможно диагностировать повреждения спинного мозга в полном объеме при первичном МРТ исследовании. Показатели количественной оценки на уровне повреждения спинного мозга у пострадавших данной группы: стеноз ПК на $48,1 \pm 6,3\%$, сдавление спинного мозга на $33,3 \pm 12,3\%$, распространенность отека на $2,5 \pm 1,3$ сегментов, отек/набухание мозговой ткани на $15,9 \pm 10,1\%$. Первичные клинические данные у пострадавших: ASIA A/B 31%, ASIA C/D 69%. Неврологический исход травмы у пострадавших: ASIA C/D 61%, выздоровление 31%, смерть 8%. Исход травмы по данным МРТ у пострадавших: неполные спинальные повреждения 46%, регресс травматических изменений 46%.

Изолированные повреждения спинного мозга (рис. 4).

Ушиб спинного мозга (9%). В данную группу вошли пострадавшие с ушибом мозга при сохранности резервных пространств ПК. Вокруг измененного участка мозгового вещества визуализировались ликворные пространства и отсутствовала деформация контура спинного мозга. Показатели количе-

ственной/качественной оценки на уровне травмы спинного мозга у пострадавших: стеноз ПК на $9,7 \pm 7,2\%$, распространенность отека на $1,6 \pm 0,7$ сегментов, набухание/отек мозговой ткани на $9,6 \pm 10,5\%$, интрамедуллярные кровоизлияния при ушибах 11%. Первичные клинические данные у пострадавших: ASIA A/B 33%, ASIA C/D 67%. Исход травмы у пострадавших: ASIA B 33%, ASIA C/D 22%, выздоровление 45%. Исход травмы по данным МРТ у пострадавших: полные спинальные повреждения 22%, неполные спинальные повреждения 33%, регресс травматических изменений спинного мозга 45%.

Сдавление извне спинного мозга (9%). В данную группу вошли пострадавшие со сдавлением спинного мозга с переднего/заднего направления (78%/22%) без отека мозгового вещества. Показатели количественной оценки на уровне травмы спинного мозга у пострадавших: стеноз ПК на $38 \pm 14,8\%$, компрессия спинного мозга на $28,8 \pm 16,3\%$. Клинические данные у пострадавших: ASIA C/D 100%. Неврологический исход травмы у пострадавших: ASIA C 11%, выздоровление 89%. Исход травмы по данным МРТ у пострадавших: полные спинальные повреждения 11%, регресс травматических изменений спинного мозга 89%.

Полный\частичный перерыв спинного мозга (3%). Полный анатомический перерыв мозга (1%) стал результатом тотального стеноза ПК в результате тяжелой сегментарной дислокации на субаксиальном уровне ШОП (ASIA A). Неполный перерыв (2%) диагностировался при ножевых ранениях спинного мозга и характеризовался наличием линейной зоны разрыва в мозговом веществе (ASIA A/B 100%). Неврологический исход травмы у пострадавших: ASIA C 33%, смерть 67%. Исход травмы по данным МРТ у пострадавших: неполные спинальные повреждения 33%.

Среди исходов по данным МРТ различали необратимые изменения (полные и неполные спинальные повреждения) и обратимые состояния с нормализацией МР-картины спинного мозга после перенесенной травмы. При необратимых состояниях диагностировались следующие посттравматические изменения: кистозная полость, атрофия спинного мозга, рубцовые изменения субарахноидального пространства. Отрицательная динамика при промежуточной МРТ в виде нарастания/появления отека мозга отмечалась в 2% наблюдений.

Полные спинальные повреждения (31%) стали результатом значительного разрушения мозговой ткани на уровне травматического



Рис. 3 а (Fig. 3 а)



Рис. 3 б (Fig. 3 б)

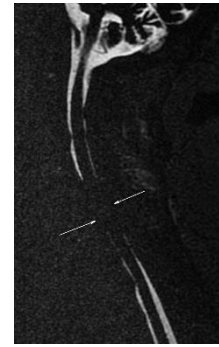


Рис. 3 в (Fig. 3 в)

Рис. 3. МРТ сочетанного повреждения спинного мозга (сдавление извне/отек) при переломо-вывихе в сегменте С6–7 на фоне оссифицирующего заболевания позвоночника, сагиттальная проекция.

а – Т2 ВИ: сдавление извне спинного мозга (костный отломок С7) с отеком мозгового вещества, ASIA С; б – Stir ИП: отек спинного мозга на уровне и ниже сдавления; в – Т2 туело: отграничение ликворных пространств на уровне сдавления мозга.

Fig. 3. MRI of associated spinal cord injury (external compression/edema) with fracture-dislocation in the C6-7 segment against the background of ossifying spinal disease, sagittal projection.

а – Т2: compression from the outside of the spinal cord (bone fragment C7) with cerebral edema, ASIA C; б – Stir: edema of the spinal cord at the level and below the compression; в – Т2 myelo: delimitation of cerebrospinal fluid spaces at the level of brain compression.



Рис. 4 а (Fig. 4 а)



Рис. 4 б (Fig. 4 б)



Рис. 4 в (Fig. 4 в)

Рис. 4. МРТ шейного спинного мозга у разных пострадавших, сагиттальная проекция, Т2 ВИ.

Различные виды изолированных повреждений спинного мозга. а – ушиб спинного мозга второго типа, гематомия (ASIA В); б – сдавление извне спинного мозга эпидуральной гематомой (ASIA D); в – частичный перерыв спинного мозга, ножевое ранение (ASIA А).

Fig. 4. MRI of the cervical spinal cord in different victims, sagittal projection, T2.

Various types of isolated spinal cord injuries. а – spinal cord injury of the second type, hematomyelia (ASIA B); б – compression from the outside of the spinal cord by an epidural hematoma (ASIA D); в – partial break of the spinal cord, stab wound (ASIA A).

воздействия, последствиями которого было формирование кистозной полости на весь диаметр спинного мозга. Стенки кистозной полости и прилежащие субарахноидальные пространства имели рубцовый характер. Полным спинальным повреждениям предшествовали следующие виды первичной травмы: ушиб/сдавление с полным ограничением резервных пространств (84%) и ушиб спинного мозга (16%). Выводы по результатам МРТ о полном разрушении проводящей системы спинного мозга были подтверждены клиническими данными у 92% пострадавших (ASIA A/B, тетраплегия). Однако при одинаковой МРТ картине у 8% пострадавших сохранялась двигательная активность в нижних конечностях (ASIA C, тетрапарез), важность этого обстоятельства заключалась в сохранении целостности нервных волокон в стенках кистозных полостей и возможности улучшения неврологического статуса при дальнейшем лечении. Для сравнительного прогностического анализа у пострадавших с полными спинальными повреждениями были уточнены характеристики состояния спинного мозга в острый период травмы: стеноз ПК на $40,1 \pm 19,26\%$, сдавление спинного мозга на $22,7 \pm 16,9\%$, распространенность отека на $3,6 \pm 1$ сегментов, отек/набухание мозговой ткани на $19,4 \pm 10,1\%$, частота гематомиилии 58%.

При неполных спинальных повреждениях (45%) посттравматические изменения спинного мозга занимали $1 \frac{1}{2}$ или меньше его диаметра. Виды повреждений спинного мозга при первичной диагностике: ушиб/сдавление с полным (51%) и частичным (19%) ограничением резервных пространств, сдавление извне/отек (16%), ушиб (8%), сдавление извне (3%), частичный перерыв (3%). У большинства пострадавших (97%) при неполных спинальных повреждениях сохранялись двигательные нарушения и неврологический дефицит был в пределах категорий ASIA C и D. И лишь единичное наблюдение (3%) соответствовало ASIA B с полной утратой двигательной функции, но с потенциалом для ее частичного восстановления по данным МРТ. Характеристики состояния спинного мозга в острый период травмы были следующие: стеноз ПК на $39 \pm 14,8\%$, сдавление спинного мозга на $19,8 \pm 13,6\%$, распространенность отека на $2,6 \pm 1$ сегментов, отек/набухание мозговой ткани на $16,3 \pm 9,5\%$, частота гематомиилии 5%.

Обратимые изменения спинного мозга (24%) характеризовались регрессом ранее выявленных травматических изменений мозгового вещества без видимых последствий.

Перечень видов повреждений при первичной диагностике с благоприятным исходом включал: сдавление извне (40%), сдавление извне/отек (30%), ушиб (20%), ушиб/сдавление спинного мозга с частичным с ограничением резервных пространств (10%). Нормализация состояния спинного мозга по данным МРТ сопровождалась полным клиническим восстановлением функций спинного мозга у 90% пострадавших. У 10% пострадавших сохранялся тетрапарез (ASIA D). Характеристики повреждения спинного мозга в острый период: стеноз ПК на $34,05 \pm 17,9\%$, сдавление спинного мозга на $23,3 \pm 19,5\%$, распространенность отека на $0,96 \pm 1,05$ сегментов, отек/набухание мозговой ткани на $4,9 \pm 7,5\%$.

Обсуждение.

При первичной диагностике были выделены и рассмотрены различные виды повреждений спинного мозга, акцент при изучении которых делался в отношении исхода травмы. При этом особое внимание уделялось тем видам повреждений спинного мозга и степени выраженности их лучевых проявлений, которые имели либо крайне неблагоприятный исход со стойким неврологическим дефицитом, либо благоприятный с положительными результатами после лечения. Среди клинических исходов у пострадавших были следующие состояния: наступление смерти у 9%, тяжелые формы нарушения проводимости спинного мозга (ASIA A/B) у 25%, менее тяжелые (ASIA C/D) у 40%, неврологическое выздоровление у 26%. При инвалидизации пострадавших по данным МРТ анализировался объем выявляемых посттравматических изменений спинного мозга, который в большинстве случаев (94%) соответствовал степени неврологических нарушений.

При полном спинальном повреждении основными представителями по половому признаку, получившие данную тяжелую травму спинного мозга, были молодые мужчины трудоспособного возраста (94%). При оценке причин тяжелых травм спинного мозга более одной трети случаев приходилось на ныряния на мелководье (39%), далее следовали с незначительной разницей между собой падения с высоты больше 2 метров (25%) и ДТП (22%). Относительно видов костных повреждений было выделено два травматических состояния, которые ассоциируются с наиболее неблагоприятным исходом: это компрессионные переломы и переломы дужек шейных позвонков. Одним из условий для получения тяжелой травмы спинного мозга при обоих видах костных повреждений является

воздействие компрессионной нагрузки на позвоночник с поглощением ее травматической энергии именно в спинно-позвоночном канале. При этом наиболее тяжелые повреждения возникают тогда, когда эпицентр травмы локализуется в центре (сером веществе) спинного мозга, что в дальнейшем может привести к полному разрушению его поперечника с исходом в кистозную полость. Что касается характеристик травмы спинного мозга с наиболее неблагоприятными исходами, то они на момент первичной диагностики были обусловлены изначальным наличием двух взаимноотягощающих повреждений, ушиба и сдавления, со следующими индикаторами тяжести: полное отграничение резервных пространств (84%), генерализованный отек мозга, степень сдавления спинного мозга >20% (22,7±16,9%). Важное значение при полных спинальных повреждениях имела гематомиелоишемия, которая отличалась высокой летальностью (21%) и отсутствием у всех выживших пострадавших положительной динамики неврологического восстановления после проведенного лечения (ASIA A/B). Отличительным моментом гематомиелоишемии является отсутствие возможности хирургической декомпрессии спинного мозга путем удаления внутримозговой гематомы в связи с развитием еще более тяжелых осложнений и высоким риском повреждения неизменённых нейронов. Поэтому именно консервативному медикаментозному способу лечению с уменьшением вторичных посттравматических повреждений в таких случаях должно уделяться особое внимание.

При рассмотрении случаев неполного спинального повреждения также отмечался высокий уровень травматизма у молодых мужчин (78%). Обстоятельства получения травмы были связаны с падениями с высоты больше 2 метров (43%) и меньше 2 метров (23%). Диагностировались различные костные повреждения шейных позвонков: передний перелома-вывих (25%), компрессионный перелом (19%) и перелом дужки (17%). Отдельно были выделены пострадавшие (17%) без костной травмы, но у которых диагностировался дегенеративный стеноз ПК с различными возникающими условиями при его наличии для повреждения спинного мозга. Прежде всего речь идет о ишемическом компоненте повреждения при медленном сдавлении мозга и его усугубление в условиях травмы. На фоне дегенеративно-дистрофических заболеваний также снижается устойчивость позвоночника к внешнему травматическому воздействию. При непол-

ных спинальных повреждениях доминирующей травмой при первичной диагностике у 84% пострадавших был ушиб спинного мозга, при котором отмечался сочетанный его характер (76%), гематомиелия (5%), полное отграничение резервных пространств (51%). У 16% пострадавших диагностировался еще один вид повреждения – сдавление извне/отек мозгового вещества, при этом необратимые изменения возникали тогда, когда отеки занимали больше чем один сегмент спинного мозга (2,6±1) с набуханием мозговой ткани на 16,3±9,5%.

В группе с обратимыми изменениями спинного мозга наиболее часто встречающимися обстоятельствами травмы были падения с высоты меньше 2 метров и травма ныряльщика (по 25%). Наибольшие шансы на неврологическое выздоровление имели пострадавшие с декомпенсацией на фоне травмы дегенеративного стеноза ПК (30%) и с дальнейшим регрессом отека спинного мозга после лечения, а также пострадавшие (25%) с успешным хирургическим устранением передних вывихов. Предположение о пропорциональной зависимости степени стеноза ПК и компрессии спинного мозга извне, с одной стороны, распространенности отека и степени набухания мозговой ткани – с другой, в нашем исследовании у пострадавших данной группы не подтвердилось. Другими словами, не всегда тяжелые стенозы ПК и сдавления спинного мозга извне приводят к необратимым изменениям мозгового вещества. Решающим влиянием на исход травмы имело первоначальное состояние мозгового вещества. У пострадавших с регрессом травматических изменений при первичной диагностике отсутствовали значимые повреждения спинного мозга, такие как структурные нарушения, гематомиелия/гематомиелоишемия, распространенный отек, выраженное отек/набухание мозговой ткани. Наиболее благоприятными видами повреждениями спинного мозга явились сдавление извне (40%), сдавление извне/отек мозгового вещества (30%) и ушибы первого типа (30%).

Чувствительность МРТ в неотложной первичной диагностике травмы спинного мозга составила 92%, специфичность – 97%, общая точность – 94%.

Заключение.

Лучевые проявления травмы спинного мозга при МРТ исследовании в большинстве случаев характеризовались сочетанием двух видов повреждений (ушиб/сдавление и сдавление извне/отек), степень выраженности которых позволяет предположить невро-

логический исход. Ушиб/сдавление мозгового вещества с полным ограничением резервных пространств ПК явился наиболее прогностически неблагоприятным видом повреждения спинного мозга с развитием грубых стойких нарушений проводниковой функции спинного мозга ($p < 0,001$). При этом, индикаторами тяжелого исхода травмы были гематомиелоишемия, генерализованный отек/набухание мозга. В свою очередь отсутствие или минимальный отек спинного мозга при его сдавлении извне свидетельствовало о благоприятном прогнозе у пострадавших при условии своевременной диагностики и ранней декомпрессии ПК. Также шансы на полное неврологическое выздоровление имели пострадавшие с ушибом спинного мозга без структурных изменений мозгового вещества.

References:

1. Badhiwala J.H., Ahuja C.S., Fehlings M.G. Time is spine: a review of translational advances in spinal cord injury. *J. Neurosurg. Spine.* 2018; 30 (1): 1-18. DOI: 10.3171/2018.9.SPINE18682. PMID: 30611186
2. Seif M., Gandini Wheeler-Kingshott C.A., Cohen-Adad J., Flanders A.E., Freund P. Guidelines for the conduct of clinical trials in spinal cord injury: Neuroimaging biomarkers. *Spinal Cord.* 2019; 57 (9): 717-728. DOI: 10.1038/s41393-019-0309-x
3. Cao B.H., Wu Z.M., Liang J.W. Risk Factors for Poor Prognosis of Cervical Spinal Cord Injury with Subaxial Cervical Spine Fracture-Dislocation After Surgical Treatment: A CONSORT Study. *Med. Sci. Monit.* 2019; 25: 1970-1975. DOI: 10.12659/MSM.915700
4. Tsuji O., Suda K., Takahata M. Matsumoto-Harmon S., Komatsu M., Menjo Y., et al. Early surgical intervention may facilitate recovery of cervical spinal cord injury in DISH. *J. Orthop. Surg. (Hong Kong).* 2019; 27 (1): 2309499019834783. DOI: 10.1177/2309499019834783
5. Mori E., Ueta T., Maeda T., Ideta R., Yugué I., Kawano O. et al. Sequential neurological improvements after conservative treatment in patients with complete motor paralysis caused by cervical spinal cord injury without bone and disc injury. *J. Neurosurg. Spine.* 2018; 29 (1): 1-9. DOI:10.3171/2017.10.SPINE17844
6. Izzo R., Popolizio T., Balzano R.F., Pennelli A.M., Simeone A., Muto M. Imaging of cervical spine traumas. *Eur. J. Radiol.* 2019; 117: 75-88. DOI: 10.1016/j.ejrad.2019.05.007
7. Goldberg A.L., Kershah S.M. Advances in imaging of vertebral and spinal cord injury. *J. Spinal Cord Med.* 2010; 33 (2): 105-116. DOI: 10.1080/10790268.2010.11689685
8. Aarabi B., Sansur C.A., Ibrahim D.M., Simard J.M., Hersh D.S., Le E. et al. Intramedullary Lesion Length on Postoperative Magnetic Resonance Imaging is a Strong Predictor of

Таким образом, применение МРТ для оценки повреждений спинного мозга шейного отдела позвоночника позволяет разграничивать обратимые и необратимые изменения мозгового вещества, прогнозировать вероятность исхода заболевания, а также предотвращать вторичные повреждения спинного мозга благодаря своевременному применению адекватных лечебных мероприятий, тем самым способствовать улучшению и восстановлению неврологического дефицита.

Источник финансирования и конфликт интересов.

Авторы данной статьи подтвердили отсутствие финансовой поддержки исследования и конфликта интересов, о которых необходимо сообщить.

- ASIA Impairment Scale Grade Conversion Following Decompressive Surgery in Cervical Spinal Cord Injury. *Neurosurgery.* 2017; 80 (4): 610-620. DOI: 10.1093/neuros/nyw053
9. Matsushita A., Maeda T., Mori E., Yuge I., Kawano O., Ueta T. et al. Can the acute magnetic resonance imaging features reflect neurologic prognosis in patients with cervical spinal cord injury?. *Spine J.* 2017; 17 (9): 1319-1324. DOI: 10.1016/j.spinee.2017.05.009
10. Martineau J., Goulet J., Richard-Denis A., Mac-Thiong J.M. The relevance of MRI for predicting neurological recovery following cervical traumatic spinal cord injury. *Spinal Cord.* 2019; 57 (10): 866-873. DOI: 10.1038/s41393-019-0295-z
11. Boldin C., Raith J., Fankhauser F., Haunschmid C., Schwantzer G., Schweighofer F. Predicting neurologic recovery in cervical spinal cord injury with postoperative MR imaging. *Spine (Phila Pa 1976).* 2006; 31 (5): 554-559. DOI: 10.1097/01.brs.0000201274.59427.a4
12. Bozzo A., Marcoux J., Radhakrishna M., Pelletier J., Goulet B. The role of magnetic resonance imaging in the management of acute spinal cord injury. *J. Neurotrauma.* 2011; 28 (8): 1401-1411. DOI:10.1089/neu.2009.1236
13. Grassner L., Wutte C., Zimmermann G., Grüllhösl A., Schmid K., Weiß T. et al. Influence of preoperative magnetic resonance imaging on surgical decision making for patients with acute traumatic cervical spinal cord injury: A survey among experienced spine surgeons. *World Neurosurg.* 2019; 131: e586-e592. DOI: 10.1016/j.wneu.2019.08.009
14. Mohamed M.A., Majeske K.D., Sachwani-Daswani G., Coffey D., Elghawy K.M., Pham A., et al. Impact of MRI on changing management of the cervical spine in blunt trauma patients with a 'negative' CT scan. *Trauma Surg. Acute Care Open.* 2016; 1 (1): e000016. DOI: 10.1136/tsaco-2016-000016.