

Божко О.В.<sup>1</sup>, Ахадов Т.А.<sup>1,2</sup>, Ублинский М.В.<sup>1</sup>, Мещеряков С.В.<sup>1</sup>, Манжурцев А.В.<sup>1,2</sup>, Мельников И.А.<sup>1</sup>, Семёнова Н.А.<sup>1,2</sup>, Дмитренко Д.М.<sup>1</sup>, Хусаинова Д.Н.<sup>1</sup>

## Магнитно-резонансная томография при острых травматических повреждениях связок и мягких тканей шейного отдела позвоночника у детей

<sup>1</sup>ГБУЗ «НИИ неотложной детской хирургии и травматологии» ДЗМ, 119180, Москва, Россия;

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова», 119991, Москва, Россия

**Цель работы** — определить возможности магнитно-резонансной томографии (МРТ) в диагностике повреждений связок и мягких тканей шейного отдела позвоночника у детей в условиях неотложной помощи.

**Материалы и методы.** МРТ выполнена у 52 детей с травмой шейного отдела позвоночника, у 1 из них с контрастным усилением. Преобладали мальчики — 33 (63,5%), девочек было 19 (36,5%). Возраст пациентов варьировал от 3 лет до 17 лет, средний возраст был  $14,0 \pm 1,4$  года. Исследование проводили на томографе «Phillips Achieva dStream 3 T». Протокол исследования включал МР-миелографию в сагиттальной и коронарной проекциях, сагиттальную проекцию Т2-ВИ в ИП STIR, Т2-ВИ SE, Т1-ВИ SE, DTI, аксиальную проекцию Т2-ВИ SE или Т2\*ВИ GRE.

**Результаты.** Травма шейного отдела позвоночника была сочетанной в 46% случаев ( $n = 24$ ), а в 54% ( $n = 28$ ) — изолированной. По шкале нарушений ASIA было 13 (25%) детей со степенью А, 3 (5,8%) — со степенью В, 9 (17,3%) — со степенью С, 4 (7,7%) — со степенью D, 23 (44,2%) — со степенью Е. Повреждения спинного мозга в виде гематомии выявлены у 13 (25%) детей, ушиб и отёк спинного мозга — у 15 (29%). По данным МРТ у 4 (7,7%) была травматическая грыжа со снижением высоты диска, у 15 (28,8%) — вторичный стеноз позвоночного канала на момент исследования, у 28 (53,8%) — компрессия спинного мозга и изменение МР-сигнала, у 5 (9,6%) — эпи- и субдуральные гематомы, у 45 (86,5%) — переломы позвонков.

**Заключение.** МРТ является чувствительным методом диагностики повреждений мягких тканей и спинного мозга, позволяет адекватно определять состояние мягких тканей и позвоночника, имеет решающее значение при диагностике степени повреждений мягких тканей, связок и нестабильности позвоночника у детей, что существенно влияет на ведение больных и исход.

**Ключевые слова:** дети; магнитно-резонансная томография; травма; шейный отдел позвоночника; связки; межпозвонковые диски; спинной мозг

**Для цитирования:** Божко О.В., Ахадов Т.А., Ублинский М.В., Мещеряков С.В., Манжурцев А.В., Мельников И.А., Семёнова Н.А., Дмитренко Д.М., Хусаинова Д.Н. Магнитно-резонансная томография при острых травматических повреждениях связок и мягких тканей шейного отдела позвоночника у детей. *Российский педиатрический журнал*. 2022; 25(5): 326–332. <https://doi.org/10.46563/1560-9561-2022-25-5-326-332>

**Для корреспонденции:** Ублинский Максим Вадимович, канд. биол. наук, науч. сотр. НИИ НДХиТ, [maхublinsk@mail.ru](mailto:maхublinsk@mail.ru)

**Участие авторов:** Божко О.В., Ахадов Т.А., Мельников И.А. — концепция и дизайн исследования; Мещеряков С.В., Мельников И.А., Семёнова Н.А., Дмитренко Д.М. — проведение исследования; Божко О.В., Дмитренко Д.М. — сбор и обработка материала; Ублинский М.В., Манжурцев А.В., Хусаинова Д.Н. — статистическая обработка; Ахадов Т.А., Божко О.В., — написание текста; Ублинский М.В. — редактирование. Все соавторы — утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

**Финансирование.** Исследование не имело финансовой поддержки.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила 07.09.2022  
Принята к печати 20.09.2022  
Опубликована 31.10.2022

Olga V. Bozhko<sup>1</sup>, Tolibzhon A. Akhadov<sup>1,2</sup>, Maksim V. Ublinskiy<sup>1</sup>, Semen V. Meshcheryakov<sup>1</sup>, Andrey V. Manzhurtsev<sup>1,2</sup>, Ilya A. Melnikov<sup>1</sup>, Natalya A. Semenova<sup>1,2</sup>, Dmitriy M. Dmitrenko<sup>1</sup>, Dariya N. Khusainova<sup>1</sup>

## Magnetic resonance imaging in acute traumatic injuries of ligaments and soft tissues of cervical spine in children

<sup>1</sup>Clinical and Research Institute of Emergency Pediatric Surgery and Trauma, Moscow, 119180, Russian Federation;

<sup>2</sup>Lomonosov Moscow State University, Moscow, 119991, Russian Federation

**Aim of the study:** to study the role and possibilities of magnetic resonance imaging (MRI) in the diagnosis of injuries of ligaments and soft tissues of the cervical spine in emergency care.

**Materials and methods.** MRI was performed in fifty two children with trauma of the cervical spine, in 1 of them with contrast enhancement. Boys predominated — 33 (63.5%), girls were 19 (36.5%). The age of the patients varied from 3 to 17 years, the mean age was  $14 \pm 1.4$  years. The study was carried out on a Phillips Achieva dStream 3T scanner. The study protocol includes MR-myelography in sagittal and coronary projections, T2WI sagittal projection in PS STIR, T2WI SE, T1WI SE, DTI, axial projection of T2WI SE or T2\*WI GRE.

**Results.** Trauma of cervical spine was combined in 46% ( $n = 24$ ) of all 52 cases, and in 54% ( $n = 28$ ) it was isolated. During the clinical and neurological examination according to the ASIA impairment scale, there were 13 (25%) children with grade A, 3 (5.8%) with grade B, 9 (17.3%) with grade C, 4 (7.7%) with degree D and 23 (44.2%) with grade E. Spinal cord injuries in the form of hematomyelia were detected in 13 (25%) children, contusion and swelling of the spinal cord — in 15 children (29%). According

to MRI results, 4 (7.7%) had a traumatic hernia with a decrease in disc height, 15 (28.8%) had secondary stenosis of the spinal canal at the time of the study, 28 (53.8%) had spinal cord compression and changes in the MR signal, 5 (9.6%) had epi- and subdural hematomas, 45 (86.5%) had vertebral fractures.

**Conclusion.** MRI, as a method more sensitive than other imaging modalities in the diagnosis of soft tissue and spinal cord injuries, allows radiologist directly assessing the condition of spine soft tissues and, therefore, is critical in the evaluation of a patient with ligament injury and instability. Recognition of soft tissue injuries affects patient management and outcome.

**Keywords:** children; magnetic resonance imaging; trauma; cervical spine; ligaments; intervertebral discs; spinal cord

**For correspondence:** Maxim V. Ublinskiy, MD, PhD, Researcher, Clinical and Research Institute of Emergency Pediatric Surgery and Trauma, Moscow, 119180, Russian Federation. E-mail: maxublinsk@mail.ru

**For citation:** Bozhko O.V., Akhadov T.A., Ublinsky M.V., Meshcheryakov S.V., Manzhurtsev A.V., Melnikov I.A., Semenova N.A., Dmitrienko D.M., Khusainova D.N. Magnetic resonance imaging for acute traumatic injuries of ligaments and soft tissues of cervical spine in children. *Rossiyskiy Pediatricheskiy Zhurnal (Russian Pediatric Journal)*. 2022; 25(5): 326–332. (In Russian). <https://doi.org/10.46563/1560-9561-2022-25-5-326-332>

**Contribution of authors:** Bozhko O.V., Akhadov T.A., Melnikov I.A. — research concept and design; Meshcheryakov S.V., Melnikov I.A., Semenova N.A., Dmitrenko D.M. — conducting research; Bozhko O.V., Dmitrenko D.M. — collection and analysis of data; Ublinskiy M.V., Manzhurtsev A.V., Khusainova D.N. — statistical analysis; Bozhko O.V., Akhadov T.A. — writing text; Ublinskiy M.V. — editing. All co-authors — approval of the final version of the article and responsibility for the integrity of all parts of the article.

**Information about the authors:**

Ublinskiy M.V., <https://orcid.org/0000-0002-4627-9874>

Meshcheryakov S.V., <https://orcid.org/0000-0003-3701-4628>

Melnikov I.A., <https://orcid.org/0000-0002-2910-3711>

Semenova N.A., <https://orcid.org/0000-0001-6641-0668>

**Acknowledgment.** The study had no sponsorship.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

Received: September 07, 2022

Accepted: September 20, 2022

Published: October 31, 2022

## Введение

У детей травмы шейного отдела позвоночника составляют 60–80% его травм. Частота повреждения шейного отдела позвоночника у детей значительно ниже, чем у взрослых (около 1,0–1,3%), но последствия у них более тяжёлые: до 60% случаев завершаются необратимыми неврологическим повреждениями и до 40–50% случаев приводят к смерти [1–5].

Магнитно-резонансная томография (МРТ) играет важную роль у пациентов с травмой позвоночника в связи с высокой чувствительностью метода для выявления острых повреждений связок и других мягких тканей. Важно то, что МРТ является методом выбора для оценки связок и других структур мягких тканей, межпозвонковых дисков, спинного мозга и скрытых повреждений костей [6–8].

К основным показаниям МРТ при тупой травме позвоночника относятся:

а) рентгенологические и/или компьютерно-томографические признаки предпозвоночной гематомы, спондилолистеза, асимметричное расширение дискового пространства, расширение или вывих фасеточных суставов и расширение межкостистого пространства, указывающие на повреждение связок;

б) подозрение на любое повреждение спинного мозга у пациентов с неврологическими нарушениями, подозрение на эпидуральную гематому или грыжу диска перед попыткой закрытого вправления шейных фасеточных вывихов;

в) для исключения клинически подозреваемых повреждений связок;

г) для определения стабильности шейного отдела позвоночника и оценки потребности в шейном воротнике у пострадавших с тупой травмой.

Эти показания к МРТ базируются на критериях приемлемости, определённых Американским коллед-

жем радиологии [9]. МРТ позвоночника в сочетании с компьютерной томографией (КТ) показана при острой травме позвоночника, если есть клинические признаки миелопатии, имеются клинические данные, указывающие на повреждение связок, и предполагается механическая нестабильность позвоночника [10]. Типичный протокол МРТ при травме позвоночника включает сагиттальные T1- и T2-ВИ SE, T2\*-ВИ GRE-взвешенные, изображения в импульсной последовательности STIR [10–12].

**Цель работы** — определить возможности МРТ в диагностике повреждений связок и мягких тканей шейного отдела позвоночника у детей в условиях неотложной помощи.

## Материалы и методы

В рамках работы были получены добровольные информированные согласия от всех участников или их законных представителей. Дизайн работы одобрен независимым локальным этическим комитетом. В исследование были включены все пациенты с травмой позвоночника в острой стадии, имевшие неврологический дефицит при клиническом обследовании (онемение, двигательные функции конечностей или сенсорный дефицит). Критериями исключения были хроническая травма позвоночника или противопоказания к МРТ, например, у больных с любыми металлическими протезами, кардиостимуляторами или с клаустрофобией.

Исследование проводили на томографе «Phillips Achieva 3 T». Из-за возраста и тяжести состояния большинства детей протокол МРТ с позвоночно-спинномозговой травмой включал МР-миелографию в сагиттальной и коронарной проекциях, сагиттальную проекцию T2-ВИ в ИП STIR, T2-ВИ SE, T1-ВИ SE, DTI, аксиальную проекцию T2-ВИ SE или T2\*-ВИ GRE (в зависи-

## ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

мости от состояния пациента и выявляемой патологии), а также при необходимости (крайне редко) T1-ВИ SE после контрастного усиления. При МРТ сердечно-дыхательная синхронизация не проводилась, потому что это не давало положительного эффекта улучшения качества визуализации, но могло значительно увеличить общую продолжительность исследования, что нежелательно у детей с тяжёлым соматическим состоянием. МРТ выполнена у 52 детей с травмой шейного отдела позвоночника, у 1 — с контрастным усилением. Преобладали мальчики — 33 (63,5%), девочек было 19 (36,5%). Возраст пациентов варьировал от 3 лет до 17 лет, средний возраст  $14,0 \pm 1,4$  года.

Все полученные данные обработаны статистически с использованием программы «Statistica 10.1» («StatSoft Inc.»).

## Результаты

Нами проведён анализ данных МРТ у 52 детей с травмой шейного отдела позвоночника. Из 52 детей травма шейного отдела позвоночника в 46% случаев ( $n = 24$ ) была сочетанной, а в 54% ( $n = 28$ ) — изолированной. У 20 (38,5%) детей травма была следствием дорожно-транспортного происшествия, 9 (17,3%) — кататравмы, 12 (23%) — ныряния в водоём, 4 (7,7%) — падения с велосипеда/мотоцикла, 7 (13,5%) — занятий спортом. Всем детям МРТ выполнено в острой стадии. Интервал времени после травмы до МРТ-исследования был от 2 ч до 1 мес; 49 детям МРТ выполнено в первые 7 сут, остальным — на 7–30-е сутки.

При клинико-неврологическом обследовании по шкале нарушений ASIA было 13 (25%) детей со степенью А, 3 (5,8%) — со степенью В, 9 (17,3%) — со степенью С, 4 (7,7%) — со степенью D, 23 (44,2%) — со степенью Е. В итоге преобладали две группы пострадавших детей: с самой лёгкой ( $n = 23$ ) и самой тяжёлой ( $n = 13$ ) по степени травмой. Повреждения спинного мозга в виде гематомии выявлены у 13 (25%) детей, ушиб и отёк спинного мозга — у 15 (29%). По результатам МРТ у 4 (7,7%) детей была травматическая грыжа со снижением высоты диска, у 15 (28,84%) — вторичный стеноз позвоночного канала на момент исследования, у 28 (53,8%) — компрессия спинного мозга и изменение МР-сигнала, у 5 (9,6%) — эпи- и субдуральные гематомы, у 45 (86,5%) — переломы позвонков.

Травму позвонков оценивали в соответствии с системой классификации AO Spine. Переломов C1 позвонка у пациентов в нашей работе не выявлено. Перелом зуба C2 позвонка встречался у 9 (17,3%) пациентов, из них изолированный перелом — у 3 (5,8%). Переломы позвонков типа А выявлены 35 (67,3%) детей, из них нестабильные (типы А3 и А4) — у 14 (27%), переломы позвонков типа В — у 4 (7,7%), типа С — у 8 (15,4%).

У 44 (84,6%) детей диагностированы повреждения связок: атлантоокципитального сочленения — у 2 (3,8%), передней продольной (полный разрыв) — у 1 (1,9%), задней продольной — у 6 (11,5%; 5 — полный, 1 — частичный), жёлтых — у 23 (44,2%; полный — у 17, частичный — у 6), межостистых — у 37 (71,1%; полный — у 11, частичный — у 26). Сочетание разрывов полных и/или частичных жёлтых и межостистых связок наблюдалось у 10 (19,2%) пациентов.

В группе обследованных детей не было выявлено повреждения связок у 8 детей, из них 4 имели переломы зуба C2, 2 — компрессионные перелом типа А3 по AO Classification C7 позвонка, у 2 детей обнаружены неосложнённые компрессионные переломы (А1 по AO Classification) C3 и C5 позвонков.

При травмах позвоночника, сопровождавшихся повреждением спинного мозга, только в 2 случаях не было разрывов связок, при этом у 1 пациента был неосложнённый компрессионный перелом тела C5 позвонка, у другого не было выявлено костных повреждений позвоночника (SCIWORA).

Гематомии, отёк, травматический стеноз позвоночного канала, протяжённость повреждения, травматические грыжи дисков повреждения связок лучше выявлялись на T2-ВИ и STIR.

## Обсуждение

МРТ играет важную роль у пациентов с травмой позвоночника в связи с высокой чувствительностью метода при выявлении острых повреждений связок и других мягкотканых структур, включая спинной мозг. Исследование обычно проводится по наличию неврологических симптомов, относящихся к шейному отделу позвоночника, несмотря на отрицательный результат компьютерной томографии, а также в случаях нестабильных переломов.

Чаше с помощью МРТ из мягкотканых структур позвоночника, кроме межпозвонковых дисков, оцениваются повреждения наиболее крупных и значимых связок: передней (ППС) и задней (ЗПС) продольных связок и жёлтой связки (ЖС). Реже оцениваются повреждения межостистых и капсульных связок фасеточных суставов (рис. 1) [7, 10, 13–14].

Исследования показали высокую чувствительность МРТ к разрыву связок. Связки (ППС, ЗПС и ЖС) в виде полос с низкой интенсивностью сигнала хорошо видны на T2-ВИ независимо от импульсной последовательности из-за прилежащего позвоночного канала с гиперинтенсивным сигналом ликвора [6]. Исключением являются межостистые связки, которые могут иметь поперечнополосатый вид с областями низкой интенсивности сигнала, чередующимися с областями высокой интенсивности сигнала, на T1-ВИ с подавлением МР-сигнала от жира, и надостные связки, которые могут иметь промежуточную интенсивность сигнала [6, 13]. Задний связочный комплекс (ЖС, межостистые и капсульные связки фасеточных суставов) краниоцервикального перехода визуализируются хуже, чем ППС и ЗПС. На разрыв связок указывает нарушение целостности гипоинтенсивной структуры в виде дефекта с гиперинтенсивным сигналом на T2-ВИ и STIR (рис. 2).

Связка также может быть «отделена» от основной костной структуры, на что указывает отодвигание от этих структур с резко гипоинтенсивным сигналом связки с повышенной интенсивностью сигнала на STIR и T2-ВИ, особенно при подавлении сигнала жира. Разрывы связок бывают полными или частичными. Частичные разрывы выглядят как участки с гиперинтенсивным сигналом на изображениях STIR, обусловленным отёком и кровоизлиянием с различной степенью интактных волокон. Полные разрывы из-за сопутствующего отёка и

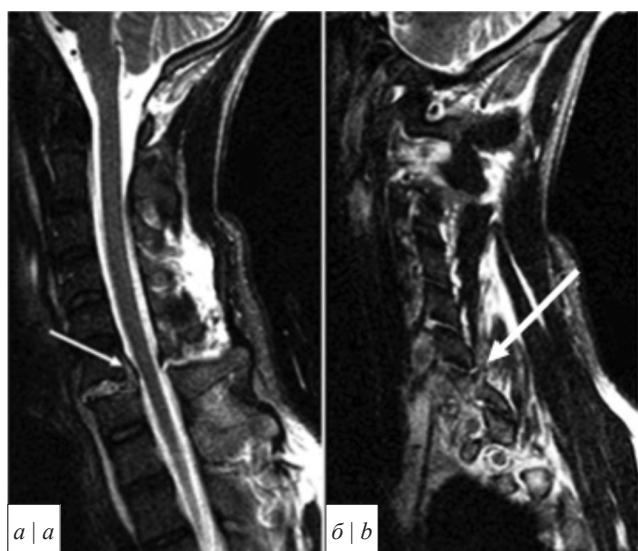


кровоизлияния видны как полное отсутствие интактных волокон с гиперинтенсивным сигналом на изображениях STIR. Полные разрывы связок встречаются реже, чем частичные разрывы или растяжение связок. Мы считаем, что переломы остистых отростков, расширение

межостистых промежутков и значительные изменения сигнала на T1-ВИ являются важными признаками более серьёзного или полного разрыва связок.

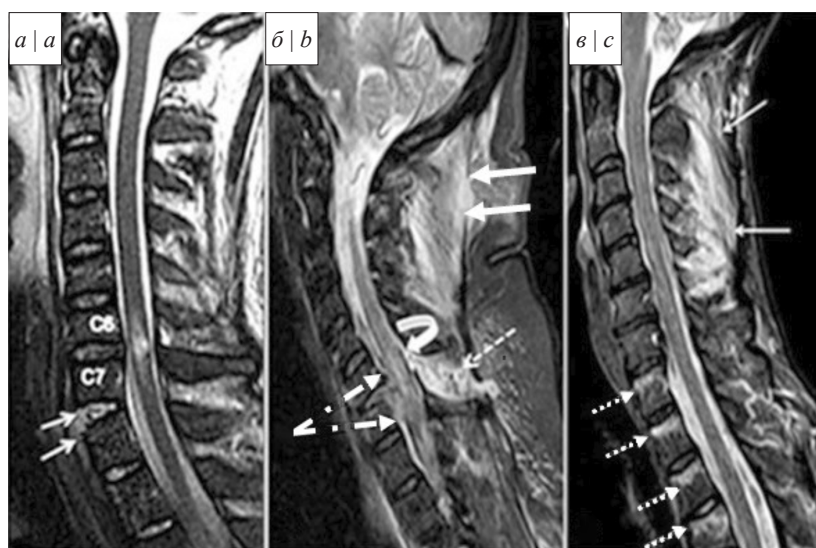
Патоморфологический принцип дифференциации согласно концепции F. Denis (1983) на одно-, двух- и трехпорные поражения с указанием обусловившего их механизма позволяет объективно судить о характере и тяжести травмы позвоночника с выделением стабильных и нестабильных переломов [12–18], хотя определение целостности связок помогает классифицировать травму как стабильную или нестабильную. Разрыв любой из продольных связок на любом уровне позвоночника свидетельствует о нестабильности позвоночника (рис. 3) [19].

ППС является базовой связкой передней колонны, которая также включает фиброзное кольцо и переднюю половину тел позвонков. Как правило, она плохо отличима от прилегающего гипоинтенсивного коркового слоя позвонков или внешнего кольца межпозвонкового диска. ППС разрывается в результате гиперэкстензии. Разрыв визуализируется независимо от взвешенности изображения и импульсной последовательности как локальная гипоинтенсивная полоса, прилегающая к вентральной стороне тел позвонков. ЗПС является критическим компонентом среднего столба, имеет переменную толщину, хорошо видна на сагиттальных изображениях. Повреждение ЗПС происходит при гиперфлексионных и гиперэкстензионных травмах. Разрыв её проявляется как очаговый дефект связки [19]. Ранее сообщалось, что МРТ выявляла разрывы связок, которые не подтверждались во время операции, но с оговоркой, что ограниченная видимость операционного поля могла не обеспечивать истинный стандарт для оценки связок и мягких тканей [20].



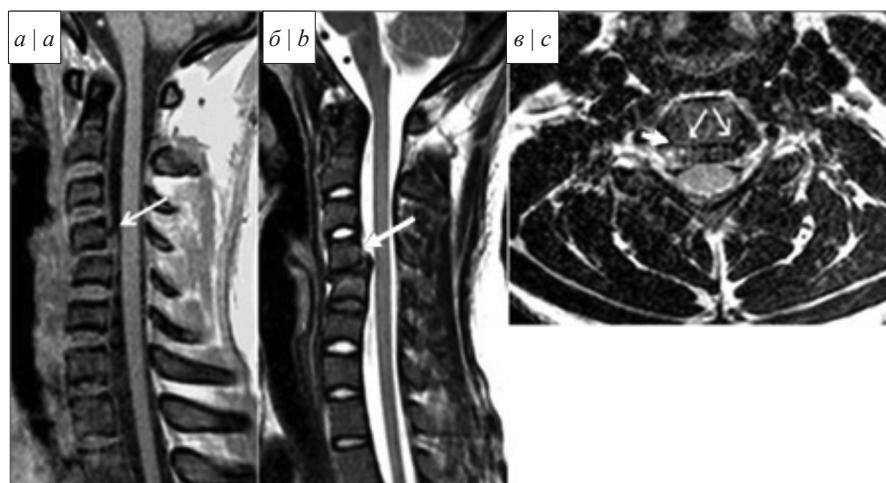
**Рис. 1.** Сагиттальная проекция, T2-ВИ — травматическая грыжа межпозвонкового диска C6–C7 (*a* — стрелка), сочетающаяся с односторонним вывихом фасеточного сустава (*б* — парасагитальный срез, стрелка).

**Fig. 1.** Sagittal view, T2-WI — traumatic hernia of the intervertebral disc C6–C7 (*a* — arrow), combined with unilateral dislocation of the facet joint (*b* — parasagittal section, arrow).



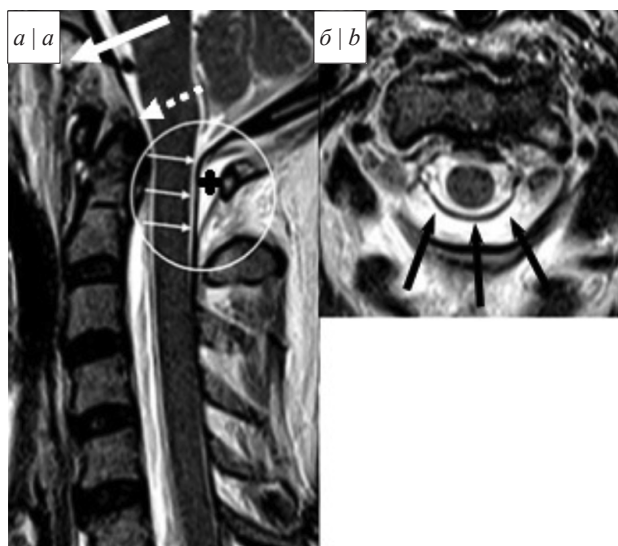
**Рис. 2.** Сагиттальная проекция: T2-ВИ (*a*) — на уровне C7–T1 видно повреждение передней продольной связки с подсвязочной гематомой (стрелки), геморрагический ушиб на уровне C6–C7; другой пациент, STIR (*б*): разрыв задней продольной (стрелки «пунктир-точка») и ЖС (закруглённая стрелка) на уровне C6–C7, разрыв выйной связки (стрелки) с отёком мышц, разрыв с гематомой межостистой связки (пунктирная стрелка), отёк, набухание, ушиб спинного мозга C6–C7 (увеличение объёма, нечёткий контур, неоднородный сигнал); другой пациент, T2-ВИ (*в*) — повреждение межостистых связок и отёк мышц на отрезке C2–C6, гиперинтенсивное очаговое изменение сигнала (пунктирные стрелки) от тел Th1–Th4 — ушиб позвонков.

**Fig. 2.** Sagittal projection: T2-WI (*a*) — there is seen the damage to the anterior longitudinal ligament with subligamentous hematoma (arrows) at the C7–T1 level, hemorrhagic contusion at the C6–C7 level; another patient, STIR (*b*): rupture of the posterior longitudinal (dot-dot arrows) and yellow ligaments (rounded arrow) at the level of C6–C7, rupture of the nuchal ligament (arrows) with muscle edema, rupture of the interspinous ligament with hematoma (dotted arrow), edema, swelling, contusion of the spinal cord C6–C7 (increase in volume, fuzzy contour, heterogeneous signal); another patient, T2-WI (*c*) — damage to the interspinous ligaments and swelling of the muscles in the C2–C6 segment, hyperintense focal change in the signal (dotted arrows) from the bodies of Th1–Th4 — contusion of the vertebrae.



**Рис. 3.** Сагиттальная проекция, T1-ВИ GRE (а) и T2-ВИ SE (б), центральный срез: видны задняя травматическая грыжа межпозвонкового диска C4–C5, разрыв ЗПС (а, б — белые стрелки) антеспондилолистез тела C4 при наличии патологического кифоза (признаки нестабильности). Аксиальная проекция, T2-ВИ SE, срез через диск C4–C5 (с): тонкие белые стрелки указывают на пролабирующий материал диска, толстая белая стрелка — кровоизлияние в фораминальной части травматической грыжи, правое межпозвонковое отверстие сужено.

**Fig. 3.** Sagittal projection, T1-WI GRE (a) and T2-WI SE (b) central section: visible posterior traumatic herniation of the C4–C5 intervertebral disc, rupture of the posterior longitudinal ligament (a, b — white arrows) antespondylolisthesis of the C4 body in the presence of pathological kyphosis (signs of instability). Axial view, T2-WI SE, slice through the disc C4–C5 (c): thin white arrows indicate prolapsing disc material, bold white arrow — hemorrhage in the foraminal part of the traumatic hernia, the right intervertebral foramen is narrowed.



**Рис. 4.** Сагиттальная T2-ВИ (а) и (б) проекции краниоспинального перехода: видно смещение («отслоение») твердой мозговой оболочки и задней атланто-затылочной мембраны от задней дуги C1 (белые стрелки) эпидуральной гематомой на уровне C1–C2 (звездочка). Сочетанные разрывы передней атланто-аксиальной мембраны (белая жирная стрелка) и растяжение текториальной мембраны (белая жирная пунктирная стрелка). Аксиальная проекция T2-ВИ, видна эпидуральная гематома между твердой мозговой оболочкой и задней дугой C1 (чёрные стрелки).

**Fig. 4.** Sagittal T2-WI (a) and axial (b) projections of the cranio-spinal junction: displacement (“detachment”) of the dura mater and posterior atlanto-occipital membrane from the posterior arch of C1 (white arrows) by an epidural hematoma at the level of C1–C2 (asterisk) is visible). Combined ruptures of the anterior atlanto-axial membrane (white bold arrow) and stretching of the tectorial membrane (white bold dotted arrow). Axial T2-WI shows an epidural hematoma between the dura mater and the posterior arch of C1 (black arrows).

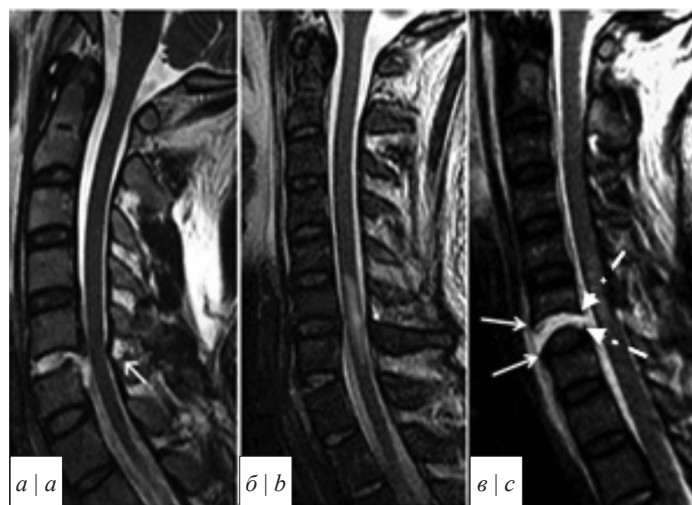
Считалось, что изменения сигнала крыловидной связки наблюдаются при хлыстовой травме [21], но последующие наблюдения выявили изменчивую морфологию и интенсивность сигнала крыловидной связки у здоровых добровольцев. Соответственно, следует с осторожностью интерпретировать её изменения при хлыстовой травме [13]. Кроме изменений сигнала от самих связок есть другие признаки их повреждения: расширение пространства между затылком и C1 или между C1 и C2 с соответствующими подобными отёку сигналами изменениями в области связок; наличие крови рядом с острым разрывом крыловидной связки; смещение зуба C2 на контралатеральную сторону (рис. 4).

Авторы определяют различную чувствительность МРТ при выявлении повреждений мягких тканей: суммарно по всем мягкотканым структурам в пределах 46–71%, по дискам — 93%, ЗПС — 43–93%, ЖС — 67%, межкостистым связкам — 36–100%, надостным связкам — 89% [13, 20, 22].

Травму межпозвоночного диска, выявленную при МРТ, можно классифицировать как повреждение диска или как посттравматическую грыжу диска (рис. 5) [20].

Повреждение диска распознаётся как асимметричное сужение или расширение изолированного дискового пространства и локального изменения сигнала внутри диска — отёк. Последнее в остром периоде позволяет отличить посттравматическую грыжу от нетравматической. Отмечается высокая частота посттравматических грыж (36%), хотя нет данных о том, что имеющийся у больных неврологический дефицит был связан с грыжей диска [22, 23]. Многоплоскостная МРТ очень полезна для оценки экструзии дисков и секвестрированных фрагментов дисков для вероятной закрытой репозиции вывихов позвоночника. МРТ очень чувствительна

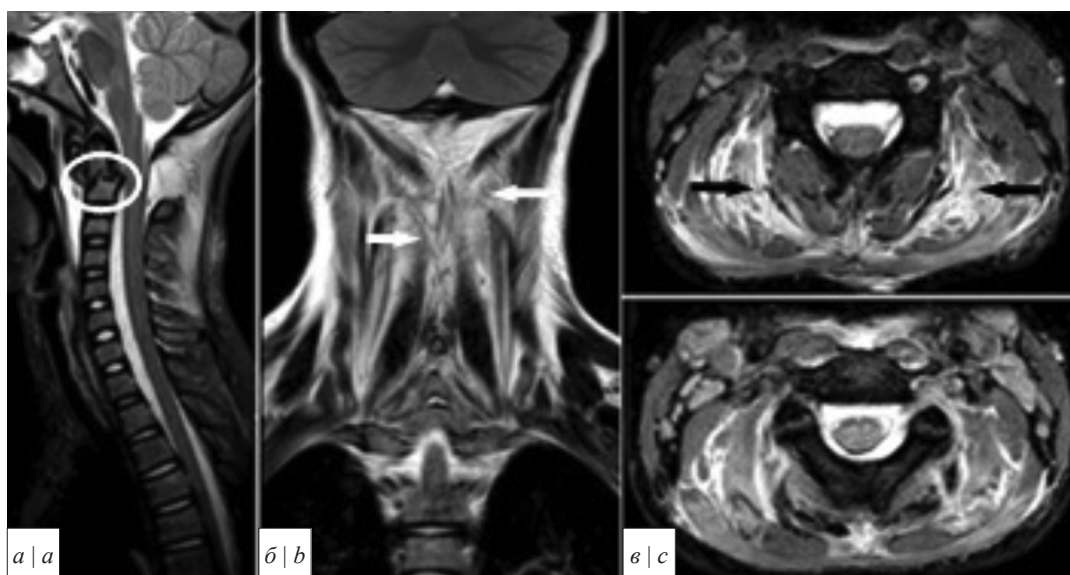




**Рис. 5.** Травматическая грыжа диска у 3 пациентов. Сагиттальная проекция T2-ВИ (а), STIR (б, в).

а — визуализируется грыжа диска C5–C6 и формирующийся секвестр, на протяжении которого имеется разрыв ЗПС, ЖС оттеснена кпереди подвязочной гематомой (стрелка); б — видна маленькая травматическая грыжа, однако при этом имеется большая интрамедуллярная зона с неоднородным гиперинтенсивным сигналом — гематомия/ушиб с выраженным отёком спинного мозга; в — травматическая грыжа межпозвоночного диска C6–C7 с разрывом ППС (белые стрелки) и ЗПС (пунктирные стрелки).

**Fig. 5.** Traumatic disc herniation. Sagittal projection T2-WI (a), STIR (b, c). There is visualized a herniated C5–C6 disc and a sequester is forming (a), during which there is a rupture of the posterior longitudinal ligament, the yellow ligament is pushed anteriorly by a subligamentous hematoma (arrow); another patient (b) — a small traumatic hernia is visible, however, there is a large intramedullary zone with a heterogeneous hyperintense signal — hematomyelia/contusion with severe spinal cord edema; the other patient (c) has a traumatic herniation of the C6–C7 intervertebral disc with a rupture of the anterior (white arrows) and posterior longitudinal ligaments (dotted arrows).



**Рис. 6.** МРТ шейного отдела позвоночника.

а — сагиттальная проекция, STIR; б — корональная проекция, T2-ВИ; в — аксиальная проекция. Перелом зуба C2, разрыв передней и задней продольной связок (а, белый круг), травма мышц — чётко прослеживается их отёк (б, в — стрелки).

**Fig. 6.** MRI of the cervical spine. Sagittal view, STIR (a), coronal view, T2-WI (b), axial view (c). C2 tooth fracture, rupture of the anterior and posterior longitudinal ligaments (a, white circle), muscle injury — their edema is clearly visible (b, c — arrows).

для обнаружения «скрытых» повреждений позвонков, в частности ушибов и компрессионных переломов. Она является практически единственным методом, визуализирующим отёк костного мозга в позвонках, лучше всего выявляемый в импульсной последовательности STIR в виде гиперинтенсивного сигнала (рис. 2, б).

В мягких тканях позвоночника, кроме связок при гиперэкстензии и переломах тел позвонков, могут возникать паравертебральные повреждения мышц (рис. 6). Растяжение мышц характеризуется отёком, видимым на изображениях STIR в виде гиперинтенсивного сигнала, а кровоизлияние в мышцу будет иметь неоднородную интенсивность сигнала в зависимости от наличия различных степеней и стадий кровоизлияния, смешанного с отёком. Обычно изолированные повреждения мышц не имеют клинического значения, но могут быть признаком другого повреждения позвоночника.

Таким образом, МРТ является чувствительным методом диагностики повреждений мягких тканей и спинного мозга у детей, что позволяет адекватно анализировать состояние мягких тканей позвоночника, имеет решающее значение при определении состояния пациента с повреждением связок и нестабильностью шейного отдела позвоночника и непосредственно влияет на ведение больных и исход.

## Литература

(п.п. 1–4; 6–11; 13–23 см. References)

- Залетина А.В., Виссарионов С.В., Баиндурашвили А.Г., Садовой М.А., Соловьева К.С., Купцова О.А. Структура повреждений позвоночника у детей в регионах Российской Федерации. *Хирургия позвоночника*. 2017; 14(4): 52–60. <https://doi.org/10.14531/ss2017.4.52-60>
- Ахадов Т.А., Саруханян О.О., Кешишян Р.А. *Магнитно-резонансная томография спинальной травмы у детей*. М., 2012.

## References

- Platzer P., Jaindl M., Thalhammer G., Dittrich S., Kutscha-Lissberg F., Vecsei V., et al. Cervical spine injuries in pediatric patients. *J Trauma*. 2007; 62(2): 389–96. <https://doi.org/10.1097/01.ta.0000221802.83549.46>
- Booth T.N. Cervical spine evaluation in pediatric trauma. *AJR Am J Roentgenol*. 2012; 198(5): W417–25. <https://doi.org/10.2214/AJR.11.8150>
- Devivo M.J. Epidemiology of traumatic spinal cord injury: trends and future implications. *Spinal Cord*. 2012; 50: 365–72. <https://doi.org/10.1038/sc.2011.178>
- Hale D.F., Fitzpatrick C.M., Doski J.J., Stewart R.M., Mueller D.L. Absence of clinical findings reliably excludes unstable cervical spine injuries in children 5 years or younger. *J Trauma Acute Care Surg*. 2015; 78(5): 943–8. <https://doi.org/10.1097/TA.0000000000000603>
- Zaletina A.V., Vissarionov S.V., Baindurashvili A.G., Sadovoy M.A., Solov'eva K.S., Kuptsova O.A. The structure of spinal injuries in children in the regions of the Russian Federation. *Khirurgiya pozvonochnika*. 2017; 14(4): 52–60. (in Russian) <https://doi.org/10.14531/ss2017.4.52-60>
- Benedetti P.F., Fahr L.M., Kuhns L.R., Hayman L.A. MR imaging findings in spinal ligamentous injury. *AJR Am J Roentgenol*. 2000; 175(3): 661–5. <https://doi.org/10.2214/ajr.175.3.1750661>
- Dundamadappa S.K., Cauley K.A. MR imaging of acute cervical spinal ligamentous and soft tissue trauma. *Emerg Radiol*. 2012; 19(4): 277–86. <https://doi.org/10.1007/s10140-012-1033-4>
- Fiester P., Soule E., Rahmathulla G., Rao D. C1–C2 Dorsal epidural hematoma on cervical spine CT: A novel imaging sign of posterior atlanto-occipital membrane stripping injury. *Cureus*. 2021; 13(11): e19543; <https://doi.org/10.7759/cureus.19543>
- Beckmann N.M., West O.C., Nunez D. Jr, Kirsch C.F.E., Aulino J.M., Broder J.S., et al. ACR Appropriateness Criteria® Suspected Spine Trauma. *J Am Coll Radiol*. 2019; 16(5S): 264–85. <https://doi.org/10.1016/j.jacr.2019.02.002>
- 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): 1401–11. <https://doi.org/10.1089/neu.2009.1236>
- Hollingshead M.C., Castillo M. MRI in acute spinal trauma. *Applied Radiology*. 2007; 31–4.
- Akhadov T.A., Sarukhanyan O.O., Keshishyan R.A. *Magnetic resonance imaging of spinal injury in children [Magnitno-rezonansnaya tomografiya spinal'noy travmy u detey]*. Moscow, 2012. (in Russian)
- Lummel N., Zeif C., Kloetzer A., Linn J., Brückmann H., Bitterling H. Variability of morphology and signal intensity of alar ligaments in healthy volunteers using MR imaging. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2011; 32(1): 125–30. <https://doi.org/10.3174/ajnr.A2255>
- Shah K., Tikoo A., Kothari M.K., Nene A. Current concepts in pediatric cervical spine trauma. *Open Orthop J*. 2017; 11: 346–52. <https://doi.org/10.2174/1874325001711010346>
- Denis F. The three column spine and its significance in the classification of acute thoracolumbar spinal injuries. *Spine*. 1983; 8(8): 817–31. <https://doi.org/10.1097/00007632-198311000-00003>
- Harris J.H. Spine, including soft tissues of the pharynx and neck. In: Harris J.H., Harris W.H. *The Radiology of Emergency Medicine*. Baltimore, MD: Lippincott Williams & Wilkins, 2000.
- Cohen W.A., Giaque A.P., Hallam D.K., Linnau K.F., Mann F.A. Evidence-based approach to use of MR imaging in acute spinal trauma. *Eur J Radiol*. 2003; 48(1): 49–60. [https://doi.org/10.1016/s0720-048x\(03\)00201-8](https://doi.org/10.1016/s0720-048x(03)00201-8)
- Daffner R.H., Deeb Z.L., Goldberg A.L., Kandabarow A., Rothfus W.E. The radiologic assessment of post-traumatic vertebral stability. *Skeletal Radiol*. 1990; 19(2): 103–8. <https://doi.org/10.1007/BF00197614>
- Flanders A.E., Schwartz E.D. Spinal trauma. In: *Atlas SW (ed) Magnetic resonance imaging of the brain and spine*. Lippincott Williams & Wilkins, 2011, Philadelphia, p. 1564–623.
- Goradia D., Linnau K.F., Cohen W.A., Mirza S., Hallam D.K., Blackmore C.C. Correlation of MR imaging findings with intraoperative findings after cervical spine trauma. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2007; 28(2): 209–15.
- Krakenes J., Kaale B.R., Moen G., Nordli H., Gilhus N.E., Rorvik J. MRI assessment of the alar ligaments in the late stage of whiplash injury—a study of structural abnormalities and observer agreement. *Neuroradiology*. 2002; 44(7): 617–24. <https://doi.org/10.1007/s00234-002-0799-6>
- Wang M.X., Beckmann N.M. Imaging of pediatric cervical spine trauma. *Emerg Radiol*. 2021; 28(1): 127–41. <https://doi.org/10.1007/s10140-020-01813-1>
- Bilston L.E., Brown J. Pediatric spinal injury type and severity are age and mechanism dependent. *Spine*. 2007; 32(21): 2339–47. <https://doi.org/10.1097/BRS.0b013e3181558886>

## Сведения об авторах:

**Божко Ольга Васильевна**, канд. мед. наук, вед. науч. сотр. отдела лучевых методов диагностики, НИИ НДХиТ, [bozhko\\_olga@mail.ru](mailto:bozhko_olga@mail.ru); **Ахадов Толибджон Абдуллаевич**, доктор мед. наук, проф., руководитель отдела лучевых методов диагностики, НИИ НДХиТ, [akhadov@mail.ru](mailto:akhadov@mail.ru); **Мещеряков Семен Владимирович**, канд. мед. наук; зав. отд-нием нейрохирургии НИИ НДХиТ; **Манжурцев Андрей Валерьевич**, науч. сотр., НИИ НДХиТ, [andrey.man.93@gmail.com](mailto:andrey.man.93@gmail.com); **Мельников Илья Андреевич**, канд. мед. наук, врач-рентгенолог отдела лучевых методов диагностики, НИИ НДХиТ, [ilyamed@mail.ru](mailto:ilyamed@mail.ru); **Семёнова Наталия Александровна**, доктор биол. наук, канд. хим. наук, гл. науч. сотр., НИИ НДХиТ, [nmr-semen@mail.ru](mailto:nmr-semen@mail.ru); **Дмитренко Дмитрий Михайлович**, зав. отд-нием рентгенодиагностики НИИ НДХиТ, [dmitrenich@mail.ru](mailto:dmitrenich@mail.ru); **Хусаинова Дарья Николаевна**, науч. сотр. отдела ИТ НИИ НДХиТ, [dsavina@yandex.ru](mailto:dsavina@yandex.ru)