

УДК (616.711+616.832)-001-073.7

<http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2023-14-4-52-59>

ЛУЧЕВАЯ ДИАГНОСТИКА ПОЗВОНОЧНО-СПИННОМОЗГОВОЙ ТРАВМЫ У ДЕТЕЙ РАННЕГО ВОЗРАСТА: ПРОСПЕКТИВНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

Т. А. Ахадов[✉], Е. С. Зайцева[✉], О. В. Божко[✉], М. В. Ублинский^{✉*}, И. Н. Новоселова[✉], И. А. Мельников[✉],
Е. В. Воронкова[✉], С. В. Мещеряков[✉], Д. М. Дмитренко[✉], И. В. Понина[✉], Д. Н. Хусаинова[✉], Е. А. Крупина[✉]
Научно-исследовательский институт неотложной детской хирургии и травматологии, Москва, Россия

ВВЕДЕНИЕ: Позвоночно-спинномозговая травма (ПСМТ) у детей раннего возраста отличается относительно более высокой распространенностью повреждения шейного отдела позвоночника, множественными компрессионными переломами грудных позвонков и повреждением спинного мозга. Также у детей раннего возраста встречаются повреждения спинного мозга без рентгенологических изменений/признаков переломов или вывихов (SCIWORA). Рентгенологическая оценка повреждений незрелых позвонков и хряща у маленьких детей затруднена, так как не до конца сформированные тела позвонков можно спутать с переломами. Соответственно требуется выполнение магнитно-резонансной томографии (МРТ), которая обеспечивает детальное анатомическое изображение всех структур позвоночного столба, а также диагностирует повреждения спинного мозга, связок и мышц.

ЦЕЛЬ: Исследовать возможности методов лучевой диагностики позвоночно-спинномозговой травмы у детей раннего возраста (до 3 лет).

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ: Обследовано 20 детей в возрасте от 11 мес до 3 лет с позвоночно-спинномозговой травмой, которым в различных соотношениях выполнены рентгенография, компьютерная томографии (КТ) и МРТ. Стандартный протокол МРТ при ПСМТ у детей до 3 лет включал: МР-миелографию в коронарной и сагиттальной проекциях, сагиттальную проекцию STIR, DTI и T2-ВИ FS SE, аксиальную проекцию T2-ВИ FS SE или T2-ВИ FS GE; коронарную проекцию T2-ВИ SE; 3D T1-ВИ FS GE до и после контрастного усиления.

РЕЗУЛЬТАТЫ: Проведен анализ данных пациентов, входящих в категорию политравма. Причинами ПСМТ у этих пациентов явились: ДТП и падение с различной высоты. Рентгенография и КТ были малоинформативны и имели большие расхождения с результатами МРТ. Все анатомо-морфологические изменения, выявленные МРТ, хорошо коррелировали с клиническими проявлениями и соответствовали классификации уровня и степени тяжести травмы спинного мозга (ASIA). Увеличение объема и изменение сигнала спинного мозга из-за отека и/или кровоизлияния в спинной мозг являются основными признаками его повреждения и лучше всего проявляются на T2-ВИ и STIR в виде гиперинтенсивного сигнала.

ОБСУЖДЕНИЕ: МРТ имеет решающее значение в экстренной оценке повреждения или компрессии спинного мозга для предсказания исхода ПСМТ. В настоящее время нет метода визуализации спинного мозга, способного составить конкуренцию МРТ. Увеличение объема и изменение сигнала спинного мозга из-за отека и/или кровоизлияния является признаком его повреждения и лучше всего проявляется на T2-ВИ и STIR в виде гиперинтенсивного сигнала. Неполное повреждение спинного мозга также проявляется гиперинтенсивным сигналом на T2-ВИ и/или FLAIR, который по интенсивности и распространенности коррелирует со степенью повреждения. Геморрагические повреждения лучше выявляются с помощью T2*GRE или SWI, а отек спинного мозга — T2-ВИ SE и STIR. Кроме того, STIR позволяет идентифицировать отек костного мозга в поврежденных позвонках, даже когда повреждения не выявлены при КТ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ: При проведении МРТ у пострадавших с ПСМТ следует оценивать три количественных параметра: максимальное повреждение позвоночного канала, максимальную компрессию спинного мозга и длину области поражения. В дополнение к результатам количественных параметров следует оценивать потенциальные прогностические качественные результаты МРТ: интрамедуллярное кровоизлияние, очаговый и диффузный отек спинного мозга, повреждение мягких тканей, вероятный стеноз до травмы и грыжу диска.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: дети, магнитно-резонансная томография, травма, позвоночник, спинной мозг

*Для корреспонденции: Ублинский Максим Вадимович, e-mail: maxublinsk@mail.ru

Для цитирования: Ахадов Т.А., Зайцева Е.С., Божко О.В., Ублинский М.В., Новоселова И.Н., Мельников И.А., Воронкова Е.В., Мещеряков С.В., Дмитренко Д.М., Понина И.В., Хусаинова Д.Н., Крупина Е.А. Лучевая диагностика позвоночно-спинномозговой травмы у детей раннего возраста: проспективное исследование // *Лучевая диагностика и терапия*. 2023. Т. 14, № 4. С. 52–59, doi: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2023-14-4-52-59>.

© Авторы, 2023. Издательство ООО «Балтийский медицинский образовательный центр». Данная статья распространяется на условиях «открытого доступа», в соответствии с лицензией CCBY-NC-SA 4.0 («Attribution-NonCommercial-ShareAlike») / «Атрибуция-Некоммерчески-Сохранение Условий» 4.0), которая разрешает неограниченное некоммерческое использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии указания автора и источника. Чтобы ознакомиться с полными условиями данной лицензии на русском языке, посетите сайт: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.ru>

RADIOLOGY DIAGNOSTICS OF SPINAL COREL INJURY IN EARLY CHILDREN: A PROSPECTIVE STUDY

Tolibdzhon A. Akhadov¹, Ekaterina S. Zaitseva¹, Olga V. Bozhko¹, Maxim V. Ublinskiy^{1*}, Irina N. Novoselova¹, Ilya A. Melnikov¹, Elena V. Voronkova¹, Semen V. Meshcheryakov¹, Dmitry M. Dmitrenko¹, Irina V. Ponina¹, Daria N. Khusainova¹, Ekaterina A. Krupina¹

Clinical and Research Institute of Emergency Pediatric Surgery and Trauma, Moscow, Russia

INTRODUCTION: Spinal cord injury (SCI) in young children includes a relatively higher prevalence of cervical spine injury, multiple thoracic vertebral compression fractures, and spinal cord injury. Spinal cord injuries without radiological changes/signs of fractures or dislocations (SCIWORA) also occur in young children. X-ray assessment of damage to immature vertebrae and cartilage in young children is difficult, since incompletely formed vertebral bodies can be confused with fractures. Accordingly, an MRI is required, which provides a detailed anatomical image of all structures of the spinal column and also diagnoses damage to the spinal cord, ligaments and muscles.

OBJECTIVE: To investigate the possibilities of methods of radiation diagnosis of spinal cord injury in young children (up to 3 years).

MATERIAL AND METHODS: 20 children aged from 11 months up to 3 years old were studied with spinal cord injury. X-ray, computed tomography (CT) and magnetic resonance imaging (MRI) were performed. The standard MRI protocol for SCI in children under 3 years of age included: MR myelography in the coronary and sagittal projections, sagittal projection STIR, DTI and T2WI FS SE, axial projection T2WI FS SE or T2*WI FS GE; coronary projection T2WI SE; 3D T1WI FS GE before and after contrast enhancement.

RESULTS: An analysis of the data of patients included in the category of polytrauma was carried out. The causes of SCI in these patients were road accidents and falls from various heights. X-ray and CT scans were uninformative, and had large discrepancies with MRI results. All anatomical and morphological changes revealed by MRI correlated well with clinical manifestations and corresponded to the classification of the level and severity of spinal cord injury (ASIA). An increase in the volume and change in the signal of the spinal cord due to edema and / or hemorrhage in the spinal cord is the main sign of damage to the spinal cord, and is best indicated on T2WI and STIR, as a hyperintense signal.

DISCUSSION: MRI is critical in the emergency assessment of spinal cord injury or compression to predict the outcome of SCI. There is currently no spinal cord imaging technique that can compete with MRI. Increased volume and signal changes in the spinal cord due to edema and/or hemorrhage are a sign of spinal cord injury and are best demonstrated on T2WI and STIR as a hyperintense signal. Incomplete spinal cord injury is also manifested by a hyperintense signal on T2WI and/or FLAIR, which in intensity and extent correlates with the degree of injury. Hemorrhagic injuries are better detected using T2*GRE or SWI, and spinal cord edema is better detected using T2WI SE and STIR. In addition, STIR can identify bone marrow edema in injured vertebrae, even when the injury is not detected on CT.

CONCLUSION: When performing MRI in patients with SCI, three quantitative parameters should be assessed: the maximum damage to the spinal cord, the maximum compression of the spinal cord, and the length of the affected area. In addition to the results of quantitative parameters, potential predictive qualitative MRI findings should be evaluated such as intramedullary hemorrhage, focal and diffuse spinal cord edema, soft tissue injury, probable stenosis before injury, and disc herniation.

KEYWORDS: children, magnetic resonance imaging, trauma, spine, spinal cord

*For correspondence: Maxim V. Ublinsky, e-mail: maxublinsk@mail.ru

For citation: Akhadov T.A., Zaitseva E.S., Bozhko O.V., Ublinskiy M.V., Novoselova I.N., Melnikov I.A., Voronkova E.V., Meshcheryakov S.V., Dmitrenko D.M., Ponina I.V., Khusainova D.N., Krupina E.A. Radiology diagnostics of spinal corel injury in early children: a prospective study // *Diagnostic radiology and radiotherapy*. 2023. Vol. 14, No. 4. P. 52–59, doi: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2023-14-4-52-59>.

Введение. Переломы и тяжелые повреждения позвоночника у детей раннего возраста составляют от 1 до 10% от всех травм позвоночника во всех возрастных группах. Чаще повреждается верхнешейная часть спинного мозга [1, 2]. Позвоночно-спинномозговая травма (ПСМТ), которая чаще бывает у детей раннего возраста, включает в себя следующие повреждения: атлантозатылочная диссоциация, атлантоаксиальный подвывих, повреждение верхней части шейного отдела, множественные компрессионные переломы и переломы замыкательных пластин позвонков, а также повреждение спинного

мозга без рентгенологических отклонений (SCIWORA), что связано с анатомическими и механическими различиями в растущем позвоночнике [3–6]. Стандартная диагностика ПСМТ включает фронтальную и боковую рентгенограммы шейного отдела позвоночника — от C_{VII} до Th_I, и, редко, фронтальную с открытым ртом. Следует отметить, что в данной возрастной категории рентгенограммы чаще всего малоинформативны. Функциональные рентгенограммы шейного отдела позвоночника чаще всего выполняют для выявления нестабильности у контактных и неврологически сохранных пациентов [7].

Компьютерная томография (КТ) — наиболее точная методика выявления переломов шейного отдела позвоночника и переломов мыщелка затылочной кости. При выполнении КТ шейного отдела позвоночника визуализация структур спинного мозга затруднительна и малоинформативна, поэтому при подозрении на наличие повреждений структур спинного мозга требуется дообследование пациентов [8]. КТ, согласно критериям и методическим рекомендациям Американской академии неврологов (AAN) и Американской ассоциации спинальной травмы (ASIA), является лучшим методом для визуализации и оценки костных структур позвоночника, а магнитно-резонансная томография (МРТ) является лучшим методом для оценки компрессии спинного мозга и патологии паренхимы спинного мозга [8].

МРТ — это практически единственный метод визуализации, позволяющий оценить изменения спинного мозга после травмы. Установлено, что существует корреляция изменений МР-сигнала с макро- и микроскопической картиной спинного мозга, включая кровоизлияния, разрывы, протяженность поражения отека, и вторичные изменения [8–10]. Кроме того, критерием целостности белого вещества являются паттерны диффузионно-взвешенных (ДВИ) и диффузионно-тензорных (ДТИ) изображений, которые коррелируют с числом аксонов и более чувствительны в выявлении ранних патологических изменений при контузионных повреждениях спинного мозга [11]. ДВИ и ДТИ в последние годы все чаще применяются в остром периоде для оценки повреждений спинного мозга.

Цель. Исследовать возможности методов лучевой диагностики позвоночно-спинномозговой травмы у детей раннего возраста (до 3 лет).

Материал и методы. Исследование одобрено Комитетом по этике исследований НИИ неотложной детской хирургии и травматологии, протокол № 3 от 15.04.2022. За всех детей, так как их возраст не превышал 3 лет, информированное согласие на участие в исследовании после объяснения преимуществ и рисков процедуры добровольно подписали их законные представители. Критерии включения — все симптомные пациенты со спинальной травмой в остром периоде. Критериями исключения были пациенты с хронической ПСМТ или пациенты с противопоказаниями к обследованию с помощью МРТ.

В анализируемую группу вошли 20 детей от 11 мес до 3 лет с позвоночно-спинномозговой травмой. Из них у 12 выполнена рентгенография в двух проекциях.

КТ выполнена у 9 детей на 16- и 128-срезовом компьютерном томографе (Philips) с толщиной среза 0,75 мм и с максимально допустимым в зависимости от возраста и массы пациента уменьшением параметров рентгеновской трубки (кВ и мАс). Также с целью снижения дозы лучевой нагрузки использо-

валась программа iDose4. Для контрастного усиления применялся препарат Ultravist 370 (Йопромид).

МРТ выполнена у 19 детей на магнитно-резонансном томографе 3 Тл (Phillips Achieva) с использованием специализированной спинальной катушки. Стандартный протокол МРТ при ПСМТ у детей до 3 лет включал: ориентировочную быструю программу в трех проекциях (сагиттальной, аксиальной и фронтальной плоскостях); МYUR (миелографию) в коронарной и сагиттальной проекциях, сагиттальную проекцию STIR, DTI и T2-ВИ FS SE как основные; аксиальную проекцию T2-ВИ FS SE или T2-ВИ FS GE; коронарную проекцию T2-ВИ SE; 3D T1-ВИ FS GE до и после контрастного усиления — как дополнительные для детализации повреждения и уточнения топике. Поле обзора варьировалось от 280 мм до 450 мм с целью полностью визуализировать одновременно все три отдела позвоночника с краниоспинального уровня; толщина срезов — 2–3 мм. Контрастное вещество (Гадовист, Bayer) вводилось болюсно внутривенно из расчета 0,1 ммоль/кг (эквивалентно 0,1 мл/кг) со скоростью введения 3–4 мл/с.

Результаты. В данном исследовании были проанализированы данные 20 детей (11 мальчиков и 9 девочек) с ПСМТ, средний возраст — $2,31 \pm 0,57$ мес (в диапазоне от 11 мес до 2 лет 11 мес). Причинами ПСМТ являлись: у пятерых пациентов — ДТП (все дети находились в салоне автомобиля, были пристегнуты ремнем безопасности в кресле), у 15 пациентов — падение с высоты (пятерых с высоты 2-го этажа, трех — с высоты 2 метров/лестницы, двух — с высоты 5-го этажа, по одному — с высоты 3, 8-го этажа, горки, надувного шара, кузова грузовика).

При рентгенографии были диагностированы компрессионные переломы с неполным совпадением, у четырех с полным расхождением пораженных позвонков по данным МРТ, у двух (компрессионный перелом одного позвонка) было совпадение с данными МРТ, и у одного ребенка точно определен вывих позвонка. Кроме того, помимо компрессионного перелома позвонка, у одного из 12 детей, выявлена аномалия развития позвонков.

При КТ данные по вывихам и аномалиям развития позвонков полностью совпадали с результатами МРТ, а по числу и уровню компрессии позвонков совпадение было только в одном случае. Также у 6 детей КТ не выявила костно-травматических изменений позвонков.

В результате МРТ были диагностированы следующие повреждения: у 8 детей — неосложненные множественные компрессионные переломы, у 2 детей — компрессионный перелом одного позвонка и у одного — компрессионный перелом позвонка, осложненный ушибом спинного мозга, о чем свидетельствовал участок отека в зоне ушиба (рис. 1).

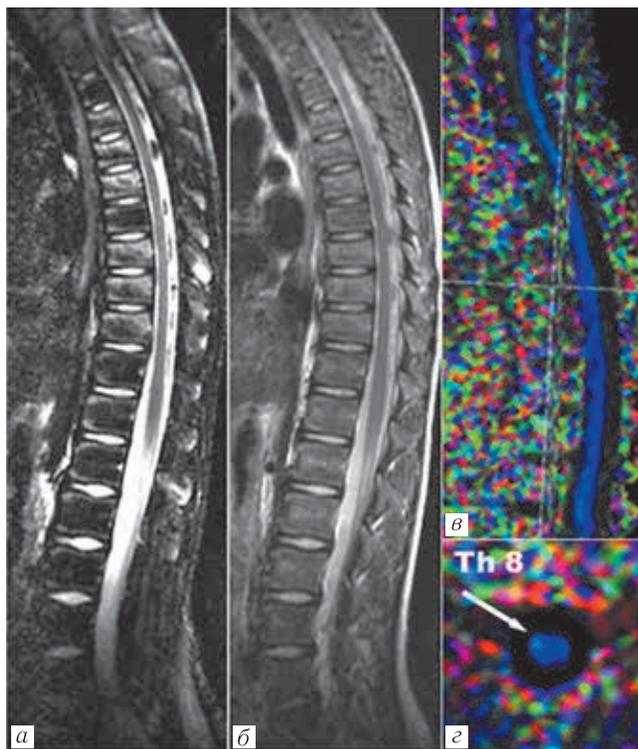


Рис. 1. Девочка, 2 года 11 мес, падение с высоты 3-го этажа. Сагиттальная проекция STIR (а), T2-ВИ (б), ДТИ (в), аксиальная проекция ДТИ (г), в — ДТИ, сагиттальная плоскость; г — ДТИ, аксиальная плоскость. МРТ грудного отдела позвоночника. Стабильные неосложненные компрессионные переломы тел позвонков Th_{IV}, Th_V, Th_{VI}, Th_{VIII}, Th_{IX}, Th_X (а, б), очаг ушиба (стрелка) правых отделов спинного мозга на уровне позвонка Th_{VIII} (г)

Fig. 1. Girl 2 years 11 months, fall from a height of third floor. Sagittal projection STIR (a), T2WI (б), DTI (в), axial projection DTI (г), DTI, sagittal plane (в); DTI, axial plane (г). MRI of the thoracic spine. Stable uncomplicated compression fractures of bodies of Th_{IV}, Th_V, Th_{VI}, Th_{VIII}, Th_{IX}, Th_X vertebrae (a, б), focus of contusion (arrow) of right parts of spinal cord at the level of Th_{VIII} vertebra (г)

У остальных пациентов с помощью МРТ выявлены: ушибы спинного мозга (n=5), гематомия (n=4, рис. 2), полный разрыв спинного мозга (n=1), частичный разрыв спинного мозга (n=1), эпидуральные гематомы (n=2, рис. 3), разрыв желтой и межостистых связок (n=5) и мышц (n=2), вывих (n=1, С2) и подвывих с разрывом фасеточных суставов (n=1).

Самым частым МР-симптомом мягкотканых повреждений являлся отек. Все анатомо-морфологические изменения, выявленные МРТ, хорошо коррелировали с клиническими проявлениями и соответствовали по оценке классификации уровня и степени тяжести травмы спинного мозга (ASIA).

Обсуждение. Частота ПСМТ у детей раннего возраста одинакова среди мальчиков и девочек, преимущественно распространены травмы верхнешейной части [2, 4]. У детей до 3 лет частота поврежде-

ния шейного отдела позвоночника составляет всего 0,4–0,7%, а переломы-вывихи грудного и поясничного отделов позвоночника — 3% [9, 13].

Достаточно высокая эластичность мягких тканей и связочного аппарата, а также анатомические особенности у детей до 8 лет, предрасполагают к частым повреждениям шейного отдела позвоночника. Это объясняется уникальной анатомией растущего шейного отдела позвоночника, более горизонтально расположенными фасетками, повышенной эластичностью связочного аппарата, а также большей массой и размерами головы по сравнению с туловищем. В шейном отделе позвоночника у детей 25–44% травм связано с разрывом связок [8, 14]. От 10,8 до 38,7% этих травм связаны с повреждением позвонков С₁ и С₂ [8, 15]. Около 11–61,9% ПСМТ возникают вторично в результате ДТП; это повреждения, которые происходят в результате несоблюдения правил использования ремней безопасности [8, 15–17].

Основным методом визуализации ПСМТ считается рентгенография. Дополнительными к ней методами являются КТ и МРТ, применение которых полезно при проблемах получения адекватных рентгеновских снимков и/или оценке состояния спинного мозга и мягких тканей. Рентгенография и КТ лучше всего помогают в диагностике и визуализации травмы краниовертебрального перехода и являются основанием для дальнейшего исследования с помощью МРТ. Диагностика ПСМТ у детей может быть затруднена не только из-за соматического состояния, но и из-за анатомо-физиологических особенностей у детей раннего возраста. В частности, при проведении рентгенографии или КТ неокостеневшие кости не визуализируются повреждения спинного мозга, также затруднена дифференциация неокостеневших костей и хрящей от переломов [18–20]. Следует учитывать, что нормально развивающиеся тела позвонков шейного отдела (особенно С_{III}), имеют переднюю анатомическую клиновидность до 3,0 мм. Синхондрозы расположены в предсказуемых областях и имеют относительно гладкие границы, в то время как у переломов края неправильной формы, и без четких границ, и они возникают в любых участках [21, 22]. Основные признаки перелома позвонков — прилежащий отек костного мозга и вторичный отек мягких тканей — лучше визуализируются при МРТ. С учетом этих признаков можно избежать диагностики синхондроза, который может имитировать перелом [23, 24]. Травмы атлантозатылочного сочленения довольно часто являются нестабильными. Во избежание осложнений их важно диагностировать как можно раньше. При этом следует помнить, что большинство травм позвоночника у детей имеют связочный характер, без костного компонента [25]. Поражение спинного мозга без повреждения костных структур встречается от 20% до 65% всех травм у детей младшего возраста с неврологическими симптомами. Из них при-



Рис. 2. Девочка, 2 года 6 мес, ДТП, ремennая травма (флексионно-дистракционный механизм травмы). МРТ грудного отдела позвоночника. Сагиттальная проекция STIR (а), T2-ВИ (б), T1-ВИ (в), ДТИ (г), аксиальная проекция T2*ВИ (д, е). МРТ-картина разрыва задней связочной группы (желтых связок, межостистых связок) на уровне ThIII–ThIV позвонков (желтая стрелка). Эпидуральная гематома по задней стенке позвоночного канала (красная стрелка), на уровне ThII–ThIV, без объемного воздействия на спинной мозг. МРТ-признаки разрыва спинного мозга на уровне верхнего края ThII (белая стрелка), отек, гематомия (желтая стрелка) на уровне ThII–ThV

Fig. 2. Girl, 2 years, 6 months, road accident, belt injury (flexion-distraction mechanism of injury). MRI of the thoracic spine. Sagittal projection STIR (a), T2WI (б), T1WI (в), DTI (г), axial projection T2*WI (д, e). MRI picture of a rupture of the posterior ligamentous group (yellow ligaments, interspinous ligaments) at the level of ThIII–ThIV vertebrae (yellow arrow). Epidural hematoma along the posterior wall of the spinal canal (red arrow), at the ThII–ThIV level, without mass impact on the spinal cord. MRI signs of spinal cord rupture at the level of the upper edge of ThII (white arrow), edema, hematomyelia (yellow arrow) at the level of ThII–ThV

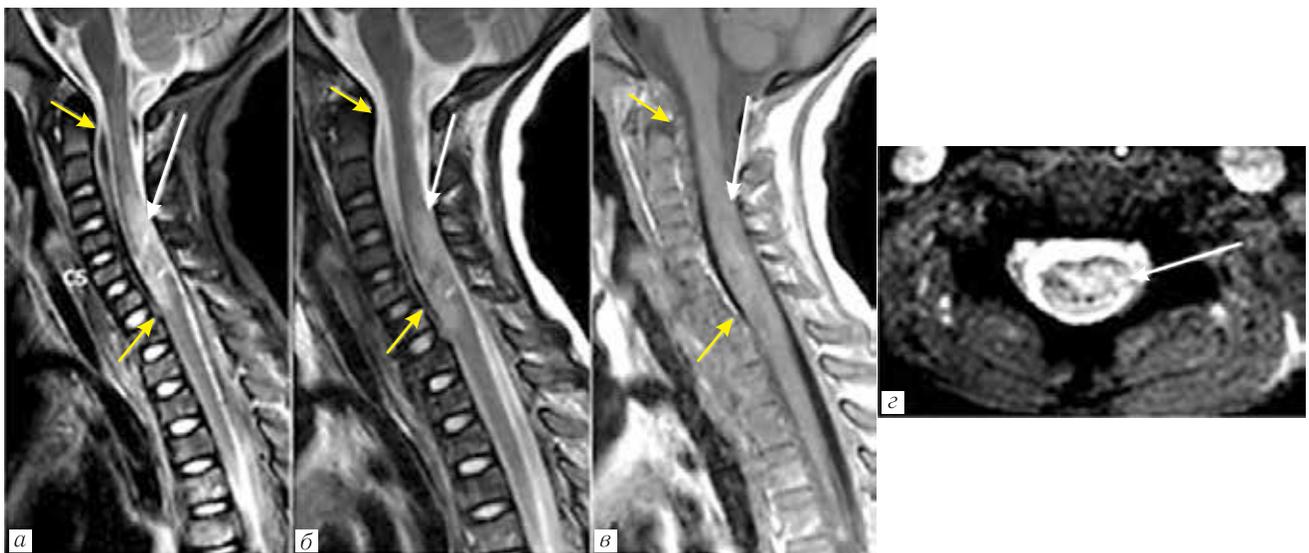


Рис. 3. Девочка, 2 года 9 мес, падение с 5-го этажа. МРТ шейного отдела позвоночника, сагиттальная проекция STIR (а), T2-ВИ (б), T1-ВИ (в), аксиальная проекция T2*ВИ (г). Осложненное нестабильное флексионно-дистракционного повреждения шейного отдела на уровне CVI–CVII, компрессионно-оскольчатый перелом CVII, подвывих CVI–CVII, неосложненные компрессионные переломы тел позвонков CV, CVI, ThI–ThV. Ушиб спинного мозга, гематомия на уровне CIV–CVII (белые стрелки). Эпидуральные гематомы (желтые стрелки)

Fig. 3. Girl, 2 years, 9 months, fall from the 5th floor. MRI of the cervical spine, sagittal projection STIR (a), T2WI (б), T1WI (в), axial projection T2*WI (г). Complicated unstable flexion-distraction injury of the cervical spine at the CVI–CVII level, compression-comminuted fracture of CVII, subluxation of CVI–CVII, uncomplicated compression fractures of the vertebral bodies CV, CVI, ThI–ThV. Spinal cord contusion, hematomyelia at the CIV–CVII level (white arrows). Epidural hematomas (yellow arrows)

мерно в 20% случаев бывает только травма спинного мозга, что называется травмой спинного мозга без радиографических повреждений — SCIWORA

[26–29]. Соответственно, требуется выполнение МРТ, которая обеспечивает детальное анатомическое изображение и признаки травмы спинного

мозга, нервных корешков (рис. 4), связок и мышц в зоне повреждения [8, 9, 20, 30].

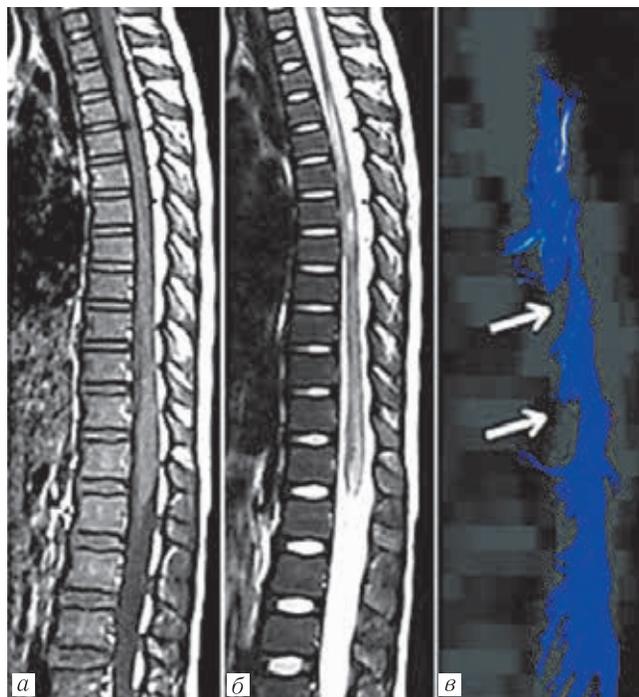


Рис. 4. Девочка, 3 года, через 3 дня после травмы.

Сагиттальная проекция, T1-ВИ (а), T2-ВИ (б), ДТИ (в). Увеличение объема, признаки отека спинного мозга на уровне Th₁–L₁ на T2-ВИ. Разрывы пучков нервных волокон на ДТИ (стрелки)

Fig. 4. Girl, 3 years old, 3 days after injury. Sagittal projection, T1WI (a), T2WI (б), DTI (в). Increased volume, signs of spinal cord edema at the Th₁–L₁ level on T2WI.

Ruptures of nerve fiber bundles on DTI (arrows)

MPT имеет решающее значение в экстренной оценке повреждения или компрессии спинного мозга для предсказания исхода ПСМТ. В настоящее время нет метода визуализации спинного мозга, способного составить конкуренцию МРТ. Увеличение объема и изменение сигнала спинного мозга из-за отека и/или кровоизлияния является признаком его повреждения и лучше всего про-

является на T2-ВИ и STIR в виде гиперинтенсивного сигнала [31–33]. Неполное повреждение спинного мозга также проявляется гиперинтенсивным сигналом на T2-ВИ и/или FLAIR, который по интенсивности и распространенности коррелирует со степенью повреждения [34, 35]. По выбору методик МРТ при подозрении на повреждение спинного мозга следует иметь в виду, что T1-ВИ SE и GRE предоставляют информацию о морфологии и анатомии спинного мозга и должны выполняться в качестве первого диагностического шага.

Геморрагические повреждения лучше выявляются с помощью T2*GRE или SWI, а отек спинного мозга — T2-ВИ SE и STIR. Кроме того, STIR позволяет идентифицировать отек костного мозга в поврежденных позвонках, даже когда повреждения не выявлены при КТ. Следует отметить, что все большую значимость приобретают DWI/DTI, которые уже в настоящее время показывают полезность в выявлении признаков ишемии спинного мозга и оценке его целостности [10, 36].

Заключение. ПСМТ редко встречаются у детей, но они потенциально неблагоприятны. Для понимания педиатрической ПСМТ необходимо учитывать ее анатомо-физиологические и механические особенности, а также оценивать, помимо потенциальных прогностических качественных результатов МРТ (интрамедуллярное кровоизлияние, очаговый и диффузный отек спинного мозга, повреждение мягких тканей, вероятный стеноз до травмы и грыжу диска), также три количественных параметра: максимальное повреждение позвоночного канала, максимальную компрессию спинного мозга и длину поражения. Отрицательный результат рентгенографии и КТ не исключает ПСМТ полностью: есть риск пропустить потенциально опасные травмы — травмы спинного мозга без радиографических повреждений, повреждения связок и мышц. При ПСМТ у детей младше 3 лет крайне важно проанализировать механизм получения травмы и рекомендуется провести визуализацию независимо от времени, прошедшего с момента травмы.

Сведения об авторах:

Ахадов Толибджон Абдуллаевич — доктор медицинских наук, профессор, руководитель отдела лучевых методов диагностики государственного бюджетного учреждения здравоохранения города Москвы «Научно-исследовательский институт неотложной детской хирургии и травматологии» Департамента здравоохранения города Москвы; 119180, Москва, ул. Большая Полянка, д. 22; e-mail: akhadov@mail.ru; ORCID 0000-0002-3235-8854;

Зайцева Екатерина Сергеевна — врач-рентгенолог отдела лучевых методов диагностики государственного бюджетного учреждения здравоохранения города Москвы «Научно-исследовательский институт неотложной детской хирургии и травматологии» Департамента здравоохранения города Москвы; 119180, Москва, ул. Большая Полянка, д. 22; e-mail: katarina0594@mail.ru; ORCID 0000-0002-6124-5410;

Божко Ольга Васильевна — кандидат медицинских наук, ведущий научный сотрудник отдела лучевых методов диагностики государственного бюджетного учреждения здравоохранения города Москвы «Научно-исследовательский институт неотложной детской хирургии и травматологии» Департамента здравоохранения города Москвы; 119180, Москва, ул. Большая Полянка, д. 22; e-mail: bozhko_olga@mail.ru; ORCID 0000-0002-4709-9461;

Ублинский Максим Вадимович — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник отдела лучевых методов диагностики государственного бюджетного учреждения здравоохранения города Москвы «Научно-исследовательский институт неотложной детской хирургии и травматологии» Департамента здравоохранения города Москвы; 119180, Москва, ул. Большая Полянка, д. 22; e-mail: maxublinsk@mail.ru; ORCID 0000-0002-4627-9874;

Новоселова Ирина Наумовна — доктор медицинских наук, ведущий научный сотрудник отдела реабилитации государственного бюджетного учреждения здравоохранения города Москвы «Научно-исследовательский институт неотложной детской хирургии и травматологии» Департамента здравоохранения города Москвы; 119180, Москва, ул. Большая Полянка, д. 22; e-mail: i.n.povoselova@gmail.com; ORCID 0000-0003-2258-2913;

Мельников Илья Андреевич — кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник отдела лучевых методов диагностики государственного бюджетного учреждения здравоохранения города Москвы «Научно-исследовательский институт неотложной детской хирургии и травматологии» Департамента здравоохранения города Москвы; 119180, Москва, ул. Большая Полянка, д. 22; e-mail: iliamed@mail.ru; ORCID 0000-0002-2910-3711;

Воронкова Елена Валерьевна — научный сотрудник государственного бюджетного учреждения здравоохранения города Москвы «Научно-исследовательский институт неотложной детской хирургии и травматологии» Департамента здравоохранения города Москвы; 119180, Москва, ул. Большая Полянка, д. 22; e-mail: elena_voronkova13@mail.ru; ORCID 0000-0001-8016-0853;

Мещеряков Семен Владимирович — кандидат медицинских наук, заведующий отделением нейрохирургии государственного бюджетного учреждения здравоохранения города Москвы «Научно-исследовательский институт неотложной детской хирургии и травматологии» Департамента здравоохранения города Москвы; 119180, Москва, ул. Большая Полянка, д. 22; ORCID 0000-0003-3701-4628;

Дмитренко Дмитрий Михайлович — заведующий отделением рентгенодиагностики государственного бюджетного учреждения здравоохранения города Москвы «Научно-исследовательский институт неотложной детской хирургии и травматологии» Департамента здравоохранения города Москвы; 119180, Москва, ул. Большая Полянка, д. 22; e-mail: dmitrenich@mail.ru; ORCID 0000-0003-1260-4509;

Понина Ирина Витальевна — врач-педиатр отдела реабилитации государственного бюджетного учреждения здравоохранения города Москвы «Научно-исследовательский институт неотложной детской хирургии и травматологии» Департамента здравоохранения города Москвы; 119180, Москва, ул. Большая Полянка, д. 22; e-mail: ponina@doctor-roshal.ru; ORCID 0000-0002-0060-7895;

Хусаинова Дарья Николаевна — научный сотрудник отдела IT государственного бюджетного учреждения здравоохранения города Москвы «Научно-исследовательский институт неотложной детской хирургии и травматологии» Департамента здравоохранения города Москвы; 119180, Москва, ул. Большая Полянка, д. 22; e-mail: dsavina@yandex.ru; ORCID 0000-0002-1698-0547;

Крупина Екатерина Алексеевна — научный сотрудник отдела лучевой диагностики НИИ НДХиТ, ул. Б. Полянка, д. 22; e-mail: Krupina2002@mail.ru; ORCID 0000-0002-0009-7426.

Information about the authors:

Tolibidzhon A. Akhadov — Dr. of Sci. (Med.), professor, head of radiology department, CRIEPST, Moscow, st. Kargopolskaya 10, 301; e-mail: akhadov@mail.ru; ORCID 0000-0002-3235-8854;

Ekaterina S. Zaitseva — radiologist, radiology department, CRIEPST, Moscow, B. Polyanka, 22; e-mail: katarina0594@mail.ru; ORCID 0000-0002-6124-5410;

Olga V. Bozhko — Cand. of Sci. (Med.), leading researcher, radiologist, radiology department, CRIEPST, Moscow, B. Polyanka 22; e-mail: bozhko_olga@mail.ru; ORCID 0000-0002-4709-9461;

Maxim V. Ublinskiy — Cand. of Sci. (Med.), senior researcher, radiology department, CRIEPST, Moscow, Bolshaya Polyanka, 22, 137; e-mail: maxublinsk@mail.ru; ORCID 0000-0002-4627-9874;

Irina N. Novoselova — Dr. of Sci. (Med.), leading researcher, rehabilitation department, CRIEPST, Moscow, Bolshaya Polyanka, 22; e-mail: i.n.novoselova@gmail.com; ORCID 0000-0003-2258-2913;

Ilya A. Melnikov — Cand. of Sci. (Med.), senior researcher, radiology department, CRIEPST, Moscow, Kargopolskaya 10, 302; e-mail: iliamed@mail.ru; ORCID 0000-0002-2910-3711;

Elena V. Voronkova — researcher, CRIEPST, Moscow, B. Polyanka, 22; e-mail: elena_voronkova13@mail.ru; ORCID 0000-0001-8016-0853;

Semen V. Meshcheryakov — Cand. of Sci. (Med.), head of neurosurgery department, CRIEPST, Moscow, B. Polyanka 22; ORCID 0000-0003-3701-4628;

Dmitry M. Dmitrenko — head of X-ray department, CRIEPST, Moscow, B. Polyanka 22; e-mail: dmitrenich@mail.ru; ORCID 0000-0003-1260-4509;

Irina V. Ponina — pediatrician, rehabilitation department, CRIEPST, Moscow, Bolshaya Polyanka, 22; e-mail: ponina@doctor-roshal.ru; ORCID 0000-0002-0060-7895;

Daria N. Khusaonova — researcher of IT department, CRIEPST, Moscow, Bolshaya Polyanka 22; e-mail: dsavina@yandex.ru; ORCID 0000-0002-1698-0547;

Ekaterina A. Krupina — researcher, radiology department, CRIEPST, Moscow, Bolshaya Polyanka 22; e-mail: Krupina2002@mail.ru; ORCID 0000-0002-0009-7426.

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства, согласно международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределен следующим образом: концепция и план исследования — *Т.А. Ахадов, И.А. Мельников, И.Н. Новоселова*; сбор и математический анализ данных — *О.В. Божко, М.В. Ублинский, Е.В. Воронкова, Е.А. Крупина, Е.С. Зайцева, Д.Н. Хусаинова*; подготовка рукописи — *Т.А. Ахадов, Е.С. Зайцева, О.В. Божко, М.В. Ублинский*.

Authors' contributions. All authors confirm their authorship according to the international ICMJE criteria (all authors made substantial contributions to the conception, research, and preparation of the article, and read and approved the final version before publication). Special contribution: *TAA, IAM, INN* aided in the concept and plan of the study; *OVB, MVU, EVV, EAK, ESZ, DNKh* provided collection and mathematical analysis of data; *TAA, ESZ, OVB, MVU* preparation of the manuscript.

Потенциальный конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Disclosure: the authors declares no conflict of interest.

Соответствие принципам этики: Исследование одобрено Комитетом по этике исследований НИИ неотложной детской хирургии и травматологии, протокол № 3 от 15.04.2022. Информированное согласие получено от каждого законного представителя.

Adherence to ethical standards: The study is approved By the Research Ethics Committee of the Research Institute of Emergency Pediatric Surgery and Traumatology, Protocol No. 3 of 04/15/2022. Informed consent has been obtained from each legal representative.

Финансирование: Работа поддержана грантом Московского центра инновационных технологий в здравоохранении № 2112-9/22.

Funding: The work was supported by a grant from the Moscow Center for Innovative Technologies in Healthcare No. 2112-9/22.

Поступила/Received: 08.08.2023.

Принята к печати/Accepted: 29.11.2023.

Опубликована/Published: 29.12.2023.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Selvarajah S., Schneider E.B., Becker D., Sadowsky C., Haider A.H., Hammond E.R. The Epidemiology of Childhood and Adolescent Traumatic Spinal Cord Injury in the United States: 2007–2010 // *J. Neurotrauma*. 2014. Vol. 31, No. 18. P. 1548–1560. doi: 10.1089/neu.2014.3332.
2. Denslow E. Spinal Cord Injury in Children: Looking at Statistics and the Recovery Process // *Flint Rehab*. 2022.
3. Vogel L.C., Hickey K.J., Klaas S.J., Anderson C.J. Unique issues in pediatric spinal cord injury // *Orthop. Nurs*. 2004. Vol. 23. P. 300–308. doi: 10.1097/00006416-200409000-00004.
4. Galvin J., Scheinberg A., New P.W. A retrospective case series of pediatric spinal cord injury and disease in Victoria, Australia // *Spine (Phila Pa 1976)*. 2013. Vol. 38. E878–82. doi: 10.1097/BRS.0b013e318294e839.
5. Chen Y., Tang Y., Vogel L.C., DeVivo M.J. Causes of spinal cord injury // *Top Spinal Cord Inj. Rehabil*. 2013. Vol. 19. P. 1–8. doi: 10.1310/sci1901-1.
6. Osorio M., Reyes M.R., Massagli T.L. Pediatric Spinal Cord Injury // *Curr. Phys. Med. Rehabil. Rep*. 2014. Vol. 2. P. 158–168. doi: 10.1007/s40141-014-0054-1.
7. Mahajan P., Jaffe D.M., Olsen C.S., Leonard J.R., Nigrovic L.E., Rogers A.J., Kuppermann N., Leonard J.C. Spinal cord injury without radiographic abnormality in children imaged with magnetic resonance imaging // *J. Trauma Acute Care Surg*. 2013. Vol. 75, No. 5. P. 843–847. doi: 10.1097/TA.0b013e3182a74abd.
8. Hale A.T., Alvarado A., Bey A.K., Pruthi S., Mencil G.A., Bonfield C.M. et al. X-ray vs. CT in identifying significant C-spine injuries in the pediatric population // *Childs Nerv. Syst*. 2017. Vol. 33. P. 1977–1983. doi: 10.1007/s00381-017-3448-4.

9. Cirak B., Ziegfeld S., Knight V.M., Chang D., Avellino A.M., Paidas C.N. et al. Spinal injuries in children // *J. Pediatr. Surg.* 2004. Vol. 39. P. 607–612. doi: 10.1016/j.jpedsurg.2003.12.011.
10. Booth T.N. Cervical spine evaluation in pediatric trauma // *AJR Am. J. Roentgenol.* 2012. Vol. 198. W417–425. doi: 10.2214/AJR.11.8150.
11. Saksena S., Mohamed F.B., Middleton D.M., Krisa L., Alizadeh M., Shahrampour S. et al. Diffusion Tensor Imaging Assessment of Regional White Matter Changes in the Cervical and Thoracic Spinal Cord in Pediatric Subjects // *J. Neurotrauma.* 2019. Vol. 36, No. 6. P. 853–861. doi: 10.1089/neu.2018.5826.
12. Alkadeem R.M.D.E.A.A., El-Shafey M.H.R., Eldein A.E.M.S., Nagy H.A. Magnetic resonance diffusion tensor imaging of acute spinal cord injury in spinal trauma // *Egypt. J. Radiol. Nucl. Med.* 2021. 52. 70. doi: 10.1186/s43055-021-00450.
13. Vaccaro A.R., Zeiller S.C., Hulbert R.J., Anderson P.A., Harris M., Hedlund R. et al. The Thoracolumbar Injury Severity Score: A Proposed Treatment Algorithm // *Clinical Spine Surgery.* 2015. Vol. 18. P. 209–215.
14. Henry M.K., Zonfrillo M.R., French B., Song L., Feudtner C., Wood J.N. Hospital Variation in Cervical Spine Imaging of Young Children with Traumatic Brain Injury // *Acad. Pediatr.* 2016. Vol. 16, No. 7. P. 684–691. doi: 10.1016/j.acap.2016.01.017.
15. Powell E.C., Leonard J.R., Olsen C.S., Jaffe D.M., Anders J., Leonard J.C. Atlantoaxial Rotatory Subluxation in Children // *Pediatr. Emerg. Care.* 2017. 33, No. 2. P. 86–91. doi: 10.1097/PEC.0000000000001023.
16. Leonard J.R., Jaffe D.M., Kuppermann N., Olsen C.S., Leonard J.C., Pediatric Emergency Care Applied Research Network (PECARN) Cervical Spine Study Group et al. Cervical spine injury patterns in children // *Pediatrics.* 2014. Vol. 133. P. 1179–1188. doi: 10.1542/peds.2013-3505.
17. Browne L.R., Schwartz D.H., Ahmad F.A., Wallendorf M., Kuppermann N., Lerner E.B. et al. Interobserver Agreement In Pediatric CSI Assessment // *Academic Emergency Medicine.* 2017. Vol. 24, No. 12. P. 1501–1510. doi: 10.1111/acem.13312.
18. Schottler J., Vogel L.C., Sturm P. Spinal cord injuries in young children: a review of children injured at 5 years of age and younger // *Dev. Med. Child Neurol.* 2012. Vol. 54, No. 12. P. 1138–1143. doi: 10.1111/j.1469-8749.2012.04411.x.
19. Залетина А.В., Виссарионов С.В., Бандурашвили А.Г., Садовой М.А., Соловьева К.С., Купцова О.А. Структура повреждений позвоночника у детей в регионах Российской Федерации // *Хирургия позвоночника.* 2017. Т. 14, № 4. С. 52–60. [Zaletina A.V., Vissarionov S.V., Baidurashvili A.G., Sadova M.A., Solovyova K.S., Kuptsova O.A. Structure of spinal injuries in children in the regions of the Russian Federation. *Spine Surgery*, 2017, Vol. 14, No. 4, pp. 52–60 (In Russ.).] doi: 10.14531/ss2017.4.52-60.
20. D'Amato C. Pediatric spinal trauma: injuries in very young children // *Clin. Orthop. Relat. Res.* 2005. 432. P. 34–40.
21. Садофьева В.И. *Нормальная рентгеноанатомия костно-суставной системы у детей.* Л.: Медицина, 1990. 222 с. [Sadofeva V.I. *Normal x-ray anatomy of the osteoarticular system in children.* Leningrad: Publishing house Medicine, 1990. 222 p. (In Russ.).]
22. Adib O., Berthier E., Loisel D., Aubé C. Pediatric cervical spine in emergency: radiographic features of normal anatomy, variants and pitfalls // *Skeletal Radiol.* 2016. Vol. 45, No. 12. P. 1607–1617. doi: 10.1007/s00256-016-2481-9.
23. Sanderson S.P., Houten J.K. Fracture through the C2 synchondrosis in a young child // *Pediatr. Neurosurg.* 2002. Vol. 36, No. 5. P. 277–278. doi: 10.1159/000058434.
24. Fasseti D.R., McCall T., Brockmeyer D.L. Odontoid synchondrosis fractures in children // *Neurosurg Focus.* 2006. Vol. 20, No. 2. E7.
25. Hernandez J.A., Chupik C., Swischuk L.E. Cervical spine trauma in children under 5 years: productivity of CT // *Emerg. Radiol.* 2004. Vol. 10, No. 4. P. 176–178. doi: 10.1007/s10140-003-0320-5.
26. Pang D., Wilberger J.E. Jr. Spinal cord injury without radiographic abnormalities in children // *J. Neurosurg.* 1982. Vol. 57, No. 1. P. 114–129. doi: 10.3171/jns.1982.57.1.0114.
27. Kulkarni M.V., Bondurant F.J., Rose S.L., Narayana P.A. 1.5 tesla magnetic resonance imaging of acute spinal trauma // *Radiographics.* 1988. Vol. 8, No. 6. P. 1059–1082. doi: 10.1148/radiographics.8.6.3205929.
28. Tator C.H. *Spinal cord syndromes with physiological and anatomic correlations* // Principles of Spinal Surgery / edited by A. Menezes, V. Sonntag. New York: McGraw Hill, 1996. P. 785–799.
29. Boese C.K., Lechler P. Spinal cord injury without radiologic abnormalities in adults: a systematic review // *J. Trauma Acute Care Surg.* 2013. Vol. 75, No. 2. P. 320–330. doi: 10.1097/TA.0b013e31829243c9.
30. Smith P., Linscott L.L., Vadivelu S., Zhang B., Leach J.L. Normal Development and Measurements of the Occipital Condyle-C1 Interval in Children and Young Adults // *AJNR Am. J. Neuroradiol.* 2016. Vol. 37, No. 5. P. 952–957. doi: 10.3174/ajnr.A4543.
31. Davis P.C., Reinsner A., Hudgins P.A., Davis W.E., O'Brien M.S. Spinal injuries in children: role of MR // *AJNR Am. J. Neuroradiol.* 1993. Vol. 14, No. 3. P. 607–617.
32. Dundamadappa K., Cauley K.A. MR imaging of acute cervical spinal ligamentous and soft tissue trauma // *S. Emerg Radiol.* 2012. Vol. 19. P. 277–286. doi: 10.1007/s10140-012-1033-4.
33. Gopinathan N.R., Viswanathan V.K., Crawford A.H. Cervical Spine Evaluation in Pediatric Trauma: A Review and an Update of Current Concepts // *Indian. J. Orthop.* 2018. Vol. 52, No. 5. P. 489–500. doi: 10.4103/ortho.IJOrtho_607_17.
34. Aarabi B., Koltz M., Ibrahim D. Hyperextension cervical spine injuries and traumatic central cord syndrome // *Neurosurg. Focus.* 2008. Vol. 25, No. 5. E9. doi: 10.3171/FOC.2008.25.11.E9.
35. Miranda P., Gomez P., Alday R. Acute traumatic central cord syndrome: analysis of clinical and radiological correlations // *J. Neurosurg. Sci.* 2008. Vol. 52. P. 107–112.
36. Madroñero-Mariscal R., LópezDolado E. Pediatric SCIWORA-Type Injuries Revisited: What Should be the Most Discerning Definition of SCIWORA at the Current Days? // *Ortho Res Online J.* 2021. Vol. 8, No. 5. OPROJ. 000697.