

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2025
УДК 611.821

Ахадов Т.А., Ублинский М.В., Новосёлова И.Н., Божко О.В., Мельников И.А., Дмитренко Д.М., Понина И.В., Зайцева Е.С., Воронкова Е.В.

Магнитно-резонансная томография при повреждении спинного мозга без рентгеновских изменений позвоночника у детей

ГБУЗ города Москвы «Научно-исследовательский институт неотложной детской хирургии и травматологии — Клиника доктора Рошалья» ДЗМ, 119180, Москва, Россия

Резюме

Введение. Травма спинного мозга (СМ) без рентгеновских изменений позвоночника (spinal cord injury without radiographic abnormality, SCIWORA) встречается у детей с частотой от 6 до 19% всех травм позвоночника. Анатомо-физиологические особенности позвоночника у детей, ушибы СМ и нарушения кровоснабжения СМ являются определяющими в образовании SCIWORA. С учётом существующей связи между степенью повреждения СМ и клиническим исходом определение значимости данных магнитно-резонансной томографии (МРТ) является важным направлением диагностики SCIWORA у детей.

Цель работы: определить диагностическую значимость МРТ при SCIWORA у детей.

Материалы и методы. Проведено обследование 22 детей (13 мальчиков и 9 девочек) в возрасте 1–17 лет (средний возраст $7,5 \pm 4,5$ года) с клиническими проявлениями SCIWORA. Всем больным в остром периоде первично была выполнена компьютерная томография, затем у 9 из них — МРТ. МРТ выполнена в сроки 1–72 ч в остром периоде и 4–36 мес в позднем периоде. МРТ проводилась на томографе 3 Тл с использованием стандартного протокола для позвоночно-спинномозговой травмы, который включал МР-миелографию, T2-Dixon, 3DT2-TSE, T1-WI, SWI, диффузионно-тензорные изображения.

Результаты. По степени тяжести травмы по классификации ASIA дети с SCIWORA распределились следующим образом: 8 больных имели степень А (полная травма СМ), 6 — степень В (сенсорная и двигательная неполная). По данным МРТ у 7 больных установлено поражение шейной части СМ; у 12 — грудной; у 3 больных в травму СМ были вовлечены шейная и грудная части. Гематомиелия выявлена у 13 детей, полный разрыв — у 2, ушиб СМ — у 2, ишемия СМ — у 2. Мелкие очаги гематомиелии размером до 1/3 диаметра спинного мозга или отёк имели благоприятный прогноз и в большинстве случаев проходили в течение 3–5 нед после травмы. Анатомический перерыв СМ и/или большие очаги гематомиелии (более 1/2 диаметра спинного мозга) имели неблагоприятный прогноз, визуально проявлялись атрофией, кистозно-глиозными рубцами, у 2 больных — сирингомиелией, а ещё у 2 детей дополнительно были хронические эпидуральные гематомы.

Заключение. МРТ с высоким разрешением и чувствительностью по контрастности мягких тканей имеет большое значение для выявления места и размеров всех повреждённых структур позвоночника, включая СМ. В алгоритм выполнения МРТ при острой спинальной травме у детей должны быть включены T2- и T1-WI, в импульсной последовательности спин-эхо, STIR в сагиттальной, T2-WI в коронарной и аксиальной проекциях, 3D-SWI, диффузионные изображения. Контрастное усиление при острой спинальной травме в ряде случаев также является элементом алгоритма диагностики.

Ключевые слова: дети; магнитно-резонансная томография; спинной мозг; травма спинного мозга без рентгенологических изменений; SCIWORA

Для цитирования: Ахадов Т.А., Ублинский М.В., Новосёлова И.Н., Божко О.В., Мельников И.А., Дмитренко Д.М., Понина И.В., Зайцева Е.С., Воронкова Е.В. Магнитно-резонансная томография при повреждении спинного мозга без рентгеновских изменений позвоночника у детей. *Российский педиатрический журнал*. 2025; 28(3): 189–196. <https://doi.org/10.46563/1560-9561-2025-28-3-189-196> <https://elibrary.ru/uxfrin>

Для корреспонденции: Ублинский Максим Вадимович, вед. науч. сотр. ГБУЗ города Москвы «НИИ неотложной детской хирургии и травматологии — Клиника доктора Рошалья» ДЗМ, maхublinsk@mail.ru

Участие авторов: Ахадов Т.А., Новосёлова И.Н., Понина И.В. — концепция и дизайн исследования; Ублинский М.В., Божко О.В., Мельников И.А., Дмитренко Д.М., Зайцева Е.С. — сбор и обработка материала; Ублинский М.В., Воронкова Е.В. — статистическая обработка; Ахадов Т.А. — написание текста; Ахадов Т.А., 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 23.04.2025
Принята к печати 20.05.2025
Опубликована 27.06.2025

Tolibdzhon A. Akhadov, Maxim V. Ublinskiy, Irina N. Novoselova, Olga V. Bozhko, Ilya A. Melnikov, Dmitriy M. Dmitrenko, Irina V. Ponina, Ekaterina S. Zaitseva, Elena V. Voronkova

Magnetic resonance imaging in spinal cord injury without radiographic abnormalities in the spine in children

Clinical and Research Institute of Emergency Pediatric Surgery and Trauma — Dr. Roshal's Clinic of the Moscow Department of Health Moscow, 119180, Russian Federation

Summary

Introduction. Spinal cord (SC) injury without radiographic abnormalities, designated as SCIWORA, occurs in children with a frequency of 6 to 19% of all spinal injuries. Anatomical and physiological characteristics of children, SC contusions and impaired blood supply to the SC are decisive in the formation of SCIWORA. Given the existing connection between the degree of SC injury and clinical outcome, MRI results are an important area of SCIWORA research.

Aim: to determine role of magnetic resonance imaging in the study of SC injury with SCIWORA in children.

Material and methods. The study was performed in 22 children (13 boys and 9 girls) with clinical manifestations of SCIWORA, aged from 1 year to 17 years (mean age — 7.5 ± 4.5 years). All children in the acute period initially underwent computer tomography, then MRI in 9 of them. MRI was performed within the following timeframes: from 1 hour to 72 hours in the acute period and from 4 months to 36 months in the late period. MRI was performed on a Philips Achieva dStream 3 T scanner using the standard institute protocol for SC, which included: MR myelography, T2-Dixon, 3DT2-TSE, T1-WI, SWI, diffusion tensor images.

Results. According to the severity of injury using the ASIA classification, children with SCIWORA were distributed as follows: 8 — grade A (complete SC injury), 6 — grade B (incomplete sensory and motor). According to MRI data, damage to the cervical part of the SC was found in 7 patients; thoracic — in 12; the cervical and thoracic parts — in 3. In this case, hematomyelia was present in 13 cases, complete rupture — in 2 cases, contusion of SC — in 2, ischemia of SC — in 2. Small foci of hematomyelia up to 1/3 of the SC diameter or edema had a favorable prognosis and in most cases passed from 3 to 5 weeks after injury. Anatomical rupture of SC and/or large foci of hematomyelia (more than 1/2 of the SC diameter) had an unfavorable prognosis, visually manifested by atrophy, cystic-gliar scars, in two observations syringomyelia, and in two cases there were additionally chronic epidural hematomas.

Conclusion. High-resolution MRI with sensitivity for soft tissue contrast is of great importance for identifying the location and size of all damaged spinal structures, including the SC. The algorithm for performing MRI in acute spinal injury should include T2- and T1-WI in the SE IP, STIR in the sagittal, T2-WI in the coronal and axial projections, 3D-SWI, and diffusion images. Contrast enhancement in acute spinal injury is also an element of the algorithm in some cases.

Keywords: children; magnetic resonance imaging; spinal cord; spinal cord injury without radiographic abnormalities (SCIWORA)

For citation: Akhadov T.A., Ublinsky M.V., Novoselova I.N., Bozhko O.V., Melnikov I.A., Dmitrenko D.M., Ponina I.V., Zaitseva E.S., Voronkova E.V. Magnetic resonance imaging in spinal cord injury without radiographic abnormalities in the spine in children. *Rossiyskiy Peditricheskij Zhurnal (Russian Pediatric Journal)*. 2025; 28(3): 189–196 (in Russian). <https://doi.org/10.46563/1560-9561-2025-28-3-189-196> <https://elibrary.ru/uxfrin>

For correspondence: Maxim V. Ublinsky, a leading researcher, Scientific Research Institute of Emergency Pediatric Surgery and Traumatology — Dr. Roshal's Clinic of the Moscow Department of Health, maxublinsk@mail.ru

Contributions: Akhadov T.A., Novoselova I.N., Ponina I.V. — study concept and design; Ublinsky M.V., Bozhko O.V., Melnikov I.A., Dmitrenko D.M., Zaitseva E.S. — data collection and processing; Ublinsky M.V., Voronkova E.V. — statistical processing; Akhadov T.A. — writing the text; Akhadov T.A., Ublinsky M.V. — editing the text. All co-authors — approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article.

Information about the authors:

Akhadov T.A., <https://orcid.org/0000-0002-3235-8854>
Ublinsky M.V., <https://orcid.org/0000-0002-4627-9874>
Novoselova I.N., <https://orcid.org/0000-0003-2258-2913>
Bozhko O.V., <https://orcid.org/0000-0002-4709-9461>
Melnikov I.A., <https://orcid.org/0000-0002-2910-3711>
Dmitrenko D.M., <https://orcid.org/0000-0003-1260-4509>
Ponina I.V., <https://orcid.org/0000-0002-0060-7895>
Zaitseva E.S., <https://orcid.org/0000-0002-6949-3072>
Voronkova E.V., <https://orcid.org/0000-0001-8016-0853>

Financing. The study had no financial support.

Conflict of interest. The authors declare that there is no conflict of interest.

Received: April 23, 2025
Accepted: May 20, 2025
Published: June 27, 2025

Введение

Диагностика повреждений спинного мозга (СМ) при позвоночно-спинномозговой травме (ПСМТ) по-прежнему является актуальной проблемой.

В педиатрии сложность анализа ПСМТ определяется следующими факторами:

- высокой степенью уязвимости за счёт анатомо-физиологических особенностей позвоночника;
- относительно высокой частотой и тяжестью повреждений;

- множеством вероятных источников поражения, особенно при сочетанной травме;
- трудностями в дифференциальной диагностике по клиническим признакам;
- отсутствием простых и информативных методов диагностики.

Диагностические ошибки при диагностике компрессии СМ доходят до 45%, а при сочетанной и множественной травме — до 70% [1–4]. Чаще у детей до 10 лет повреждается верхнешейная часть СМ [5–7]. Оценка показателей пола и возраста показывает, что чаще

страдают мальчики (56%) в возрасте 8–12 лет (56,9%) и 3–7 лет (34,6%) в результате дорожно-транспортных происшествий (около 50%), занятий спортом (около 20%) и падения с высоты (до 12%) [8–10].

Травма СМ без рентгеновских изменений позвоночника (spinal cord injury without radiographic abnormality, SCIWORA), чаще встречается у детей младшего возраста и составляет 6–19% всех травм позвоночника [11, 12]. Обычно SCIWORA при магнитно-резонансной томографии (МРТ) выявляются в шейной части СМ, повреждения грудной части составляют 9,6% случаев, а поясничной части — 1,5% [11, 13]. Ушибы СМ и нарушение кровоснабжения СМ являются главными факторами в образовании SCIWORA [13, 14].

В 2013 г. С.К. Voese и Р. Lechler предложили основанную на МРТ классификацию для SCIWORA [13]:

- тип 1 — нет обнаруживаемых отклонений;
- тип 2а — экстраневральные аномалии;
- тип 2б — внутренние аномалии;
- тип 2с — экстра- и интраневральные аномалии.

Травмы верхней части СМ (С1–4) встречаются чаще, чем нижней (С5–7). SCIWORA может проявляться различными по времени симптомами полного или неполного повреждения СМ. Временной диапазон начала развития неврологических признаков у четверти детей с повреждениями СМ может варьировать от 30 мин до 4 дней после травмы, что затрудняет своевременную диагностику. С учётом существующей связи между степенью повреждения СМ и клиническим исходом определение значимости данных МРТ является важным направлением исследований SCIWORA [15].

МРТ показана в обязательном порядке в следующих случаях:

- а) отсутствие контакта с ребёнком с неясным механизмом травмы СМ;
- б) ПСМТ, заподозренная на основании данных рентгенографии или компьютерной томографии (КТ);
- в) травма СМ, диагностированная при осмотре по симптомам неврологического дефицита и отсутствии рентгеновских данных;
- г) травма СМ, выявленная по данным анамнеза при появлении даже преходящих симптомов неврологического дефицита [16].

Однако у больных с персистирующими симптомами в течение 3 сут с момента травмы визуализация должна быть выполнена как можно быстрее, независимо от дня поступления [17]. При проведении МРТ у детей с подозрением на SCIWORA в первую очередь рекомендуется получать Т1-взвешенные изображения (W1) со спин-эхо (SE) или градиентным эхо (GRE), поскольку они предоставляют информацию о морфологии и анатомии СМ. Далее следует исключить геморрагические повреждения, которые лучше выявляются с помощью T2*-W1 GRE или изображений, взвешенных по магнитной восприимчивости (SWI), а отёк спинного мозга лучше визуализируется на T2 W1 SE и изображениях, полученных с помощью инверсии–восстановления спинного эха (STIR). Кроме того, STIR позволяет идентифицировать отёк костного мозга в повреждённых позвонках даже в тех случаях, когда повреждения не выявлены при КТ. В последние годы всё большую значимость приобретают диффузионно-взвешенные (DWI)

и диффузионно-тензорные изображения (DTI), которые могут не только определять местоположение и тяжесть повреждений, но лучше визуализируют микроструктуру и выявляют признаки ишемии СМ, чем стандартные последовательности МРТ. Они обладают большим потенциалом для обеспечения объективной клинической и функциональной оценки прогноза, восстановления и эффективности лечения [18–20].

Цель работы: определить диагностическую значимость МРТ при SCIWORA у детей.

Материалы и методы

Проанализированы данные 22 детей (13 мальчиков и 9 девочек) с ПСМТ в возрасте от 1 года до 17 лет (средний возраст — $7,5 \pm 4,5$ года), у которых выявлена SCIWORA. Родители несовершеннолетних детей предоставили письменное согласие на протокол обследования, утверждённый локальным этическим комитетом. Всем детям в остром периоде первично была выполнена КТ, затем 9 из них — МРТ. МРТ выполнена в сроки 1–72 ч в остром периоде и 4–36 мес в позднем периоде.

Все исследования, в том числе с контрастным усилением, проведены на томографе 3,0 Тл («Phillips Achieva dStream») с использованием стандартного протокола для ПСМТ, который включал:

- 1) быстрые толстосрезовые сканы в 3 взаимно перпендикулярных плоскостях для последующей центровки анатомических и функциональных изображений;
- 2) миелографию, сагиттальные и корональные срезы;
- 3) T2-Dixon, сагиттальные срезы;
- 4) 3DT2-TSE, сагиттальные срезы с аксиальной и корональной реконструкцией;
- 5) T1-W1, корональные срезы;
- 6) SWI, аксиальные срезы (при необходимости);
- 7) диффузионно-тензорные изображения в сагиттальной проекции.

T1-W1 SE при необходимости выполняли как с использованием методики подавления жира, так и без неё; толщина среза 2–3 мм. Для улучшения качества и информативности использовали специализированную методику DTI IRIS ZOOM с уменьшенным окном поля зрения в сагиттальной проекции. Параметры сканирования DTI IRIS ZOOM: TR = 3000 мс, TE = 54 мс, фактор ускорения EPI = 21, размер вокселя = $2,2 \times 2,2 \times 2,2$ мм, поле обзора = $250 \times 110 \times 30$ мм, количество срезов = 14; b-факторы 0 и 1000, число их усреднений = 2 и 5 соответственно; число направлений применения диффузионного градиента = 6.

Анализировали параметры диффузии:

- исчисляемый коэффициент диффузии (ИКД), который определяет среднюю скорость диффузии в локальном объёме (вокселе);
- фракционная анизотропия (ФА), которая описывает степень направленности диффузии.

Синхронизация с сердечным ритмом и респираторная компенсация в данном исследовании не использовались, поскольку это увеличило бы время сбора данных, что нежелательно при визуализации у этих больных. Для исследования шейного отдела применяли 15-канальную приёмную катушку «Head-neck», а для грудного и поясничного отделов позвоночника — комбинацию катушек: встроенной 44-канальной «Posterior» и поверхностной 16-канальной «Anterior».

ИКД измеряли методом ручного выделения области интереса (ROI) на картах ИКД, автоматически полученных на сканере. Размер ROI равнялся наименьшему поперечному диаметру поражения. Средняя площадь поражения ROI и стандартное отклонение составляли $1,1 \pm 0,5 \text{ см}^2$. Внутривенное введение препаратов гадолиния добавляли в протокол на основании требований дифференциальной диагностики.

Сравнение параметров диффузии между исследуемыми группами проводили с использованием программного обеспечения «GraphPad Prism». Проверку данных на нормальность распределения осуществляли с помощью критерия Шапиро–Уилка. В случае нормального распределения данных применяли однофакторный дисперсионный анализ ANOVA для определения значимых различий между группами и тест Тьюки для попарного межгруппового сравнения. В случае ненормального распределения данных — критерий Краскала–Уоллиса и тест Данна. Критерий считали значимым при $p < 0,05$.

Результаты

У больных с SCIWORA на момент поступления в стационар, помимо инструментального исследования

(МРТ), были проведены обзор и анализ медицинских карт и изображений, в том числе ретроспективный, когда ПСМТ наблюдалась в анамнезе. Критериями включения в исследование было наличие спинальных неврологических нарушений в срок не менее 3 мес до травмы.

Самым распространённым механизмом травмы были дорожно-транспортные происшествия (ДТП) — 14 (63,6%) пациентов, затем спортивные травмы — 4 (18,2%) и падения с высоты — 4 (18,2%). Все больные до МРТ прошли полное клинико-неврологическое обследование и КТ. По степени тяжести травмы по классификации AISA дети с SCIWORA распределились следующим образом: 8 больных класса А (полное повреждение СМ), 6 больных класса В (неполное повреждение СМ). Анализ клинической симптоматики показал, что у всех пациентов при поступлении в остром периоде или в анамнезе (отдалённый период) были неврологические нарушения. Проявления неврологических нарушений зависели от тяжести травмы СМ — от минимальных в виде преходящих парестезий, онемения, анестезии или гипостезии до крайне тяжёлых: нижнего вялого/спастического парализа, тетрапареза, нарушения сухожильных, периостальных, анального рефлексов и функций тазовых органов.

По данным рентгенографии и КТ, у 17 из 22 больных патологических изменений в позвоночнике не выявлено; у 3 были диагностированы компрессионные переломы, у 2 — оскольчатые переломы и разрывы связок, но топически совпадающих повреждений СМ не было выявлено. Важно, что в последующем периоде (в пределах 3–6 мес и позднее) у этих 5 больных с помощью МРТ были диагностированы изменения СМ, расположенные в других топических участках.

По данным МРТ установлено поражение шейной части СМ у 7 больных; грудной — у 12; у 3 пациентов в травму СМ были вовлечены шейная и грудная части. При этом гематомиелия была определена у 13 детей (рис. 1), полный разрыв — у 2 (рис. 2), ушиб СМ — у 2 (рис. 3), ишемия СМ — у 2 (рис. 4).

Мелкие очаги гематомиелии размером до 1/3 диаметра СМ или отёк имели благоприятный прогноз и в большинстве случаев проходили в период от 3 до 5 нед после травмы. Анатомический перерыв СМ и/или большие очаги гематомиелии (более 1/2 диаметра СМ) имели неблагоприятный прогноз, визуально проявлялись атрофией, кистозно-глиозными рубцами (рис. 5), в 2 наблюдениях — сирингомиелией, в 2 случаях были хронические эпидуральные гематомы.

Методики DWI/DTI в алгоритме МРТ при ПСМТ и её последствиях использовались при наличии у больных неврологической симптоматики и при не видимых на T2ВИ, FLAIR и SWI структурных изменениях белого вещества. По данным DTI было установлено значимое увеличение ИКД и снижение ФА. У детей с посттравматической аномалией СМ с плохим исходом значения ИКД в белом веществе были существенно снижены ($69,7 \pm 13,5 \times 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}$) по сравнению с больными с хорошими исходами ($82,1 \pm 3,8 \times 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}$; $p < 0,05$). В 81,25% случаев средней и тяжёлой ПСМТ ИКД достоверно предсказал исход. По данным трак-

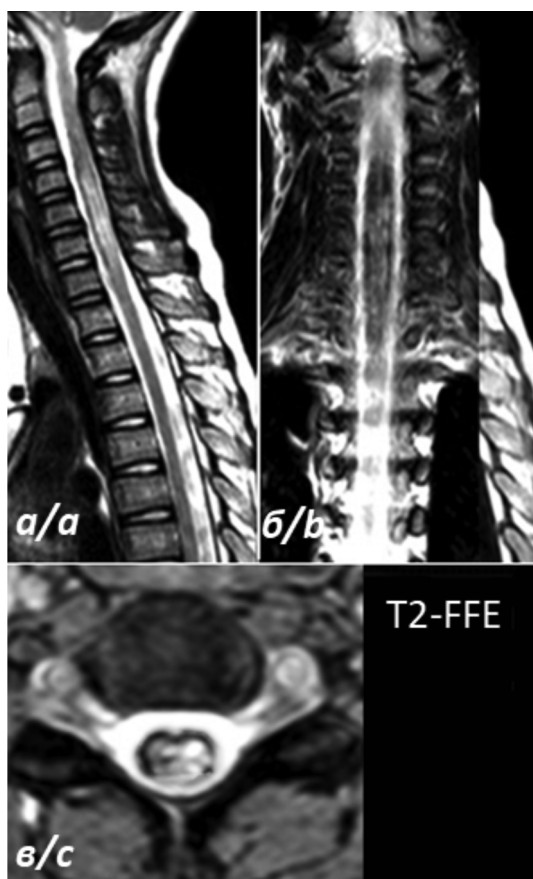


Рис. 1. Больной М., 6 лет. ДТП, хлыстообразная травма. 3-й день после травмы. Гематомиелия, отёк СМ на уровне С4–С6.

МРТ: а — сагиттальный T2-ВИ; б — фронтальный T2-ВИ; в — аксиальный T2-ВИ.

Fig. 1. Patient M., 6 years old. Road traffic accident, whiplash injury. 3 days after injury.

Hematomyelia, cerebrospinal fluid edema at the level of C4–C6. MRI: а — sagittal T2-WI; б — frontal T2-WI; в — axial T2-WI.

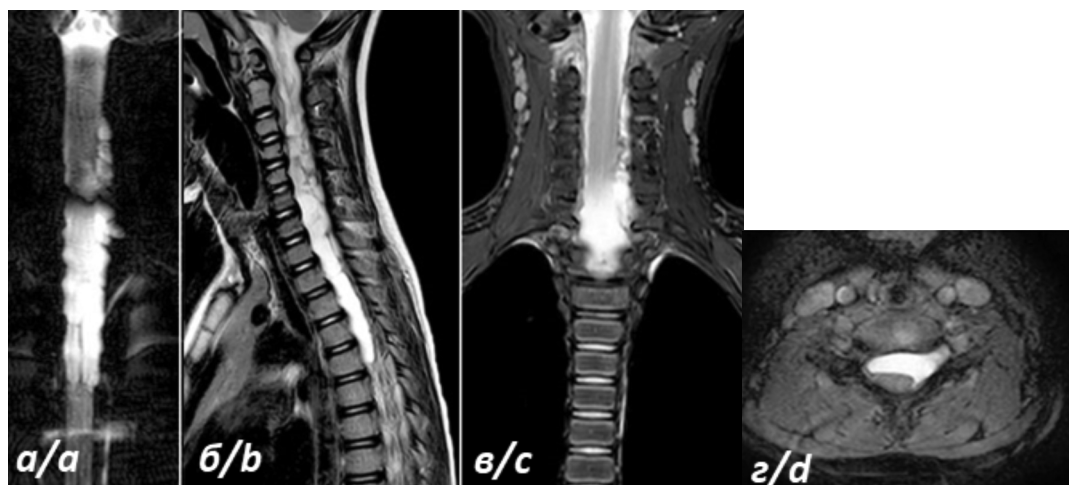


Рис. 2. Больной Д., 5 лет. ДТП, хлыстообразная травма, 24 ч после травмы. Разрыв СМ с отрывом корешков (SCIWORA 2с — экстра-невральные и интраневральные аномалии).

MPT: *a* — фронтальная МР-миелография; *б* — сагиттальный T2-WI; *в* — фронтальный T2-WI; *г* — аксиальный T2-WI.

Fig. 2. Patient D. 5 years old, road traffic accident, whiplash injury, 24 hours after injury. Rupture of the SC with root avulsion (SCIWORA 2c — extraneural and intraneural anomalies).

MRI: *a* — frontal MR myelography; *b* — sagittal T2-WI; *c* — frontal T2-WI; *d* — axial T2-WI.

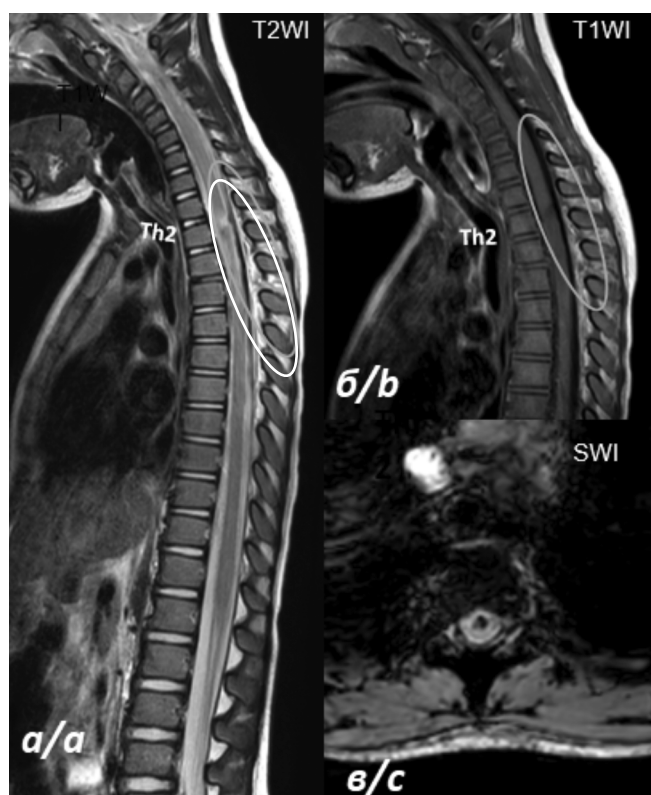


Рис. 3. Больной Д., 3 года. ДТП, 3 дня после травмы. Отёк СМ на уровне Th2–Th5, гемatomyелия, эпидуральная гематома в задних отделах позвоночного канала (овал).

MPT: *a* — сагиттальный T2-WI; *б* — сагиттальный T1-WI; *в* — аксиальный SWI.

Fig. 3. Patient D. 3 yr. Traffic accident, 3 days after injury. Edema of the SC at the level of Th2–Th5, hematomyelia, epidural hematoma in the posterior parts of the spinal canal (oval).

MRI: *a* — sagittal T2-WI; *b* — sagittal T1-WI; *c* — axial SWI.

тографии, кроме видимого обеднения трактов, была установлена устойчивая корреляция значений ФА с исходной оценкой по шкале AISA при выписке больных.

Обсуждение

Методом выбора при диагностике как изолированной ПСМТ, так и сочетанной или множественной травмы является КТ. Поскольку выбор тактики лечения ПСМТ зависит от точного определения анатомо-функциональных изменений всего позвоночника, детям в остром периоде по возможности следует выполнять МРТ. Высокое разрешение и чувствительность данного метода к контрастности мягких тканей имеют большое значение для выявления возможных структурных повреждений позвоночника и СМ [21–23].

При ПСМТ чаще всего причиной SCIWORA является интрамедуллярное повреждение СМ, кроме гемatomyелии, это может быть ушиб СМ, эпи- или субдуральная гематома, разрыв межпозвоночного диска и/или связок, ишемия СМ. В клинической картине SCIWORA может наблюдаться широкий спектр неврологических нарушений. Раннее выявление больных с неблагоприятным прогнозом восстановления позволит им получить более интенсивную реабилитационную помощь. Признётся бесспорное диагностическое и прогностическое значение МРТ у больных с ПСМТ, но также существует мнение, что тяжесть как начальных клинических проявлений, так и результатов МРТ не коррелирует с последующим клиническим течением [3, 12, 24]. Однако тот факт, что интрамедуллярное кровоизлияние представляет собой особо значимый фактор риска неблагоприятного исхода, признаётся всеми специалистами [25–27]. Нами доказано, что у детей в остром периоде ПСМТ одним из самых значимых предикторов неврологического исхода является степень и протяжённость отёка СМ [28–31].

У части больных со SCIWORA наблюдается отсроченное начало клинических проявлений — до 4 дней после травмы [12, 13, 26]. При этом неврологические нарушения имелись у больных при поступлении в остром периоде или в анамнезе и были постоянными к моменту проведения МРТ в пределах от 12 ч до 3 дней после травмы. У 2 детей был отмечен её регресс к моменту



Рис. 4. Больной М., 9 лет. ДТП, ременная травма. 18 ч после травмы. Участки ишемии СМ на уровне Th11, L1 (стрелки).

МРТ: *a* — сагиттальный T2-WI; *б* — аксиальный T2-WI; *в* — аксиальный DWI.

Fig. 4. Patient M. 9 years old. Traffic accident, belt injury. 18 hours after injury. Areas of CM ischemia at the level of Th11, L1 (arrows).

MRI: *a* — sagittal T2-WI; *b* — axial T2-WI; *c* — axial DWI.

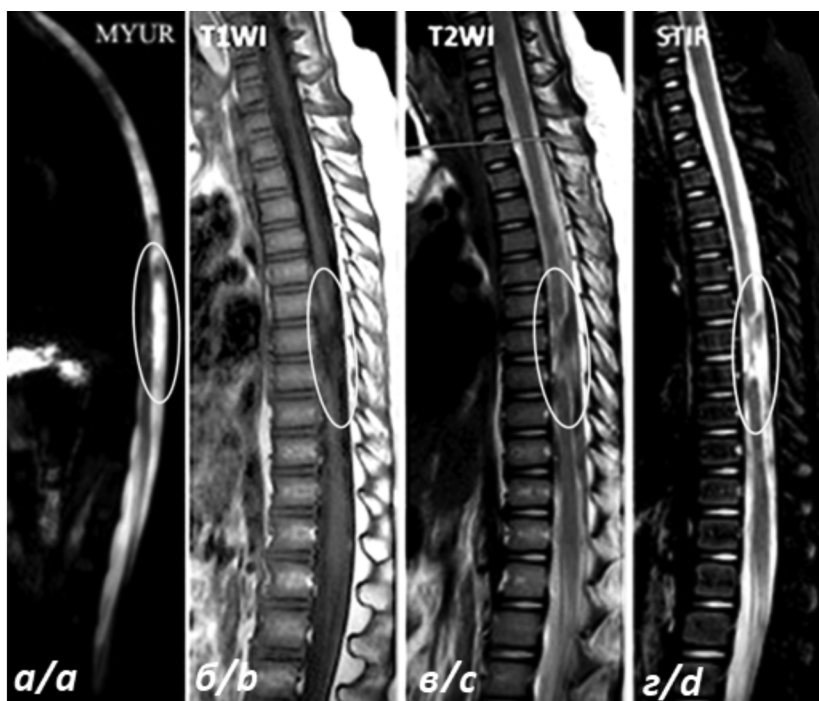


Рис. 5. Больной М., 6 лет. Последствия травмы СМ, 96-е сутки после травмы. Кистозно-глиальные атрофические изменения спинного мозга на уровне Th7–Th8 (овал).

МРТ: *a* — сагиттальная МР-миелография; *б* — сагиттальный T1-WI; *в* — сагиттальный T2-WI; *г* — сагиттальный STIR.

Fig. 5. Patient M., 6 years old, 96 days after injury. Consequences of the spinal cord injury. Cystic-gliatic atrophic changes in the spinal cord at the level of Th7–Th8 (oval).

MRI: *a* — sagittal MR myelography; *b* — sagittal T1-WI; *c* — sagittal T2-WI; *d* — sagittal STIR.

выписки. Следует особо отметить, что больные с ПСМТ, имеющие в анамнезе транзиторные неврологические симптомы, которые исчезли к моменту первичного осмотра, могут иметь серьёзное повреждение СМ и/или позвоночника, несмотря на качественно проведённый физикальный осмотр и нормальные данные рентгенографии и/или КТ позвоночника [14, 26, 27, 32].

При острой ПСМТ алгоритм МРТ строится так, чтобы были получены T2- и T1ВИ в импульсной последовательности спин-эхо, импульсной последовательности STIR в сагиттальной проекции, T2ВИ в коронарной и аксиальной проекциях. Контрастное усиление при острой травме из-за тяжести состояния больных используется редко [2, 12, 29, 30]. В нашей работе был дополнитель-

но включён в алгоритм протокол T2*ВИ, или SWI для лучшей визуализации мелких кровоизлияний, что повышает качество оценки состояния СМ и облегчает дифференциальную диагностику.

В последнее время значительно возросла частота применения методик DWI/DTI, поскольку была доказана их потенциальная полезность в улучшении и расширении диагностики состояния СМ, особенно в случаях SCIWORA. Эти методики позволяют выявлять самые ранние изменения, которые часто остаются незаметными при анализе стандартных изображений [27, 30–32]. Благодаря использованию данных методов удаётся оценить нарушения миелинизации белого вещества и целостность проводящих путей. Значения ФА помогают предсказать исход различной степени повреждения СМ [33–35]. Признаки валлеровской дегенерации — уменьшенные значения ФА как выше, так и ниже уровня травмы — обнаруживаются даже при отсутствии изменения МР-сигнала СМ на стандартных изображениях. Существуют чётко определённые перспективы использования DTI в качестве биомаркеров для количественного анализа целостности аксонов и получения значимой прогностической информации [36, 37].

Заключение

Выбор лечения при ПСМТ у детей зависит от достоверной диагностики анатомо-функциональных изменений всего позвоночника. Детям с острой ПСМТ рекомендовано выполнение МРТ, которая играет значимую роль в ранней диагностике и лечении SCIWORA. МРТ с высоким разрешением и чувствительностью по контрастности мягких тканей имеет большое значение для выявления места и размеров всех повреждений структур позвоночника, включая СМ. В стандартный алгоритм МРТ при острой ПСМТ у детей должно быть включено получение DWI и DTI СМ. При необходимости контрастное усиление при острой спинальной травме может играть важную роль в диагностическом алгоритме. Использование современных высокотехнологичных методов МРТ значительно расширяет возможности диагностики, лечения и реабилитации детей при ПСМТ.

Литература

(п.п. 2–37 см. References)

1. 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>

References

- Zaletina A.V., Vissarionov S.V., Baindurashvili A.G., Sadovoy M.A., Solovyova K.S., Kupцова O.A. Structure of spinal injuries in children in the regions of the Russian Federation. *Khirurgiya pozvonochnika*. 2017; 14(4): 52–60. <https://doi.org/10.14531/ss2017.4.52-60> (in Russian)
- Daffner R.H., Hackney D.B. ACR Appropriateness Criteria on suspected spine trauma. *J. Am. Coll. Radiol.* 2007; 4(11): 762–75. <https://doi.org/10.1016/j.jacr.2007.08.006>
- Miyajima F., Furlan J.C., Aarabi B., Arnold P.M., Fehlings M.G. Acute cervical traumatic spinal cord injury: MR imaging findings correlated with neurologic outcome – prospective study with 100 consecutive patients. *J. Radiology*. 2007; 243(3): 820–7. <https://doi.org/10.1148/radiol.2433060583>
- Mallory A., Stammen J., Zhu M. Cervical and thoracic spine injury in pediatric motor vehicle crash passengers. *Traffic Inj. Prev.* 2019; 20(1): 84–92. <https://doi.org/10.1080/15389588.2018.1529412>
- 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; 38(14): E878–82. <https://doi.org/10.1097/BRS.0b013e318294e839>
- Chen Y., Tang Y., Vogel L.C., DeVivo M.J. Causes of spinal cord injury. *Top. Spinal. Cord. Inj. Rehabil.* 2013; 19(1): 1–8. <https://doi.org/10.1310/sci1901-1>
- Parent S., Mac-Thiong J.M., Roy-Beaudry M., Sosa J.F., Labelle H. Spinal cord injury in the pediatric population: a systematic review of the literature. *J. Neurotrauma*. 2011; 28(8): 1515–24. <https://doi.org/10.1089/neu.2009.1153>
- 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; 31(18): 1548–60. <https://doi.org/10.1089/neu.2014.3332>
- Denslow E. Spinal cord injury in children: looking at statistics & the recovery process. *FlintRehab*; 2022.
- Knox J. Epidemiology of spinal cord injury without radiographic abnormality in children: a nationwide perspective. *J. Child. Orthop.* 2016; 10(3): 255–60. <https://doi.org/10.1007/s11832-016-0740-x>
- Pang D., Wilberger J.E. Spinal cord injury without radiographic abnormalities in children. *J. Neurosurg.* 1982; 57(1): 114–29. <https://doi.org/10.3171/jns.1982.57.1.0114>
- Szwedowski D., Walecki J. Spinal cord injury without radiographic abnormality (SCIWORA) – clinical and radiological aspects. *Pol. J. Radiol.* 2014; 79: 461–4. <https://doi.org/10.12659/PJR.890944>
- Tator C.H. Spinal cord syndromes with physiological and anatomic correlations: In: Menezes A., Sonntag V., ed. *Principles of Spinal Surgery*. New York: McGraw Hill; 1996: 785–99.
- Boese C.K., Lechler P. Spinal cord injury without radiologic abnormalities in adults: a systematic review. *J. Trauma Acute Care Surg.* 2013; 75(2): 320–30. <https://doi.org/10.1097/TA.0b013e31829243c9>
- Leonard J.C., Browne L.R., Ahmad F.A., Schwartz H., Wallendorf M., Leonard J.R., et al. Cervical spine injury risk factors in children with blunt trauma. *Pediatrics*. 2019; 144(1): e20183221. <https://doi.org/10.1542/peds.2018-3221>
- Flynn J.M., Closkey R.F., Mahboubi S., Dormans J.P. Role of magnetic resonance imaging in the assessment of pediatric cervical spine injuries. *J. Pediatr. Orthop.* 2002; 22: 573–7.
- Watts E. *Pediatric spinal cord injury*. Spine – Orthobullets; 2022.
- Kaushal M., Shabani S., Budde M., Kurpad S. Diffusion tensor imaging in acute spinal cord injury: a review of animal and human studies. *J. Neurotrauma*. 2019; 36(15): 2279–86. <https://doi.org/10.1089/neu.2019.6379>
- Zaninovich O.A., Avila M.J., Kay M., Becker J.L., Hurlbert R.J., Martirosyan N.L. The role of diffusion tensor imaging in the diagnosis, prognosis, and assessment of recovery and treatment of spinal cord injury: a systematic review. *Neurosurg. Focus*. 2019; 46(3): E7. <https://doi.org/10.3171/2019.1.Focus18591>
- Martin Noguero T., Barousse R., Amrhein T.J., Royuela-Del-Val J., Montesinos P., Luna A. Optimizing diffusion-tensor imaging acquisition for spinal cord assessment: physical basis and technical adjustments. *Radiographics*. 2020; 40(2): 403–27. <https://doi.org/10.1148/rg.2020190058>
- Buckland A.J., Bressan S., Jowett H., Johnson M.B., Teague W.J. Heterogeneity in cervical spine assessment in paediatric trauma: A survey of physicians' knowledge and application at a paediatric major trauma centre. *Emerg. Med. Australas.* 2016; 28(5): 569–74. <https://doi.org/10.1111/1742-6723.12650>
- Ten Brinke J.G., Slinger G., Slaar A., Saltzherr T.P., Hogervorst M., Goslings J.C. Increased and unjustified CT usage in paediatric C-spine clearance in a level 2 trauma centre. *Eur. J. Trauma Emerg. Surg.* 2021; 47(3): 781–9. <https://doi.org/10.1007/s00068-020-01520-z>
- Kononov N., Peev N., Zileli M., Sharif S., Kaprovoy S., Timonin S. Pediatric cervical spine injuries and SCIWORA: WFNS spine committee recommendations. *Neurospine*. 2020; 17(4): 797–808. <https://doi.org/10.14245/ns.2040404.202>
- 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>

25. Como J.J., Samia H., Nemunaitis G.A., Jain V., Anderson J.S., Malangoni M.A., et al. The misapplication of the term spinal cord injury without radiographic abnormality (SCIWORA) in adults. *J. Trauma Acute Care Surg.* 2012; 73(5): 1261–6. <https://doi.org/10.1097/TA.0b013e318265cd8c>
26. Mulcahey M.J., Samdani A.F., Gaughan J.P., Barakat N., Faro S., Shah P., et al. Diagnostic accuracy of diffusion tensor imaging for pediatric cervical spinal cord injury. *Spinal Cord.* 2013; 51(7): 532–7. <https://doi.org/10.1038/sc.2013.36>
27. Alshorman J.A.S., Wang Y., Zhu F., Zeng L., Chen K., Yao S., et al. Clinical diagnosis and treatment of spinal cord injury without evidence of abnormality in children: a review. *Int. Surg. J.* 2020; 7(11): 3847–55. <https://doi.org/10.18203/2349-2902.isj20204437>
28. Martínez-Pérez R., Cepeda S., Paredes I., Alen J.F., Lagares A. MRI Prognostication Factors in the Setting of Cervical Spinal Cord Injury Secondary to Trauma. *World Neurosurg.* 2017; 101: 623–32. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2017.02.034>
29. Miyajima F., Furlan J.C., Aarabi B., Arnold P.M., Fehlings M.G. Acute cervical traumatic spinal cord injury: MR imaging findings correlated with neurologic outcome – prospective study with 100 consecutive patients. *Radiology.* 2007; 243: 820–7. <https://doi.org/10.1148/radiol.2433060583>
30. Boese C.K., Oppermann J., Siewe J., Eysel P., Scheyerer M.J., Lechler P. Spinal cord injury without radiologic abnormality in children: a systematic review and meta-analysis. *J. Trauma Acute Care Surg.* 2015; 78(4): 874–82. <https://doi.org/10.1097/TA.0000000000000579>
31. Szwedowski D., Walecki J. Spinal cord injury without radiographic abnormality (SCIWORA) — clinical and radiological aspects. *Pol. J. Radiol.* 2014; 79: 461–4. <https://doi.org/10.12659/PJR.890944>
32. Qi C., Xia H., Miao D., Wang X., Li Z. The influence of timing of surgery in the outcome of spinal cord injury without radiographic abnormality (SCIWORA). *J. Orthop. Surg. Res.* 2020; 15(1): 223. <https://doi.org/10.1186/s13018-020-01743-1>
33. Ducreux D., Fillard P., Facon D., Ozanne A., Lepeintre J.F., Renoux J., et al. Diffusion tensor magnetic resonance imaging and fiber tracking in spinal cord lesions: current and future indications. *Neuroimaging Clin. N. Am.* 2007; 17(1): 137–47. <https://doi.org/10.1016/j.nic.2006.11.005>
34. Rao J.S., Zhao C., Yang Z.Y., Li S.Y., Jiang T., Fan Y.B., et al. Diffusion tensor tractography of residual fibers in traumatic spinal cord injury: a pilot study. *J. Neuroradiol.* 2013; 40(3): 181–6. <https://doi.org/10.1016/j.neurad.2012.08.008>
35. Ellingson B.M., Salamon N., Hardy A.J., Holly L.T. Prediction of neurological impairment in cervical spondylotic myelopathy using a combination of diffusion MRI and proton MR spectroscopy. *PLoS One.* 2015; 10(10): e0139451. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0139451>
36. Kelley B.J., Harel N.Y., Kim C.Y., Papademetris X., Coman D., Wang X., et al. Diffusion tensor imaging as a predictor of locomotor function after experimental spinal cord injury and recovery. *J. Neurotrauma.* 2014; 31(15): 1362–73. <https://doi.org/10.1089/neu.2013.3238>
37. Mittal P., Gupta R., Mittal A., Mittal K. MRI findings in a case of spinal cord Wallerian degeneration following trauma. *Neurosciences (Riyadh).* 2016; 21(4): 372–3. <https://doi.org/10.17712/nsj.2016.4.20160278>

Сведения об авторах:

Ахадов Толибджон Абдуллаевич, доктор мед. наук, проф., руководитель отдела лучевых методов диагностики, ГБУЗ города Москвы «НИИ НДХиТ — Клиника доктора Рошалья» ДЗМ, akhadov@mail.ru; **Ублинский Максим Вадимович**, канд. биол. наук, вед. науч. сотр. отдела лучевых методов диагностики, ГБУЗ города Москвы «НИИ НДХиТ — Клиника доктора Рошалья» ДЗМ, mahublinsk@mail.ru; **Новосёлова Ирина Наумовна**, доктор мед. наук, гл. науч. сотр., ГБУЗ города Москвы «НИИ НДХиТ — Клиника доктора Рошалья» ДЗМ, i.n.novoselova@gmail.com; **Божко Ольга Васильевна**, канд. мед. наук, ст. науч. сотр., ГБУЗ города Москвы «НИИ НДХиТ — Клиника доктора Рошалья» ДЗМ, bozhko_olga@mail.ru; **Мельников Илья Андреевич**, канд. мед. наук, зав. отд-нием КТ-МРТ, ГБУЗ города Москвы «НИИ НДХиТ — Клиника доктора Рошалья» ДЗМ, ilyamed@mail.ru; **Дмитренко Дмитрий Михайлович**, зав. рентгеновским отд-нием, ГБУЗ города Москвы «НИИ НДХиТ — Клиника доктора Рошалья» ДЗМ, dmitrenich@mail.ru; **Понина Ирина Витальевна**, врач-педиатр, ГБУЗ города Москвы «НИИ НДХиТ — Клиника доктора Рошалья» ДЗМ, poninaiv@mail.ru; **Зайцева Екатерина Сергеевна**, врач-рентгенолог, ГБУЗ города Москвы «НИИ НДХиТ — Клиника доктора Рошалья» ДЗМ, katarina0594@mail.ru; **Воронкова Елена Валерьевна**, науч. сотр., ГБУЗ города Москвы «НИИ НДХиТ — Клиника доктора Рошалья» ДЗМ, elena_voronkova13@mail.ru