



# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МРТ ПРИ ОБСЛЕДОВАНИИ ПАЦИЕНТОВ С ИДИОПАТИЧЕСКИМ СКОЛИОЗОМ: СИСТЕМАТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

О.М. Сергеев, Д.М. Савин, Ю.В. Молотков, М.С. Сайфутдинов

Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии  
им. акад. Г.А. Илизарова, Курган, Россия

**Цель исследования.** Анализ частоты скрытой нейроаксиальной патологии при идиопатическом сколиозе (ИС), обоснование необходимости выполнения МРТ при ИС и определение перспективных направлений использования МРТ при обследовании пациентов с ИС.

**Материал и методы.** Обзор литературы проводили по базам данных PubMed и Google Scholar. Из 780 работ по теме исследования отобрали 65 (после удаления дубликатов и проверки на соответствие критериям включения/исключения). В результате включения в анализ 49 оригинальных исследований. Уровень доказательности — II.

**Результаты.** По данным современной литературы, основным направлением использования МРТ при ИС является поиск предикторов латентной патологии спинного мозга и краниовертебрального перехода. Частота нейроаксиальной патологии при ИС составляет 8 % для юношеского ИС и 16 % — для раннего ИС. Основными предикторами нейроаксиальной патологии являются мужской пол, ранний возраст дебюта деформации, левосторонняя грудная дуга и грудной гиперкифоз. МРТ при ИС может быть полезным дополнением к рентгенологическим методам диагностики для выявления факторов риска и изучения дегенеративных изменений позвоночника.

**Заключение.** МРТ позвоночника необходимо проводить на ранних стадиях ИС для выявления скрытой фиксации спинного мозга. При аномалии Киари I типа есть вероятность того, что ранняя нейрохирургическая операция может предотвратить развитие сколиоза. Основными признаками скрытой нейроаксиальной патологии при ИС являются раннее прогрессирование деформации позвоночника, левосторонняя грудная дуга, мужской пол и грудной кифоз более 40° по Cobb. МРТ может быть использована как эффективный неинвазивный инструмент в исследованиях, посвященных выявлению факторов риска ИС, в том числе помогающий отслеживать раннюю дегенерацию межпозвонковых дисков.

**Ключевые слова:** идиопатический сколиоз, скрытая патология спинного мозга, скрытая нейроаксиальная патология.

**Для цитирования:** Сергеев О.М., Савин Д.М., Молотков Ю.В., Сайфутдинов М.С. Использование МРТ при обследовании пациентов с идиопатическим сколиозом: систематический обзор литературы // Хирургия позвоночника. 2022. Т. 19. № 4. С. 30–39.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2022.4.30-39>.

## THE USE OF MRI IN THE STUDY OF PATIENTS WITH IDIOPATHIC SCOLIOSIS: A SYSTEMATIC REVIEW OF THE LITERATURE

O.M. Sergeenko, D.M. Savin, Yu.V. Molotkov, M.S. Saifutdinov

National Ilizarov Medical Research Centre for Orthopaedics and Traumatology, Kurgan, Russia

**Objective.** To analyze the frequency of hidden neuraxial pathology in idiopathic scoliosis (IS), to substantiate the need for MRI in IS and to identify promising areas for the use of MRI in the examination of patients with IS.

**Material and Methods.** The literature review was carried out using the PubMed and Google Scholar databases. Of the 780 papers on the research topic, 65 were selected after removing duplicates and checking for inclusion/exclusion criteria. As a result, 49 original studies were included in the analysis. Level of evidence — II.

**Results.** According to modern literature, the main direction of using MRI in idiopathic scoliosis is the search for predictors of latent pathology of the spinal cord and craniovertebral junction. The frequency of neuraxial pathology in idiopathic scoliosis is 8 % for adolescent IS and 16 % for early IS. The main predictors of neuraxial pathology are male sex, early age of deformity onset, left-sided thoracic curve and thoracic hyperkyphosis. MRI in IS may be a useful addition to radiological diagnostic methods to identify risk factors and to study degenerative changes in the spine.

**Conclusion.** MRI of the spine should be performed in the early stages of IS to detect latent spinal cord tethering. In type I Chiari anomalies, there is a possibility that early neurosurgery can prevent the development of scoliosis. The main signs of latent neuraxial pathology in IS are early progression of spinal deformity, left-sided thoracic curve, male gender and thoracic kyphosis over 40° according to Cobb. MRI can be used as an effective non-invasive tool in research aimed at identifying risk factors for IS, including helping to track early degeneration of intervertebral discs.

**Key Words:** idiopathic scoliosis, hidden spinal cord pathology, hidden neuraxial pathology.

Please cite this paper as: Sergeenko OM, Savin DM, Molotkov YuV, Saifutdinov MS. The use of MRI in the study of patients with idiopathic scoliosis: a systematic review of the literature. Hir. Pozvonoc. 2022;19(4):30–39. In Russian. DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2022.4.30-39>.

Сколиоз – это трехмерная деформация позвоночника, основным диагностическим критерием которой является величина дуги во фронтальной плоскости более 10° по Cobb. Идиопатический сколиоз (ИС) является диагнозом исключения, когда анамнез, клинические и инструментальные данные не могут достоверно указать на конкретную этиологию. Несмотря на терминологию, предполагающую отсутствие причины, идиопатический сколиоз в настоящее время считается полиэтиологическим заболеванием, вызываемым различными эпигенетическими факторами на фоне наследственной предрасположенности [1].

Скрытая, «немая» или бессимптомная нейроаксиальная патология выявляется в ряде случаев предполагаемого ИС. Наиболее распространенными являются сирингомиелия, аномалия Киари и фиксация спинного мозга [2]. Довольно редкой, но наиболее опасной патологией являются опухоли спинного мозга, которые в ряде случаев могут проявляться сколиозом без изначально видимого неврологического дефицита [3–19].

Может ли сколиоз быть вызван патологией спинного мозга и условно считаться нервно-мышечным? Можно ли считать сколиоз идиопатическим при бессимптомной эктопии миндалины мозжечка легкой степени, легкой сирингомиелии, расширенном спинно-мозговом канале или липоме терминальной нити с нормальным положением конуса спинного мозга? Может ли сирингомиелия быть вторичной по отношению к сколиозу?

Целесообразность МРТ спинного мозга при ИС у детей, особенно в подростковом возрасте, до сих пор является предметом активных обсуждений. Цель исследования – анализ частоты скрытой нейроаксиальной патологии при ИС, обоснование необходимости выполнения МРТ при ИС и определение перспективных направлений использования МРТ при обследовании пациентов с ИС.

## Материал и методы

Обзор литературы проводили по базам данных PubMed и Google

Scholar, использовали следующие запросы: idiopathic scoliosis MRI, neuroaxial pathology idiopathic scoliosis, neural axis pathology idiopathic scoliosis, spinal cord pathology idiopathic scoliosis, tumors idiopathic scoliosis, Chiari idiopathic scoliosis, tethered cord idiopathic scoliosis, syringomyelia idiopathic scoliosis. Уровень доказательности – II.

**Статистический анализ.** Статистические расчеты выполняли с использованием программного обеспечения Microsoft Excel 2010 и интегрированного в него пакета анализа данных Attestat (13.2, 16.02.2015), а также SPSS Statistics (version 21.0.0.0).

Для показателей, описываемых количественными значениями (возраст, деформация, процент коррекции, продолжительность наблюдения), проверяли характер статистического распределения собранных данных. Статистическую значимость межгрупповых различий оценивали с использованием непараметрических критериев Вилкоксона и Манна – Уитни для независимых и парных выборок при  $p < 0,05$ . Для качественных признаков рассчитывали их биномиальную пропорцию ( $D\%$ ) и ошибку биномиальной пропорции ( $md$ ) по формуле, где  $N$  – объем выборки:

$$m = \sqrt{\frac{D \cdot (1 - D)}{N}}$$

Достоверность межгрупповых различий оценивали по непараметрическому критерию  $\chi^2$  при  $p < 0,05$ .

## Результаты

В первой половине 2018 г. практически одновременно были опубликованы три обзора по проблеме латентной патологии спинного мозга при ИС. Faloon et al. [20], Heemskerk et al. [2] и Tully et al. [21] проанализировали исследования, посвященные частоте выявления нейроаксиальной патологии при ИС, и получили схожие результаты. Частота скрытой нейроаксиальной патологии колебалась от 8 % до 16 %, и авторы пришли к выводу, что всем пациентам с подозрением на ИС, несмотря на отсутствие невро-

логической симптоматики, необходимо выполнять МРТ всего спинного мозга с захватом краниовертебрального перехода.

Мы провели новый систематизированный обзор с учетом современных данных: из 780 работ отобрали 65 (после удаления дубликатов и проверки соответствия критериям включения/исключения). В результате включены в анализ только 49 оригинальных исследований, которые представили частоту обнаружения скрытой патологии спинного мозга у больных с подозрением на ИС без неврологической симптоматики, которым выполнена МРТ всего спинного мозга (табл.).

Все оригинальные исследования можно разделить на 3 группы в зависимости от возраста пациента на момент начала развития сколиоза: исследования юношеского идиопатического сколиоза AIS (Adolescent Idiopathic Scoliosis) [4, 6, 7, 12, 22–30], раннего идиопатического сколиоза в структуре EOS (Early Onset Scoliosis) [5, 8, 10, 32–39] и смешанной группы (EOS + AIS) [3, 11, 40–55]. Примечательно, что в группе AIS частота выявления нейроаксиальной патологии составила 8,18 %, в смешанной группе – 8,29 %, в группе EOS – 16,35 % ( $p < 0,001$ ). Кроме того, некоторые исследователи при анализе смешанных возрастных групп указывали, что при EOS нейроаксиальная патология выявлялась чаще, чем при AIS [2, 7, 11, 40–42, 44, 45, 47, 53].

Имеются отдельные работы, посвященные тяжелому ИС (разновозрастная группа, более 80° по Cobb) [9, 56, 57] и ИС с левосторонней грудной/правосторонней поясничной дугой (разновозрастная группа) [58, 59]: частота нейроаксиальной патологии составила 37,43 и 40,21 % соответственно (табл.). Целый ряд исследований подтверждает эти закономерности [2, 5, 7, 11, 44, 47, 58].

Дополнительными признаками скрытой нейроаксиальной патологии, помимо этого, могут быть мужской пол [2, 8, 24, 40, 44, 45, 47, 58, 60], грудной кифоз более 40° по Cobb [2, 24, 25,

Таблица

Частота патологии спинного мозга у пациентов с идиопатическим сколиозом  
(по данным литературы)

Авторы	Выявленная нейроаксиальная патология, n	Пациенты, n
<i>Пациенты смешанного возраста</i>		
Maiocco et al. [50]	2	45
Emery et al. [51]	25	100
Winter et al. [49]	4	140
Morcuende et al. [41]	11	72
Inoue et al. [42]	44	250
Saifuddin et al. [50]	9	73
Benli et al. [39]	7	104
Hooker et al. [11]	15	78
Rajasekaran et al. [51]	15	94
Oztruk et al. [44]	20	249
Diab et al. [40]	39	923
Nakahara et al. [43]	18	472
Singhal et al. [3]	20	206
Qiao et al. [45]	35	446
Zaveri et al. [31]	32	300
Ameri et al. [38]	27	271
Shen et al. [46]	2	72
Mohanty et al. [52]	25	296
Pazarlis et al. [53]	8	129
Общее количество	358 (8,29 %)	4320
<i>Пациенты с AIS</i>		
Cheng et al. [28]	14	164
Do et al. [22]	6	327
Hausmann et al. [27]	3	100
Richards et al. [25]	36	529
Unnicrishnan et al. [29]	14	235
Lee et al. [30]	15	171
Karami et al. [23]	17	143
Lee et al. [24]	24	378
Swarup et al. [6]	18	210
Scaramuzzo et al. [4]	28	140
Xu et al. [7]	68	714
De Oliveira et al. [12]	25	198
Общее количество	302 (8,18 %)	3690
<i>Пациенты с EOS</i>		
Lewonowsky et al. [32]	5	26
Evans et al. [33]	8	31
Gupta et al. [10]	6	34
Dobbs et al. [34]	10	46
Pahys et al. [37]	7	54
Koc et al. [35]	8	72
Martin et al. [36]	7	43
Zhang et al. [8]	94	504
Pereira et al. [38]	4	71
Kouri et al. [5]	13	53
Williams et al. [39]	42	314
Общее количество	204 (16,35 %)	1248

42, 44, 47], хроническая боль в спине [44], патология рефлексов [7, 43, 45, 53], вершина деформации в грудопоясничном отделе позвоночника [47] и ротация позвонков на вершине деформации [11].

## Обсуждение

При обзоре литературы выявили 5 основных направлений исследования по применению МРТ при ИС: 1) поиск предикторов скрытой нейроаксиальной патологии; 2) изучение необходимости профилактических нейрохирургических вмешательств при сочетании нейроаксиальной патологии и ИС; 3) МРТ как дополнительный метод исследования сколиоза для снижения лучевой нагрузки; 4) выявление факторов предрасполагающих/сочетающихся с развитием и прогрессированием ИС (МР-анатомия ЦНС, мышц, костей и др.); 5) исследования дегенеративных изменений позвоночника.

### Факторы риска нейроаксиальной патологии при ИС

Факторами риска наличия нейроаксиальной патологии являются мужской возраст, раннее начало развития деформации, грудной кифоз более 40° по Cobb и атипичная дуга (левосторонняя грудная и/или правосторонняя поясничная). Таким образом, если к вам обратился пациент мужского пола с подозрением на ИС и/или с ИС, развившимся в возрасте до 10 лет, с левосторонней грудной или правосторонней поясничной дугой, грудным кифозом более 40° по Cobb, то с высокой вероятностью у пациента также может иметься скрытая нейроаксиальная патология.

На наш взгляд, достаточно сложно ориентироваться на выраженность деформации, степень торсии позвонков, снижение/повышение сухожильных рефлексов как на признаки скрытой нейроаксиальной патологии, ведь МРТ следует проводить уже на ранних стадиях заболевания, поскольку при некоторых видах скрытой нейроаксиальной патологии нейрохирургическое раннее вмешательство

Окончание таблицы

Авторы	Выявленная нейроаксиальная патология, n	Пациенты, n
<i>Пациенты с тяжелым идиопатическим сколиозом</i>		
O'Brien et al. [56]	0	33
Freund et al. [9]	21	37
Zhang et al. [8]	43	101
Общее количество	64 (37,43 %)	171
<i>Пациенты с идиопатическим сколиозом и левосторонней грудной дугой</i>		
Mejia et al. [59]	2	29
Wu et al. [58]	37	68
Общее количество	39 (40,21 %)	97

AIS — adolescent idiopathic scoliosis; EOS — early onset scoliosis.

может предотвратить прогрессирование сколиоза.

*Нужно ли оперировать пациента с бессимптомной нейроаксиальной патологией перед коррекцией деформации?*

Очевидно, что при лечении сколиоза, возникшего на фоне опухоли, приоритетно лечение именно новообразования. Опухоли спинного мозга требуют особого подхода и должны лечиться до коррекции деформации.

Имеются работы, показывающие, что у части больных без неврологической симптоматики предварительная нейрохирургическая операция не требуется, коррекция деформации может быть выполнена изолированно: преимущественно при диастематомии II типа, липомах терминальной нити с нормальным уровнем конуса спинного мозга, без каких-либо симптомов [41, 49, 61].

Нейрохирургическая операция не требуется при легкой идиопатической или вторичной по отношению к сколиозу синингомиелии [3, 24, 26, 36, 37, 41, 46, 49, 51, 55, 61]. Если синингомиелия первична и протекает тяжело, то ее хирургическое лечение следует проводить до коррекции сколиоза [6, 7, 40, 51].

Наличие сопутствующей аномалии Киари I типа с синингомиелией является показанием к предварительному нейрохирургическому вмешательству перед коррекцией деформации, при этом у части пациентов отмеча-

ется уменьшение или стабилизация сколиотической дуги после операции на краниовертебральном переходе [3, 7–10, 24, 35–38, 40, 44, 46, 51, 62–66]. В то же время пациентов с аномалией Киари I без синингомиелии и без специфических симптомов некоторые хирурги оперируют до коррекции деформации, а Brockmeyer et al. [63] отметили, что у части больных сколиотическая дуга уменьшилась или стабилизировалась в течение периода наблюдения более двух лет [7, 8, 37, 40]. Тем не менее большинство авторов считают превентивную хирургию в данном случае нецелесообразной [3, 24, 26, 35, 36, 46, 49, 55, 67].

При наличии скрытой фиксации спинного мозга (диастематомии I типа, утолщенной терминальной нити или липоме терминальной нити с низким расположением конуса спинного мозга) большинство авторов рекомендует превентивное нейрохирургическое вмешательство [7, 8, 37, 40, 61]. Безопасность коррекции деформации без дефиксации спинного мозга сомнительна, так как неврологическая симптоматика синдрома фиксированного спинного мозга может проявиться в послеоперационном периоде [68], кроме того, у пациентов с бессимптомным фиксированным спинным мозгом и сколиозом после дефиксации описано уменьшение сколиоза при величине дуги менее 45° по Cobb [69].

Подходы к лечению скрытой нейроаксиальной патологии при предположительно ИС в нашей клинике такие: коррекция деформации с последующим наблюдением рекомендуется при бессимптомной аномалии Киари I типа без синингомиелии, при ненатянутой синингомиелии, диастематомии II типа, липоме терминальной нити с нормальным положением конуса спинного мозга. Предварительное нейрохирургическое вмешательство рекомендуется пациентам с аномалией Киари I типа и синингомиелией, с натянутой синингомиелией, диастематомией I типа и низко расположенным конусом спинного мозга на фоне липомы терминальной нити и утолщенной терминальной нити. Кроме того, при наличии у пациента опухоли, аномалии Киари или синингомиелии рекомендуется проводить МРТ головного мозга.

*МРТ как альтернатива рентгенографии и КТ*

КТ у детей связана с более высокой дозой ионизирующего излучения, чем у взрослых [70, 71]. С 2000-х гг. разработан и внедрен ряд методов, направленных на снижение лучевой нагрузки при сколиозе у детей: специальные настройки детской томографии, низкодозные конфигурации, EOS, сколиометр, замена КТ на МРТ и УЗИ [72–76].

В настоящее время появляется все больше работ, свидетельствующих о повышенном риске развития злокачественных опухолей после КТ у детей, в том числе у девочек с AIS [76–84]. Помимо увеличения риска развития опухолей, радиация также влияет на репродуктивную систему женщин. У девушек с AIS обнаружена корреляция между лучевой нагрузкой КТ и неудачными попытками беременности, самопроизвольными абортми и врожденными пороками развития у новорожденных [85].

Другой способ уменьшить облучение – избегать или сводить к минимуму использование интраоперационной КТ-навигации и флюорографии с С-дугой, а так же техники свободной руки для установки винтов. Послеоперационно



перационная КТ для проверки положения винтов широко распространена, но применяется далеко не во всех клиниках.

Имеется ряд работ, посвященных сравнению эффективности рентгенографии, КТ и МРТ в оценке сколиоза, а также предоперационному планированию размера и траектории винтов: описаны как положительные [86–91], так и отрицательные результаты [92, 93].

*МР-анатомия спинного мозга, краниовертебральной зоны, мышц, дисков и костей при ИС*

В дополнение к изучению генетической этиологии у больных сколиозом существует параллельное направление исследований МР-структуры тканей и анатомических структур. Наиболее популярными направлениями исследования являются следующие: асинхронный нейрокостный рост [94–96], МР-морфология краниовертебрального перехода и мозжечка [97–100], МР-морфология паравертебральных мышц [101–107], МР-ликвородинамика [108–111], морфологические изменения межпозвонковых дисков и позвонков по данным МРТ [112–117], увеличение передних отделов позвоночника по данным МРТ [118], скрытые анатомические изменения спинного мозга [119–121].

Ценность этих исследований состоит в том, что они направлены

на выявление причины развития сколиоза или причины его усугубления, а значит, потенциально могут помочь найти пути профилактики прогрессирования заболевания.

*Дегенеративные изменения позвоночника при ИС*

Доказано, что при сколиозе происходят более быстрые дегенеративные изменения тканей позвоночника и степень дегенеративных изменений коррелирует с тяжестью сколиоза. Это определили, в том числе и с помощью МРТ [122–124]. Кроме того, большая подвижность в поясничном отделе коррелирует с меньшей дегенерацией структур позвоночника и болью в пояснице, поэтому сохранение или улучшение поясничной гибкости может быть полезным для предотвращения или лечения боли в пояснице при ИС [125].

## Заключение

МРТ позвоночника, на наш взгляд, следует проводить на ранних стадиях ИС. У ряда пациентов с ИС может быть скрытая нейроаксиальная патология, а нейрохирургическое вмешательство может предотвратить прогрессирование сколиоза на ранних стадиях. К такой патологии относят аномалию Киари I типа, фиксацию спинного мозга, некоторые виды сирингомиелии и опухоли. Основными призна-

ками скрытой нейроаксиальной патологии при ИС являются раннее начало ИС, левосторонняя грудная дуга, мужской пол и грудной кифоз более 40° по Cobb.

МРТ можно использовать при планировании операции, а также в качестве эффективного неинвазивного инструмента в исследованиях, посвященных выявлению причин развития и прогрессирования ИС. Основными направлениями исследования ИС с помощью МРТ являются изучение структурных изменений мышц, костей, межпозвонковых дисков, нервной системы, сосудистого кровоснабжения, ликвородинамики как факторов, которые могут быть связаны с развитием и прогрессированием ИС, а также изучение дегенеративных изменений позвоночника при консервативном и оперативном лечении ИС.

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

*Проведение исследования одобрено локальным этическим комитетом учреждения.*

*Все авторы внесли существенный вклад в проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.*

## Литература/References

1. Горбач А.П., Сергеев О.М., Щурова Е.Н. Идиопатический сколиоз как мультифакторное заболевание: систематизированный обзор современной литературы // Хирургия позвоночника. 2022. Т. 19. № 2. С. 19–32. [Gorbach AP, Sergeenko OM, Shchurova EN. Idiopathic scoliosis as a multifactorial disease: systematic review of current literature. Hir. Pozvonoc. 2022;19(2):19–32]. DOI: 10.14531/ss2022.19-32.
2. Heemskerk JL, Kruyt MC, Colo D, Castelein RM, Kempen DHR. Prevalence and risk factors for neural axis anomalies in idiopathic scoliosis: a systematic review. Spine J. 2018;18:1261–1271. DOI: 10.1016/j.spinee.2018.02.013.
3. Singhal R, Perry DC, Prasad S, Davidson NT, Bruce CE. The use of routine preoperative magnetic resonance imaging in identifying intraspinal anomalies in patients with idiopathic scoliosis: a 10-year review. Eur Spine J. 2013;22:355–359. DOI: 10.1007/s00586-012-2538-y.
4. Scaramuzza L, Giudici F, Archetti M, Minoia L, Zagra A, Bongetta D. Clinical relevance of preoperative MRI in adolescent idiopathic scoliosis: is hydromyelia a predictive factor of intraoperative electrophysiological monitoring alterations? Clin Spine Surg. 2019;32:E183–E187. DOI: 10.1097/BSD.0000000000000820.
5. Kouri A, Herron JS, Lempert N, Oliver M, Hubbard EW, Talwalkar VR, Muchow RD, Twinski HJ. Magnetic resonance imaging in infantile idiopathic scoliosis: is universal screening necessary? Spine Deform. 2018;6:651–655. DOI: 10.1016/j.jsdp.2018.04.007.
6. Swarup I, Derman P, Sheha E, Nguyen J, Blanco J, Widmann R. Relationship between thoracic kyphosis and neural axis abnormalities in patients with adolescent idiopathic scoliosis. J Child Orthop. 2018;12:63–69. DOI: 10.1302/1863-2548.12.170163.
7. Xu W, Zhang X, Zhu Y, Zhu X, Li Z, Li D, Jia J, Chen L, Wang S, Bai Y, Li M. An analysis of clinical risk factors for adolescent scoliosis caused by spinal cord abnormalities in China: proposal for a selective whole-spine MRI examination scheme. BMC Musculoskelet Disord. 2020;21:187. DOI: 10.1186/s12891-020-3182-z.
8. Zhang W, Sha S, Xu L, Liu Z, Qiu Y, Zhu Z. The prevalence of intraspinal anomalies in infantile and juvenile patients with «presumed idiopathic» scoliosis: a MRI-

- based analysis of 504 patients. *BMC Musculoskelet Disord*. 2016;17:189. DOI: 10.1186/s12891-016-1026-7.
9. **Freund M, Hahnel S, Thomsen M, Sartor K.** Treatment planning in severe scoliosis: the role of MRI. *Neuroradiology*. 2001;43:481–484. DOI: 10.1007/s002340000420.
  10. **Gupta P, Lenke LG, Bridwell KH.** Incidence of neural axis abnormalities in infantile and juvenile patients with spinal deformity. Is a magnetic resonance image screening necessary? *Spine*. 1998;23:206–210. DOI: 10.1097/00007632-199801150-00011.
  11. **Hooker MS, Yandow SM, Fillman RR, Raney EM.** Pedicle rotation in scoliosis: a marker for occult intrathecal abnormalities. *Spine*. 2006;31:E144–E148. DOI: 10.1097/01.brs.0000201326.00208.b4.
  12. **de Oliveira RG, de Araujo AO, Gomes CR.** Magnetic resonance imaging effectiveness in adolescent idiopathic scoliosis. *Spine Deform*. 2021;9:67–73. DOI: 10.1007/s43390-020-00205-2.
  13. **Bauer BL, Bauer H, Griss P, Lutcke A, Maroske D, Mennel H D, Unsicker K.** Dumb-bell ganglioneuroma of the spine misinterpreted as progressive idiopathic scoliosis. Case report. *Arch Orthop Trauma Surg*. 1989;108:189–194. DOI: 10.1007/BF00934267.
  14. **D'Eufemia P, Properzi E, Palombaro M, Lodato V, Mellino L, Tetti M, Martini L, Persiani P.** Scoliosis secondary to ganglioneuroma: a case report and up to date literature review. *J Pediatr Orthop B*. 2014;23:322–327. DOI: 10.1097/BPB.0000000000000040.
  15. **Elnady B, Abdelgawaad AS, Elkhayat H.** Giant intrathoracic ganglioneuroma with scoliosis treated by one-stage posterior resection and scoliosis correction: a case report. *SICOT J*. 2020;6:12. DOI: 10.1051/sicotj/2020012.
  16. **Lai PL, Lui TN, Jung SM, Chen WJ.** Spinal ganglioneuroma mimicking adolescent idiopathic scoliosis. *Pediatr Neurosurg*. 2005;41:216–219. DOI: 10.1159/000086565.
  17. **Oishi M, Fujisawa H, Tsuchiya K, Nakashima Y.** Spinal cord subependymoma mimicking syringomyelia in a child: a case report. *Childs Nerv Syst*. 2021;37:2667–2671. DOI: 10.1007/s00381-020-04940-9.
  18. **Samuelsson L, Lindell D.** Scoliosis as the first sign of a cystic spinal cord lesion. *Eur Spine J*. 1995;4:284–290. DOI: 10.1007/BF00301035.
  19. **Tabibkhouei A, Sadehipour A, Fattahi A.** Thoracolumbar pilomyxoid astrocytoma concomitant with spinal scoliosis: A case report and literature review. *Surg Neurol Int*. 2019;10:235. DOI: 10.25259/SNI\_548\_2019.
  20. **Faloon M, Sahai N, Pierce TP, Dunn CJ, Sinha K, Hwang KS, Emami A.** Incidence of neuroaxial abnormalities is approximately 8 % among patients with adolescent idiopathic scoliosis: a meta-analysis. *Clin Orthop Relat Res*. 2018;476:1506–1513. DOI: 10.1007/s11999-0000000000000196.
  21. **Tully PA, Edwards BA, Mograby O, Davis HSM, Arieskola O, Magdum S, Rao P, Jayamohan J.** Should all paediatric patients with presumed idiopathic scoliosis undergo MRI screening for neuro-axial disease? *Childs Nerv Syst*. 2018;34:2173–2178. DOI: 10.1007/s00381-018-3878-7.
  22. **Do T, Frasc C, Burke S, Widmann RF, Rawlins B, Boachie-Adjiei O.** Clinical value of routine preoperative magnetic resonance imaging in adolescent idiopathic scoliosis. A prospective study of three hundred and twenty-seven patients. *J Bone Joint Surg Am*. 2001;83:577–579. DOI: 10.2106/00004623-200104000-00014.
  23. **Karami M, Sagheb S, Mazda K.** Evaluation of coronal shift as an indicator of neuroaxial abnormalities in adolescent idiopathic scoliosis: a prospective study. *Scoliosis*. 2014;9:9. DOI: 10.1186/1748-7161-9-9.
  24. **Lee CS, Hwang CJ, Kim NH, Noh HM, Lee MY, Yoon SJ, Lee DH.** Preoperative magnetic resonance imaging evaluation in patients with adolescent idiopathic scoliosis. *Asian Spine J*. 2017;11:37–43. DOI: 10.4184/asj.2017.11.1.37.
  25. **Richards BS, Sucato DJ, Johnston CE, Diab M, Sarwark JF, Lenke LG, Parent S.** Right thoracic curves in presumed adolescent idiopathic scoliosis: which clinical and radiographic findings correlate with a preoperative abnormal magnetic resonance image? *Spine*. 2010;35:1855–1860. DOI: 10.1097/BRS.0b013e3181d4f532.
  26. **Fruergaard S, Ohrt-Nissen S, Dahl B, Kaltoft N, Gehrchen M.** Neural axis abnormalities in patients with adolescent idiopathic scoliosis: is routine magnetic resonance imaging indicated irrespective of curve severity? *Neurospine*. 2019;16:339–346. DOI: 10.14245/ns.1836154.077.
  27. **Hausmann ON, Boni T, Pfirrmann CW, Curt A, Min K.** Preoperative radiological and electrophysiological evaluation in 100 adolescent idiopathic scoliosis patients. *Eur Spine J*. 2003;12:501–506. DOI: 10.1007/s00586-003-0568-1.
  28. **Cheng JC, Guo X, Sher AH, Chan YL, Metreweli C.** Correlation between curve severity, somatosensory evoked potentials, and magnetic resonance imaging in adolescent idiopathic scoliosis. *Spine*. 1999;24:1679–1684. DOI: 10.1097/00007632-199908150-00009.
  29. **Unnikrishnan R, Renjithkumar J, Menon VK.** Adolescent idiopathic scoliosis: Retrospective analysis of 235 surgically treated cases. *Indian J Orthop*. 2010;44:35–41. DOI: 10.4103/0019-5413.58604.
  30. **Lee RS, Reed DW, Saifuddin A.** The correlation between coronal balance and neuroaxial abnormalities detected on MRI in adolescent idiopathic scoliosis. *Eur Spine J*. 2012;21:1106–1110. DOI: 10.1007/s00586-012-2175-5.
  31. **Zaveri A, Divani K, Rezajooi K, Shaw M, Gibson A.** Incidence of neural axis anomalies on magnetic resonance imaging in early onset and adolescent idiopathic scoliosis patients. *Eur Spine J*. 2014;23(Suppl 1):119–120.
  32. **Lewonowski K, King JD, Nelson MD.** Routine use of magnetic resonance imaging in idiopathic scoliosis patients less than eleven years of age. *Spine*. 1992;17(6 Suppl): S109–S116. DOI: 10.1097/00007632-199206001-00008.
  33. **Evans SC, Edgar MA, Hall-Craggs MA, Powell MP, Taylor BA, Noordeen HH.** MRI of 'idiopathic' juvenile scoliosis. A prospective study. *J Bone Joint Surg Br*. 1996;78:314–317.
  34. **Dobbs MB, Lenke LG, Szymanski DA, Morcuende JA, Weinstein SL, Bridwell KH, Sponseller PD.** Prevalence of neural axis abnormalities in patients with infantile idiopathic scoliosis. *J Bone Joint Surg Am*. 2002;84:2230–2234. DOI: 10.2106/00004623-200212000-00016.
  35. **Koc T, Lam KS, Webb JK.** Are intraspinal anomalies in early onset idiopathic scoliosis as common as once thought? A two centre United Kingdom study. *Eur Spine J*. 2013;22:1250–1254. DOI: 10.1007/s00586-012-2599-y.
  36. **Martin BD, McClung A, Denning JR, Laine JC, Johnston CE.** Intrathecal anomalies in presumed infantile idiopathic scoliosis: when is MRI necessary? *Spine Deform*. 2014;2:444–447. DOI: 10.1016/j.jspd.2014.03.003.
  37. **Pahys JM, Samdani AF, Betz RR.** Intraspinal anomalies in infantile idiopathic scoliosis: prevalence and role of magnetic resonance imaging. *Spine*. 2009;34:E434–E438. DOI: 10.1097/BRS.0b013e3181a2b49f.
  38. **Pereira EAC, Oxenham M, Lam KS.** Intraspinal anomalies in early-onset idiopathic scoliosis. *Bone Joint J*. 2017;99-B:829–833. DOI: 10.1302/0301-620X.99B6.BJJ-2016-1159.R1.
  39. **Williams BA, McClung A, Blakemore LC, Shah SA, Pawelek JB, Sponseller PD, Parent S, Emans JB, Sturm PF, Yaszay B, Akbarnia BA.** MRI utilization and rates of abnormal pretreatment MRI findings in early-onset scoliosis: review of a global cohort. *Spine Deform*. 2020;8:1099–1107. DOI: 10.1007/s43390-020-00115-3.
  40. **Ameri E, Andalib A, Tari HV, Ghandhari H.** The role of routine preoperative magnetic resonance imaging in idiopathic scoliosis: a ten years review. *Asian Spine J*. 2015;9:511–516. DOI: 10.4184/asj.2015.9.4.511.
  41. **Benli IT, Uzumcugil O, Aydin E, Ates B, Gurses L, Hekimoglu B.** Magnetic resonance imaging abnormalities of neural axis in Lenke type 1 idiopathic scoliosis. *Spine*. 2006;31:1828–1833. DOI: 10.1097/01.brs.0000227256.15525.9b.

42. Diab M, Landman Z, Lubicky J, Dormans J, Erickson M, Richards BS. Use and outcome of MRI in the surgical treatment of adolescent idiopathic scoliosis. *Spine*. 2011;36:667–671. DOI: 10.1097/BRS.0b013e3181da218c.
43. Morcuende JA, Dolan LA, Vazquez JD, Jirasirakul A, Weinstein SL. A prognostic model for the presence of neurogenic lesions in atypical idiopathic scoliosis. *Spine*. 2004;29:51–58. DOI: 10.1097/01.BRS.0000105526.65485.92.
44. Inoue M, Minami S, Nakata Y, Otsuka Y, Takaso M, Kitahara H, Tokunaga M, Isebe K, Moriya H. Preoperative MRI analysis of patients with idiopathic scoliosis: a prospective study. *Spine*. 2005;30:108–114. DOI: 10.1097/01.BRS.0000149075.96242.0e.
45. Nakahara D, Yonezawa I, Kobanawa K, Sakoda J, Nojiri H, Kamano S, Okuda T, Kurosawa H. Magnetic resonance imaging evaluation of patients with idiopathic scoliosis: a prospective study of four hundred seventy-two outpatients. *Spine*. 2011;36:E482–E485. DOI: 10.1097/BRS.0b013e3181e029ed.
46. Ozturk C, Karadereler S, Ornek I, Enercan M, Ganiyusufoglu K, Hamzaoglu A. The role of routine magnetic resonance imaging in the preoperative evaluation of adolescent idiopathic scoliosis. *Int Orthop*. 2010;34:543–546. DOI: 10.1007/s00264-009-0817-y.
47. Qiao J, Zhu Z, Zhu F, Wu T, Qian B, Xu L, Qiu Y. Indication for preoperative MRI of neural axis abnormalities in patients with presumed thoracolumbar/lumbar idiopathic scoliosis. *Eur Spine J*. 2013;22:360–366. DOI: 10.1007/s00586-012-2557-8.
48. Shen J, Tan H, Chen C, Zhang J, Lin Y, Rong T, Jiao Y, Liang J, Li Z. Comparison of radiological features and clinical characteristics in scoliosis patients with Chiari I malformation and idiopathic syringomyelia: a matched study. *Spine*. 2019;44:1653–1660. DOI: 10.1097/BRS.0000000000003140.
49. Winter RB, Lonstein JE, Heithoff KB, Kirkham JA. Magnetic resonance imaging evaluation of the adolescent patient with idiopathic scoliosis before spinal instrumentation and fusion. A prospective, double-blinded study of 140 patients. *Spine*. 1997;22:855–858. DOI: 10.1097/00007632-199704150-00005.
50. Maiocco B, Deeney VF, Coulon R, Parks PF Jr. Adolescent idiopathic scoliosis and the presence of spinal cord abnormalities. Preoperative magnetic resonance imaging analysis. *Spine*. 1997;22:2537–2541. DOI: 10.1097/00007632-199711010-00014.
51. Emery E, Redondo A, Rey A. Syringomyelia and Arnold Chiari in scoliosis initially classified as idiopathic: experience with 25 patients. *Eur Spine J*. 1997;6:158–162. DOI: 10.1007/BF01301429.
52. Saifuddin A, Tucker S, Taylor BA, Noordeen MH, Lehovsky J. Prevalence and clinical significance of superficial abdominal reflex abnormalities in idiopathic scoliosis. *Eur Spine J*. 2005;14:849–853. DOI: 10.1007/s00586-004-0850-x.
53. Rajasekaran S, Kamath V, Kiran R, Shetty AP. Intraspinal anomalies in scoliosis: An MRI analysis of 177 consecutive scoliosis patients. *Indian J Orthop*. 2010;44:57–63. DOI: 10.4103/0019-5413.58607.
54. Mohanty SP, Kanhangad MP, Saifuddin S, Narayana Kurup JK. Pattern of syringomyelia in presumed idiopathic and congenital scoliosis. *Asian Spine J*. 2021;15:791–798. DOI: 10.31616/asj.2020.0216.
55. Pazarlis K, Jonsson H, Karlsson T, Schizas N. Preoperative MRI and intraoperative monitoring differentially prevent neurological sequelae in idiopathic scoliosis surgical correction, while curves >70 degrees increase the risk of neurophysiological incidences. *J Clin Med*. 2022;11:2602. DOI: 10.3390/jcm11092602.
56. O'Brien MF, Lenke LG, Bridwell KH, Blanke K, Baldus C. Preoperative spinal canal investigation in adolescent idiopathic scoliosis curves > or = 70 degrees. *Spine*. 1994;19:1606–1610. DOI: 10.1097/00007632-199407001-00009.
57. Zhang Y, Xie J, Wang Y, Bi N, Li T, Zhang J, Zhao Z, Ou H, Liu S. Intraspinal neural axis abnormalities in severe spinal deformity: a 10-year MRI review. *Eur Spine J*. 2019;28:421–425. DOI: 10.1007/s00586-018-5522-3.
58. Wu L, Qiu Y, Wang B, Zhu ZZ, Ma WW. The left thoracic curve pattern: a strong predictor for neural axis abnormalities in patients with «idiopathic» scoliosis. *Spine*. 2010;35:182–185. DOI: 10.1097/BRS.0b013e3181ba6623.
59. Mejia EA, Hennrikus WL, Schwend RM, Emans JB. A prospective evaluation of idiopathic left thoracic scoliosis with magnetic resonance imaging. *J Pediatr Orthop*. 1996;16:354–358. DOI: 10.1097/00004694-199605000-00012.
60. Белозеров В.В., Михайловский М.В. Факторы риска наличия сирингомиелии при идиопатическом сколиозе: анализ 3285 случаев и краткий обзор литературы // Хирургия позвоночника. 2020. Т. 17. № 4. С. 27–32. [Belozеров ВВ, Михайловский МВ. Risk factors for the presence of syringomyelia in idiopathic scoliosis: analysis of 3,285 cases and brief literature review. *Hir. Pozvonoc*. 2020;17(4):27–32]. DOI: 10.14531/ss2020.4.27-32.
61. Jayaswal A, Kandwal P, Goswami A, Vijayaraghavan G, Jariyal A, Upendra BN, Gupta A. Early onset scoliosis with intraspinal anomalies: management with growing rod. *Eur Spine J*. 2016;25:3301–3307. DOI: 10.1007/s00586-016-4566-5.
62. Eule JM, Erickson MA, O'Brien MF, Handler M. Chiari I malformation associated with syringomyelia and scoliosis: a twenty-year review of surgical and nonsurgical treatment in a pediatric population. *Spine*. 2002;27:1451–1455. DOI: 10.1097/00007632-200207010-00015.
63. Brockmeyer D, Gollgoly S, Smith JT. Scoliosis associated with Chiari I malformations: the effect of suboccipital decompression on scoliosis curve progression: a preliminary study. *Spine*. 2003;28:2505–2509. DOI: 10.1097/01.BRS.0000092381.05229.87.
64. Tubbs RS, Beckman J, Naftel RP, Chern JJ, Wellons JC 3rd, Rozzelle CJ, Blount JP, Oakes WJ. Institutional experience with 500 cases of surgically treated pediatric Chiari malformation Type I. *J Neurosurg Pediatr*. 2011;7:248–256. DOI: 10.3171/2010.12.PEDS10379.
65. Krieger MD., Falkinstein Y, Bowen IE, Tolo VT, McComb JG. Scoliosis and Chiari malformation Type I in children. *J Neurosurg Pediatr*. 2011;7:25–29. DOI: 10.3171/2010.10.PEDS10154.
66. Михайловский М.В., Ступак В.В., Белозеров В.В. Прогрессирующий сколиоз и сирингомиелия: особенности хирургической тактики // Хирургия позвоночника. 2016. Т. 13. № 4. С. 40–48. [Mikhaylovskiy MV, Stupak VV, Belozеров VV. Progressive scoliosis and syringomyelia: characteristics of surgical tactics. *Hir. Pozvonoc*. 2016;13(4):40–48]. DOI: 10.14531/ss2016.4.40-48.
67. O'Neill NP, Miller PE, Hresko MT, Emans JB, Karlin LI, Hedequist DJ, Snyder BD, Smith ER, Proctor MR, Glotzbecker MP. Scoliosis with Chiari I malformation without associated syringomyelia. *Spine Deform*. 2021;9:1105–1113. DOI: 10.1007/s43390-021-00286-7.
68. Lewandrowski KU, Rachlin JR, Glazer PA. Diastematomyelia presenting as progressive weakness in an adult after spinal fusion for adolescent idiopathic scoliosis. *Spine J*. 2004;4:116–119. DOI: 10.1016/j.spinee.2003.08.028.
69. Barutcuoglu M, Sencuk M, Umur AS, Mete M, Gurgun SG, Sencuk D. Scoliosis may be the first symptom of the tethered spinal cord. *Indian J Orthop*. 2016;50:80–86. DOI: 10.4103/0019-5413.173506.
70. Mettler FA Jr., Wiest PW, Locken JA, Kelsey CA. CT scanning: patterns of use and dose. *J Radiol Prot*. 2000;20:353–359. DOI: 10.1088/0952-4746/20/4/301.
71. Paterson A, Frush DP, Donnelly LF. Helical CT of the body: are settings adjusted for pediatric patients? *AJR Am J Roentgenol*. 2001;176:297–301. DOI: 10.2214/ajr.176.2.1760297.
72. McCollough CH, Bruesewitz MR, Kofler JM Jr. CT dose reduction and dose management tools: overview of available options. *Radiographics*. 2006;26:503–512. DOI: 10.1148/rg.26205138.
73. Costello JE, Cecava ND, Tucker JE, Bau JL. CT radiation dose: current controversies and dose reduction strategies. *AJR Am J Roentgenol*. 2013;201:1283–1290. DOI: 10.2214/AJR.12.9720.
74. Greenwood T J, Lopez-Costa RI, Rhoades PD, Ram rez-Giraldo JC, Starr M, Street M, Duncan J, McKinstry RC. CT dose optimization in pediatric radiology:

- a multiyear effort to preserve the benefits of imaging while reducing the risks. *Radio-graphics*. 2015;35:1539–1554. DOI: 10.1148/rg.2015140267.
75. **Shah NB, Platt SL.** ALARA: is there a cause for alarm? Reducing radiation risks from computed tomography scanning in children. *Curr Opin Pediatr*. 2008;20:243–247. DOI: 10.1097/MOP.0b013e32822faffd2.
76. **Larson AN, Schueler BA, Dubousset J.** Radiation in spine deformity: state-of-the-art reviews. *Spine Deform*. 2019;7:386–394. DOI: 10.1016/j.jspd.2019.01.003.
77. **Meulepas JM, Ronckers CM, Smets A, Nievelstein RAJ, Gradowska P, Lee C, Jahnne A, van Straten M, de Wit MY, Zonnenberg B, Klein WM, Merks JH, Visser O, van Leeuwen FE, Hauptmann M.** Radiation exposure from pediatric CT scans and subsequent cancer risk in the Netherlands. *J Natl Cancer Inst*. 2019;111:256–263. DOI: 10.1093/jnci/djy104.
78. **Pearce MS, Salotti JA, Little MP, McHugh K, Lee C, Kim KP, Howe NL, Ronckers CM, Rajaraman P, Sir Craft AW, Parker L, Berrington de González A.** Radiation exposure from CT scans in childhood and subsequent risk of leukaemia and brain tumours: a retrospective cohort study. *Lancet*. 2012;380:499–505. DOI: 10.1016/S0140-6736(12)60815-0.
79. **Mathews JD, Forsythe AV, Brady Z, Butler MW, Goergen SK, Byrnes GB, Giles GG, Wallace AB, Anderson PR, Guiver TA, McGale P, Cain TM, Dowty JG, Bickerstaffe AC, Darby SC.** Cancer risk in 680,000 people exposed to computed tomography scans in childhood or adolescence: data linkage study of 11 million Australians. *BMJ*. 2013;346:f2360. DOI: 10.1136/bmj.f2360.
80. **Miglioretti DL, Johnson E, Williams A, Greenlee RT, Weinmann S, Solberg LI, Feigelson HS, Roblin D, Flynn MJ, Vanneman N, Smith-Bindman R.** The use of computed tomography in pediatrics and the associated radiation exposure and estimated cancer risk. *JAMA Pediatr*. 2013;167:700–707. DOI: 10.1001/jamapediatrics.2013.311.
81. **Ronckers CM, Land CE, Miller JS, Stovall M, Lonstein JE, Doody MM.** Cancer mortality among women frequently exposed to radiographic examinations for spinal disorders. *Radiat Res*. 2010;174:83–90. DOI: 10.1667/RR2022.1.
82. **Doody MM, Lonstein JE, Stovall M, Hacker DG, Luckyanov N, Land CE.** Breast cancer mortality after diagnostic radiography: findings from the U.S. Scoliosis Cohort Study. *Spine*. 2000;25:2052–2063. DOI: 10.1097/00007632-200008150-00009.
83. **Simony A, Hansen EJ, Christensen SB, Carreon LY, Andersen MO.** Incidence of cancer in adolescent idiopathic scoliosis patients treated 25 years previously. *Eur Spine J*. 2016;25:3366–3370. DOI: 10.1007/s00586-016-4747-2.
84. **Levy AR, Goldberg MS, Hanley JA, Mayo NE, Poitras B.** Projecting the lifetime risk of cancer from exposure to diagnostic ionizing radiation for adolescent idiopathic scoliosis. *Health Phys*. 1994;66:621–633. DOI: 10.1097/00004032-199406000-00002.
85. **Goldberg MS, Mayo NE, Levy AR, Scott SC, Poitras B.** Adverse reproductive outcomes among women exposed to low levels of ionizing radiation from diagnostic radiography for adolescent idiopathic scoliosis. *Epidemiology*. 1998;9:271–278.
86. **Dhouib A, Tabard-Fougere A, Hanquinet S, Dayer R.** Diagnostic accuracy of MR imaging for direct visualization of lumbar pars defect in children and young adults: a systematic review and meta-analysis. *Eur Spine J*. 2018;27:1058–1066. DOI: 10.1007/s00586-017-5305-2.
87. **Lee MC, Solomito M, Patel A.** Supine magnetic resonance imaging Cobb measurements for idiopathic scoliosis are linearly related to measurements from standing plain radiographs. *Spine*. 2013;38:E656–E661. DOI: 10.1097/BRS.0b013e32828d255d.
88. **Diefenbach C, Lonner BS, Auerbach JD, Bharucha N, Dean LE.** Is radiation-free diagnostic monitoring of adolescent idiopathic scoliosis feasible using upright positional magnetic resonance imaging? *Spine*. 2013;38:576–580. DOI: 10.1097/BRS.0b013e328286b18a.
89. **Chevrefils C, Perie D, Parent S, Cheriet F.** To distinguish flexible and rigid lumbar curve from MRI texture analysis in adolescent idiopathic scoliosis: A feasibility study. *J Magn Reson Imaging*. 2018;48:178–187. DOI: 10.1002/jmri.25926.
90. **Duchaussoy T, Lacoste M, Norberciak L, Decaudain J, Vercllytte S, Budzik JF.** Preoperative assessment of idiopathic scoliosis in adolescent and young adult with three-dimensional T2-weighted spin-echo MRI. *Diagn Interv Imaging*. 2019;100:371–379. DOI: 10.1016/j.diii.2019.01.010.
91. **Shi B, Mao S, Wang Z, Lam TP, Yu FW, Ng BK, Chu WC, Zhu Z, Qiu Y, Cheng JC.** How does the supine MRI correlate with standing radiographs of different curve severity in adolescent idiopathic scoliosis? *Spine*. 2015;40:1206–1212. DOI: 10.1097/BRS.0000000000000927.
92. **Sarwahi V, Amaral T, Wendolowski S, Gecelter R, Sugarman E, Lo Y, Wang D, Thornhill B.** MRIs are less accurate tools for the most critically worrisome pedicles compared to CT scans. *Spine Deform*. 2016;4:400–406. DOI: 10.1016/j.jspd.2016.08.002.
93. **Sarlak AY, Buluc L, Sarisoy HT, Memisoglu K, Tosun B.** Placement of pedicle screws in thoracic idiopathic scoliosis: a magnetic resonance imaging analysis of screw placement relative to structures at risk. *Eur Spine J*. 2008;17:657–662. DOI: 10.1007/s00586-008-0639-4.
94. **Chu WC, Lam WW, Chan YL, Ng BK, Lam TP, Lee KM, Guo X, Cheng JC.** Relative shortening and functional tethering of spinal cord in adolescent idiopathic scoliosis: study with multiplanar reformat magnetic resonance imaging and somatosensory evoked potential. *Spine*. 2006;31:E19–E25. DOI: 10.1097/01.brs.0000193892.20764.51.
95. **Deng M, Hui SC, Yu FW, Lam TP, Qiu Y, Ng BK, Cheng JC, Chu WC.** MRI-based morphological evidence of spinal cord tethering predicts curve progression in adolescent idiopathic scoliosis. *Spine J*. 2015;15:1391–1401. DOI: 10.1016/j.spinee.2015.02.033.
96. **Lao LF, Shen JX, Chen ZG, Wang YP, Wen XS, Qiu GX.** Uncoupled neuro-osseous growth in adolescent idiopathic scoliosis? A preliminary study of 90 adolescents with whole-spine three-dimensional magnetic resonance imaging. *Eur Spine J*. 2011;20:1081–1086. DOI: 10.1007/s00586-010-1471-1.
97. **Chu WC, Man GC, Lam WW, Yeung BH, Chau WW, Ng BK, Lam TP, Lee KM, Cheng JC.** A detailed morphologic and functional magnetic resonance imaging study of the craniocervical junction in adolescent idiopathic scoliosis. *Spine*. 2007;32:1667–1674. DOI: 10.1097/BRS.0b013e32818074d539.
98. **Sun X, Qiu Y, Zhu Z, Zhu F, Wang B, Yu Y, Qian B.** Variations of the position of the cerebellar tonsil in idiopathic scoliotic adolescents with a Cobb angle >40 degrees: a magnetic resonance imaging study. *Spine*. 2007;32:1680–1686. DOI: 10.1097/BRS.0b013e32818074d3f5.
99. **Shi L, Wang D, Hui SC, Tong MC, Cheng JC, Chu WC.** Volumetric changes in cerebellar regions in adolescent idiopathic scoliosis compared with healthy controls. *Spine*. 2013;13:1904–1911. DOI: 10.1016/j.spinee.2013.06.045.
100. **Lee RK, Griffith JF, Leung JH, Chu WC, Lam TP, Ng BK, Cheng JC.** Effect of upright position on tonsillar level in adolescent idiopathic scoliosis. *Eur Radiol*. 2015;25:2397–2402. DOI: 10.1007/s00330-015-3597-3.
101. **Federau C, Kroismayr D, Dyer L, Farshad M, Pfirrmann C.** Demonstration of asymmetric muscle perfusion of the back after exercise in patients with adolescent idiopathic scoliosis using intravoxel incoherent motion (IVIM) MRI. *NMR Biomed*. 2020;33:E4194. DOI: 10.1002/nbm.4194.
102. **Jiang J, Meng Y, Jin X, Zhang C, Zhao J, Wang C, Gao R, Zhou X.** Volumetric and fatty infiltration imbalance of deep paravertebral muscles in adolescent idiopathic scoliosis. *Med Sci Monit*. 2017;23:2089–2095. DOI: 10.12659/msm.902455.
103. **Wajchenberg M, Astur N, Fernandes EA, Paredes-Gamero EJ, Luciano RP, Schmidt B, Oliveira ASB, Martins DE.** Assessment of fatty infiltration of the multifidus muscle in patients with adolescent idiopathic scoliosis through evaluation by magnetic resonance imaging compared with histological analysis: a diagnostic accuracy study. *J Pediatr Orthop B*. 2019;28:362–367. DOI: 10.1097/BPB.0000000000000578.



104. Chan YL, Cheng JC, Guo X, King AD, Griffith JF, Metreweli C. MRI evaluation of multifidus muscles in adolescent idiopathic scoliosis. *Pediatr Radiol*. 1999;29:360–363. DOI: 10.1007/s002470050607.
105. Berry DB, Grant CD, Farnsworth CL, Englund EK, Newton PO, Shahidi B. The influence of 3D curve severity on paraspinal muscle fatty infiltration in patients with adolescent idiopathic scoliosis. *Spine Deform*. 2021;9:987–995. DOI: 10.1007/s43390-021-00318-2.
106. Watanabe K, Ohashi M, Hirano T, Katsumi K, Shoji H, Mizouchi T, Endo N, Hasegawa K. The influence of lumbar muscle volume on curve progression after skeletal maturity in patients with adolescent idiopathic scoliosis: a long-term follow-up study. *Spine Deform*. 2018;6:691–698.e1. DOI: 10.1016/j.jspd.2018.04.003.
107. Yeung KH, Man GCW, Shi L, Hui SCN, Chiyanka C, Lam TP, Ng BKW, Cheng JCY, Chu WCW. Magnetic resonance imaging-based morphological change of paraspinal muscles in girls with adolescent idiopathic scoliosis. *Spine*. 2019;44:1356–1363. DOI: 10.1097/BRS.0000000000003078.
108. Abul-Kasim K, Overgaard A, Ohlin A. Dural ectasia in adolescent idiopathic scoliosis: quantitative assessment on magnetic resonance imaging. *Eur Spine J*. 2010;19:754–759. DOI: 10.1007/s00586-010-1355-4.
109. Kyriacou S, Man Y, Plumb K, Shaw M, Rezajooi K. Is a persistent central canal a risk factor for neurological injury in patients undergoing surgical correction of scoliosis? *Scoliosis Spinal Disord*. 2017;12:25. DOI: 10.1186/s13013-017-0133-z.
110. Sha S, Zhang W, Qiu Y, Liu Z, Zhu F, Zhu Z. Evolution of syrinx in patients undergoing posterior correction for scoliosis associated with syringomyelia. *Eur Spine J*. 2015;24:955–962. DOI: 10.1007/s00586-014-3694-z.
111. Algin O, Koc U, Yalcin N. Cerebrospinal fluid velocity changes of idiopathic scoliosis: a preliminary study on 3-T PC-MRI and 3D-SPACE-VFAM data. *Childs Nerv Syst*. 2022;38:379–386. DOI: 10.1007/s00381-021-05339-w.
112. Violas P, Estivaleres E, Pedrono A, de Gauzy JS, Sevely A, Swider P. A method to investigate intervertebral disc morphology from MRI in early idiopathic scoliosis: a preliminary evaluation in a group of 14 patients. *Magn Reson Imaging*. 2005;23:475–479. DOI: 10.1016/j.mri.2004.12.004.
113. Violas P, Estivaleres E, Briot J, Sales de Gauzy J, Swider P. Objective quantification of intervertebral disc volume properties using MRI in idiopathic scoliosis surgery. *Magn Reson Imaging*. 2007;25:386–391. DOI: 10.1016/j.mri.2006.09.007.
114. Maqsood A, Hashmi SZ, Hartwell M, Sarwark JF. Idiopathic scoliosis: A pilot MR study of early vertebral morphological changes and spinal asymmetry. *J Orthop*. 2020;19:174–177. DOI: 10.1016/j.jor.2019.11.001.
115. Labrom FR, Izatt MT, Contractor P, Grant CA, Pivonka P, Askin GN, Labrom RD, Little JP. Sequential MRI reveals vertebral body wedging significantly contributes to coronal plane deformity progression in adolescent idiopathic scoliosis during growth. *Spine Deform*. 2020;8:901–910. DOI: 10.1007/s43390-020-00138-w.
116. Shiran SI, Shabtai L, Ben-Sira L, Ovadia D, Wientroub S. T1-weighted MR imaging of bone marrow pattern in children with adolescent idiopathic scoliosis: a preliminary study. *J Child Orthop*. 2018;12:181–186. DOI: 10.1302/1863-2548.12.180035.
117. Wang D, Wang S, Gao Y, Zhou Z, He J. Diffusion tensor imaging of lumbar vertebrae in female adolescent idiopathic scoliosis: initial findings. *J Comput Assist Tomogr*. 2018;42:317–322. DOI: 10.1097/RCT.0000000000000667.
118. Guo X, Chau WW, Chan YL, Cheng JC. Relative anterior spinal overgrowth in adolescent idiopathic scoliosis. Results of disproportionate endochondral-membranous bone growth. *J Bone Joint Surg Br*. 2003;85:1026–1031. DOI: 10.1302/0301-620x.85b7.14046.
119. Kong Y, Shi L, Hui SC, Wang D, Deng M, Chu WC, Cheng JC. Variation in anisotropy and diffusivity along the medulla oblongata and the whole spinal cord in adolescent idiopathic scoliosis: a pilot study using diffusion tensor imaging. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2014;35:1621–1627. DOI: 10.3174/ajnr.A3912.
120. Hesarikia H, Azma K, Kousari A, Nikouei F. Magnetic resonance imaging investigations of position of conus medullaris in adolescent idiopathic scoliosis as a peripheral neuropathy. *Int J Clin Exp Med*. 2015;8:5918–5824.
121. Dohn P, Vialle R, Thevenin-Lemoine C, Balu M, Lenoir T, Abelin K. Assessing the rotation of the spinal cord in idiopathic scoliosis: a preliminary report of MRI feasibility. *Childs Nerv Syst*. 2009;25:479–483. DOI: 10.1007/s00381-008-0759-5.
122. Yeung KH, Man G, Hung A, Lam TP, Cheng J, Chu W. Morphological changes of intervertebral disc in relation with curve severity of patients with adolescent idiopathic scoliosis – a T2-weighted MRI study. *Stud Health Technol Inform*. 2021;280:37–39. DOI: 10.3233/SHTI210431.
123. Buttermann GR, Mullin WJ. Pain and disability correlated with disc degeneration via magnetic resonance imaging in scoliosis patients. *Eur Spine J*. 2008;17:240–249. DOI: 10.1007/s00586-007-0530-8.
124. Huber M, Gilbert G, Roy J, Parent S, Labelle H, Perie D. Sensitivity of MRI parameters within intervertebral discs to the severity of adolescent idiopathic scoliosis. *J Magn Reson Imaging*. 2016;44:1123–1131. DOI: 10.1002/jmri.25260.
125. Ohashi M, Watanabe K, Hirano T, Hasegawa K, Katsumi K, Tashi H, Shibuya Y, Kawashima H. Impact of the flexibility of the spinal deformity on low back pain and disc degeneration in adult patients nonoperatively treated for adolescent idiopathic scoliosis with thoracolumbar or lumbar curves. *Spine Deform*. 2022;10:133–140. DOI: 10.1007/s43390-021-00402-7.

#### Адрес для переписки:

Сергеенко Ольга Михайловна  
640014, Россия, Курган, ул. М. Ульяновой, 6,  
Национальный медицинский исследовательский центр  
травматологии и ортопедии им. акад. Г.А. Илизарова,  
pavlova.neuro@mail.ru

#### Address correspondence to:

Sergeenko Olga Mikhailovna  
National Ilizarov Medical Research Centre for Orthopaedics and  
Traumatology,  
6 Marii Ulyanovoy str., Kurgan, 640014, Russia,  
pavlova.neuro@mail.ru

Статья поступила в редакцию 26.10.2022

Рецензирование пройдено 16.11.2022

Подписано в печать 18.11.2022

Received 26.10.2022

Review completed 16.11.2022

Passed for printing 18.11.2022

Ольга Михайловна Сергеевко, канд. мед. наук, врач-нейрохирург, врач-травматолог-ортопед, клиника патологии позвоночника и редких заболеваний, Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. акад. Г.А. Илизарова, Россия, 640014, Курган, ул. М. Ульяновой, 6, ORCID: 0000-0003-2905-0215, [pavlova.neuro@mail.ru](mailto:pavlova.neuro@mail.ru);

Дмитрий Михайлович Савин, канд. мед. наук, врач-травматолог-ортопед, врач-нейрохирург, клиника патологии позвоночника и редких заболеваний, Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. акад. Г.А. Илизарова, Россия, 640014, Курган, ул. М. Ульяновой, 6, ORCID: 0000-0002-4395-2103, [savindm81@mail.ru](mailto:savindm81@mail.ru);

Юрий Витальевич Молотков, врач-травматолог-ортопед, аспирант, клиника патологии позвоночника и редких заболеваний, Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. акад. Г.А. Илизарова, Россия, 640014, Курган, ул. М. Ульяновой, 6, ORCID: 0000-0003-3615-2527, [m.d.molotkov@gmail.com](mailto:m.d.molotkov@gmail.com);

Марат Саматович Сайфутдинов, д-р биол. наук, нейрофизиолог, клиника патологии позвоночника и редких заболеваний, Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. акад. Г.А. Илизарова, Россия, 640014, Курган, ул. М. Ульяновой, 6, ORCID: 0000-0002-7477-5250, [maratsaif@yandex.ru](mailto:maratsaif@yandex.ru).

*Olga Mikbailovna Sergeenko, MD, PhD, trauma orthopaedist, neurosurgeon, Clinic of Spine Pathology and Rare Diseases, National Ilizarov Medical Research Centre for Orthopaedics and Traumatology, 6 Marii Ulyanovoy str., Kurgan, 640014, Russia, ORCID: 0000-0003-2905-0215, [pavlova.neuro@mail.ru](mailto:pavlova.neuro@mail.ru);*

*Dmitry Mikbailovich Savin, MD, PhD, neurosurgeon, trauma orthopaedist, Clinic of Spine Pathology and Rare Diseases, National Ilizarov Medical Research Center for Traumatology and Orthopaedics, 6 Marii Ulyanovoy str., Kurgan, 640014, Russia, ORCID: 0000-0002-4395-2103, [savindm81@mail.ru](mailto:savindm81@mail.ru);*

*Yury Vitalyevich Molotkov, trauma orthopaedist, postgraduate student, Clinic of Spine Pathology and Rare Diseases, National Ilizarov Medical Research Center for Traumatology and Orthopaedics, 6 Marii Ulyanovoy str., Kurgan, 640014, Russia, ORCID: 0000-0003-3615-2527, [m.d.molotkov@gmail.com](mailto:m.d.molotkov@gmail.com);*

*Marat Samatovich Saifutdinov, DSc in Biology, neurophysiologist, Clinic of Spinal Pathology and Rare Diseases, National Ilizarov Medical Research Center for Traumatology and Orthopaedics, 6 Marii Ulyanovoy str., Kurgan, 640014, Russia, ORCID: 0000-0002-7477-5250, [maratsaif@yandex.ru](mailto:maratsaif@yandex.ru).*