



ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

Оригинальная статья

УДК 616.711-007.55:616.741-002.43]-073.756.8

<https://doi.org/10.52560/2713-0118-2023-6-34-49>

МРТ-семиотика изменений паравертебральных мышц у пациентов с идиопатическим сколиозом

Г. В. Дьячкова¹, Ю. Л. Зейналов², А. В. Бурцев³, К. А. Дьячков⁴, Т. А. Ларионова⁵

^{1,3,4,5} ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени академика Г. А. Илизарова» Минздрава России, Курган, Россия

² Госпиталь Военно-медицинского управления Службы государственной безопасности Азербайджанской Республики, Баку, Республика Азербайджан

¹ dgv2003@list.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1973-4680>

² z.l.yusif@rambler.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6390-0423>

³ bav31rus@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8968-6528>

⁴ dka_doc@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8490-3052>

⁵ lar_rad@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0724-1339>

Автор, ответственный за переписку: Галина Викторовна Дьячкова, dgv2003@list.ru

Резюме

В статье представлены данные о состоянии паравертебральных мышц, изученных методом магнитно-резонансной томографии (МРТ) у 26 пациентов с идиопатическим сколиозом при различной величине деформации позвоночника. Отмечены уменьшение площади мышц и жировая дистрофия, выраженная с вогнутой стороны. Площадь паравертебральных мышц по вогнутой стороне при деформации 70–90° достоверно отличалась от площади мышц по выпуклой стороне. Средняя степень жировой инфильтрации различных мышц по вогнутой стороне колебалась от 14 до 28%. Степень жирового перерождения и гипотрофия паравертебральных мышц должны учитываться при подготовке к операции, во время ее проведения и при разработке программы реабилитации в послеоперационном периоде.

Ключевые слова: магнитно-резонансная томография, идиопатический сколиоз, паравертебральные мышцы, анатомические изменения, жировое перерождение

Для цитирования: Дьячкова Г. В., Зейналов Ю. Л., Бурцев А. В., Дьячков К. А., Ларионова Т. А. МРТ-семиотика изменений паравертебральных мышц у пациентов с идиопатическим сколиозом // Радиология — практика. 2023;6:34-49. <https://doi.org/10.52560/2713-0118-2023-6-34-49>

© Дьячкова Г. В., Зейналов Ю. Л., Бурцев А. В., Дьячков К. А., Ларионова Т. А., 2023

ORIGINAL RESEARCH

Original research

MRI-Semiotics of Para-Vertebral Muscles Changes in Patients with Idiopathic Scoliosis

Galina V. Diachkova¹, Yusif L. Zeynalov², Alexander V. Burtsev³,
Konstantin A. Diachkov⁴, Tatyana A. Larionova⁵

^{1,3,4,5} FSBI «National Medical Research Center of Trauma and Orthopaedics
named after academician G. A. Ilizarov», Ministry of Healthcare of Russia, Kurgan, Russia

² Hospital of Military and Medical Division of State Security Service of the Republic
of Azerbaijan, Baku, the Republic of Azerbaijan

¹ dgv2003@list.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1973-4680>

² z.l.yusif@rambler.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6390-0423>

³ bav31rus@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8968-6528>

⁴ dka_doc@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8490-3052>

⁵ lar_rad@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0724-1339>

Corresponding author: Galina V. Diachkova, dgv2003@list.ru

Abstract

The article presents data on the state of the paravertebral muscles studied by magnetic resonance imaging (MRI) in 26 patients with idiopathic scoliosis with various degrees of spinal deformity. A decrease in muscle area and fatty degeneration, expressed from the concave side, were noted. The area of the paravertebral muscles on the concave side in deformity of 70–90° significantly differed from the area of the muscles on the convex side. The average degree of fat infiltration of various muscles along the concave side ranged from 14 to 28 %. The degree of fatty degeneration and hypotrophy of the paravertebral muscles should be taken into account when preparing for surgery, during its performance and when developing a rehabilitation program in the postoperative period.

Keywords: Magnetic Resonance Imaging, Idiopathic Scoliosis, Paravertebral Muscles, Anatomical Changes, Fatty Degeneration

For citation: Diachkova G. V., Zeynalov Yu. L., Burtsev A. V., Diachkov K. A., Larionova T. A. MRI-semiotics of para-vertebral muscles changes in patients with idiopathic scoliosis. *Radiology – Practice*. 2023;6:34-49. (In Russ.). <https://doi.org/10.52560/2713-0118-2023-6-34-49>

Актуальность

Идиопатический сколиоз (ИС) относится в настоящее время к наиболее изучаемым проблемам патологии позвоночника. Основная часть работ по ИС касается эпидемиологии, этиологии,

изучения состояния позвонков, методов лечения [3, 8, 10, 12, 20, 25]. В ряде работ обращено внимание на характер изменения мышц туловища у пациентов с ИС при исследовании различными методами [5, 17], однако количество этих ра-

бот, особенно проведенных с использованием лучевых методов, сравнительно невелико. Так, анализ поиска в системе PubMed за 1978–2023 годы с использованием запроса *idiopathic scoliosis* выявил 9331 источник, по запросу *muscles in idiopathic scoliosis* — 608 работ, однако в это количество попадают исследования, не касающиеся мышц. По запросу *paraspinal muscles in scoliosis* выявлено 105 работ, посвященных различным способам исследования (морфологические, биомеханические, электромиографические, небольшое количество лучевых методик) и другим заболеваниям [4, 26, 15]. Применение современных методик МРТ (*mDIXON-Quant* последовательность, в частности) в репрезентативных исследованиях позволило получить более обширные и точные данные о состоянии паравертебральных мышц у пациентов со сколиозом и другой патологией, а также в норме, чтобы иметь возможность сравнивать полученные данные [7, 14, 27]. Выявлено повышение интенсивности сигнала на вогнутой стороне деформации при МРТ. Отношение объема мышц по выпуклой стороне на всех уровнях деформации было больше по отношению к вогнутой стороне, жировая инфильтрация была больше выражена на вогнутой стороне [15, 21]. В работе Сергеев О. М. с соавт., 2022, выделены основные направления исследования по применению МРТ при ИС, указано на выявление факторов, predisposing/сочетающихся с развитием и прогрессированием ИС [4]. По мнению авторов, 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. Однако эти данные могут быть использованы и для оценки состояния паравертебральных мышц с целью выбора хирургической тактики, разработки предоперационной реабили-

тации, уменьшения количества осложнений [13, 16, 17].

Цель: обоснование необходимости изучения методом МРТ состояния паравертебральных мышц у пациентов с идиопатическим сколиозом для планирования лечебных и реабилитационных мероприятий.

Материалы и методы

Дизайн исследования: одноцентровое исследование, серия случаев.

Критерии включения: пациенты женского пола с идиопатическим сколиозом в возрасте от 11 до 29 лет, полный лучевой архив.

Критерии исключения: пациенты с другими деформациями позвоночника, отсутствие полного лучевого архива.

Методом МРТ изучены паравертебральные мышцы у 26 пациенток с идиопатическим сколиозом с различной величиной деформации позвоночника в возрасте от 11 до 29 лет. Величина деформации — от 22 до 90°. Всем пациенткам до операции были выполнены спондилография, мультиспиральная компьютерная томография (МСКТ) и МРТ (рис. 1).

Исследование спинного мозга, внутренних органов в рамках предоперационного обследования проводили на магнитно-резонансном томографе GE SIGNA HDXT мощностью магнитного поля 3,0 Тл. В комплекс стандарта исследования методом МРТ у пациентов с ИС ранее входил только анализ состояния спинного мозга и заинтересованных внутренних органов. В данной работе проведен анализ состояния паравертебральных мышц. Использовались T1-взвешенные (T1WI), T2-взвешенные (T2WI), T2 frFSE последовательности с толщиной среза 3–4 мм в сагиттальной плоскости. Измерения производили при помощи программы RadiAnt DICOM Viewer (рис. 2).

Исследование выполнено в соответствии с этическими стандартами Хель-

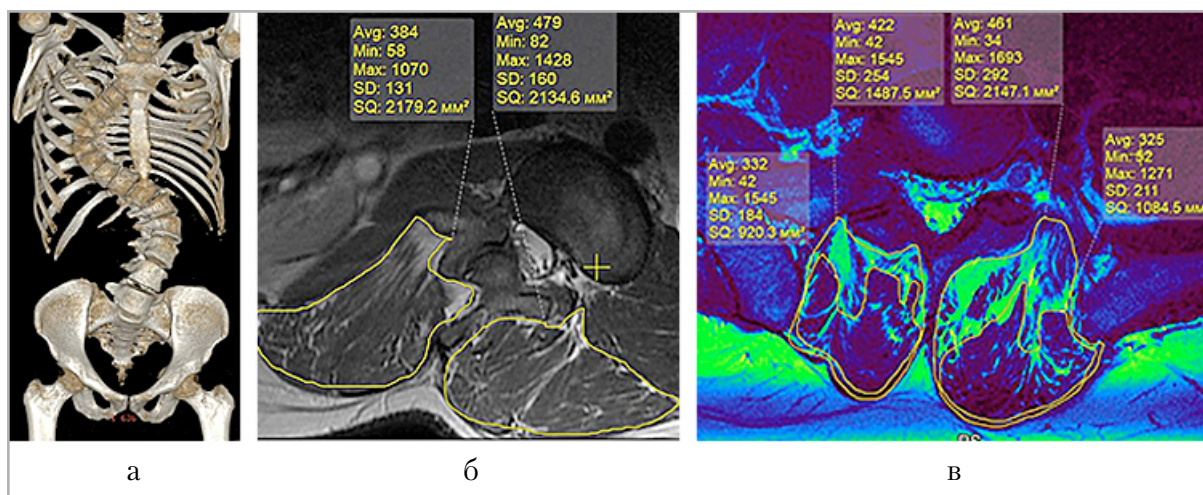


Рис. 1. Мультиспиральные компьютерные томограммы груднопоясничного отдела позвоночника пациентки Н., 29 лет. Идиопатический S-образный сколиоз. Угол деформации в грудном отделе 90° , в груднопоясничном — 83° , VRT (а); магнитно-резонансные томограммы позвоночника пациентки Н., 29 лет. Аксиальная плоскость в режиме T2-ВИ. Определение площади паравертебральных мышц (б); аксиальная плоскость в режиме T2 frFSE, зеленым цветом выделена зона жировой ткани, синим — мышечной (в)

синкской декларации Всемирной медицинской ассоциации. Все пациентки подписали информированное согласие на публикацию данных исследования без идентификации личности.

Статистическую обработку параметров плотности проводили с помощью программы Attestat. Для подтверждения выводов о различиях между полученными результатами в группах применяли U-критерий Манна — Уитни. Критический уровень значимости (p) при проверке статистических гипотез в данном исследовании принимали равным 0,05. Данные в таблицах представлены в виде $M \pm \sigma$, M — среднее значение, σ — среднее квадратичное отклонение.

Результаты

При исследовании в режиме T2 frFSE в мышцах хорошо дифференцировалась мышечная и жировая ткань, особенно при цветовом картировании. Наличие жировой инфильтрации паравертебральных мышц при идиопатическом сколиозе особенно выражено в нижних сегментах поясничного отдела (рис. 3).

Вне зоны деформации, на уровне ThIV позвонка, у пациентки 22 лет с идиопатическим ригидным левосторонним поясничным сколиозом IV степени (75° по Cobb) (T2), площадь паравертебральных мышц практически одинаковая, как и интенсивность сигнала (рис. 4).

На уровне позвонка ThV площадь ромбовидной и трапецевидной мышц слева несколько меньше, а сигнал более высокой интенсивности (T2). На уровне позвонка LIV — площадь мышц на вогнутой стороне меньше, чем на выпуклой, интенсивность сигнала статистически достоверно не различалась, но максимальные значения отмечены с вогнутой стороны ($1050,25 \pm 21,10$) (рис. 5).

Площадь мышц с вогнутой стороны сколиотической дуги у пациентки С., 20 лет, с идиопатическим правосторонним груднопоясничным сколиозом III степени (43° по Cobb) на уровне позвонка LII меньше, чем с выпуклой, на 17,1 %, интенсивность сигнала находилась в пределах $226,52 \pm 10,17$. На уровне позвонков LIV–LV интенсивность сигнала в мышцах была более высокой

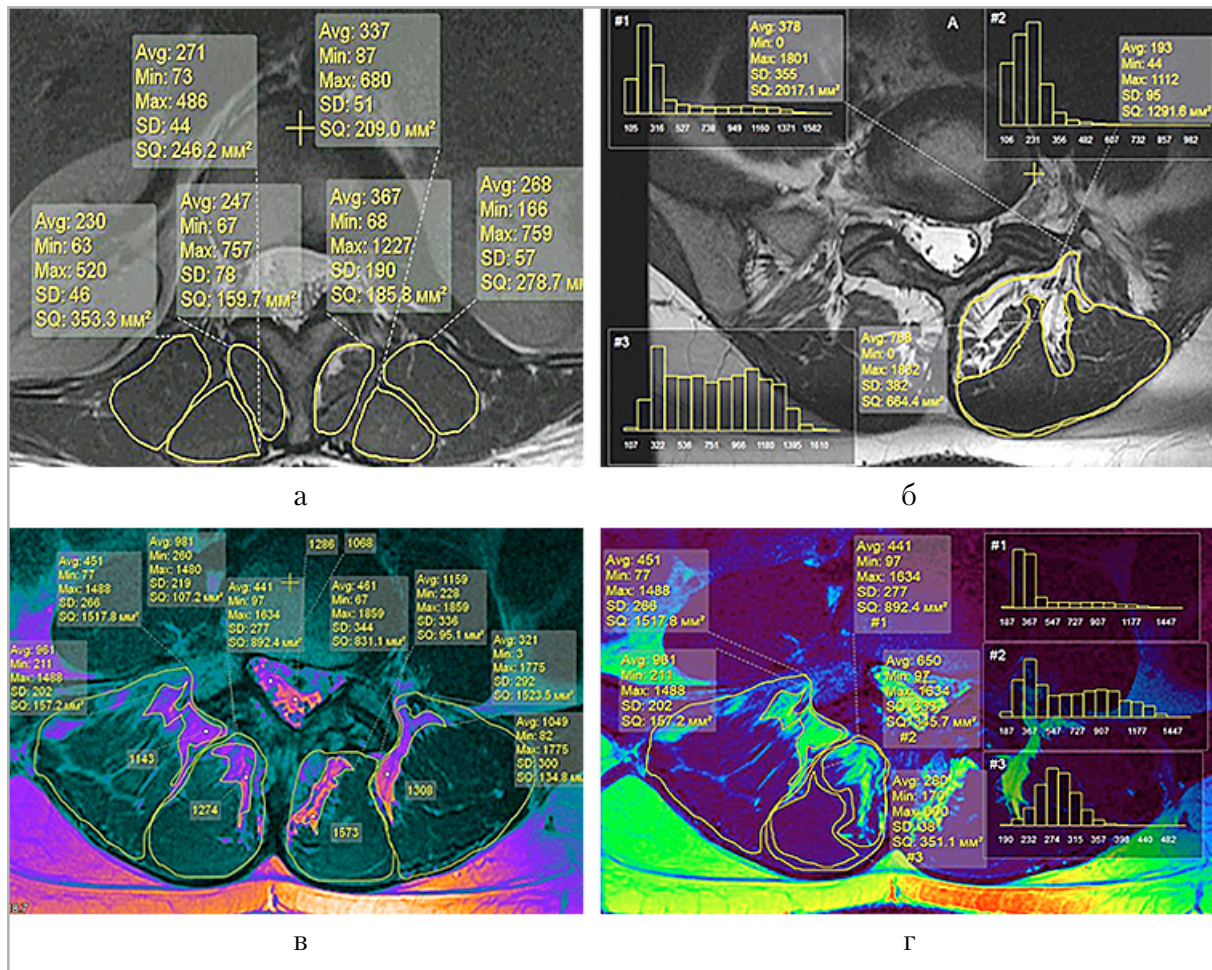


Рис. 2. Магнитно-резонансные томограммы груднопоясничного отдела позвоночника пациентов с ИС. Изучение паравертебральных мышц. Аксиальная плоскость в режиме COR STIR (а); аксиальная плоскость в режиме T2 frFSE (б); аксиальная плоскость в режиме T2 frFSE (розовым цветом выделена зона жировой ткани, темно-зеленым — мышечной) (в); аксиальная плоскость в режиме T2 frFSE — зеленым цветом выделена зона жировой ткани, синим — мышечной (г)

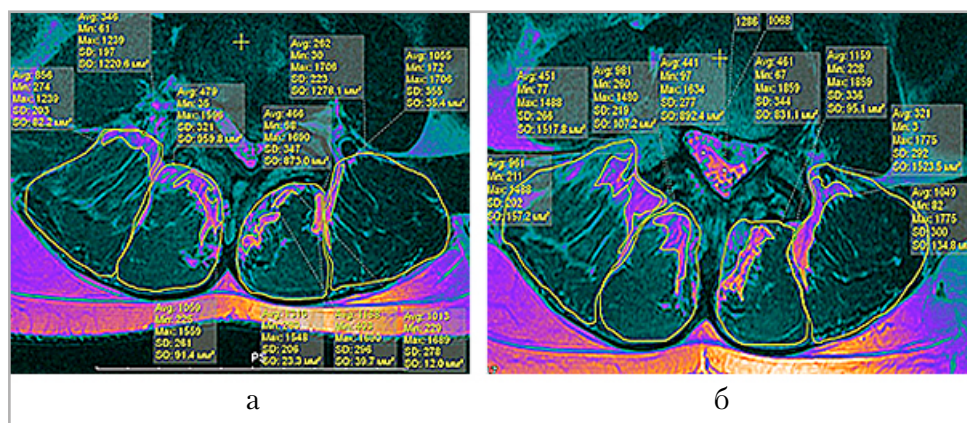


Рис. 3. Магнитно-резонансные томограммы пояснично-крестцового отдела позвоночника пациентки Я., 26 лет. Идиопатический груднопоясничный сколиоз III степени (33° по Cobb). Аксиальная плоскость в режиме T2 frFSE, цветовое картирование (а, б): площадь мышц (темный цвет) и зон с высоким уровнем сигнала, указывающего на жировое перерождение (розово-сиреневый цвет)

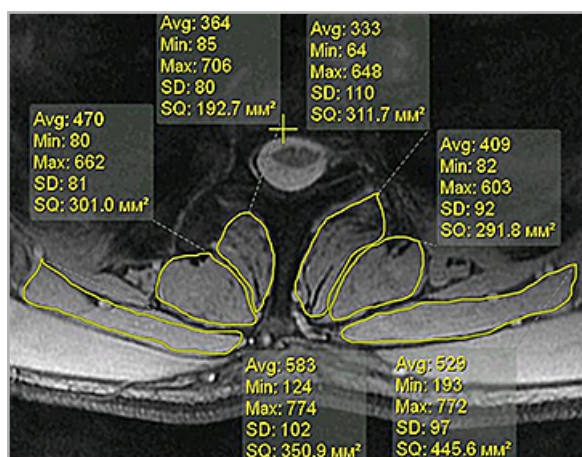


Рис. 4. Магнитно-резонансная томограмма грудного отдела позвоночника пациентки С., 22 лет. Идиопатический левосторонний поясничный сколиоз IV степени (75° по Cobb). Аксиальная плоскость в режиме T2-ВИ

($432,65 \pm 18,32$), определялись обширные зоны жирового перерождения, а площадь слева (по вогнутой стороне) была на 5,8 % меньше, чем справа (рис. 6).

На уровне позвонка LIV площадь многораздельной мышцы справа составляла $892,4 \text{ мм}^2$, зоны высокой интенсивности сигнала — $356,2 \text{ мм}^2$ (40,1 %), зоны низкого сигнала — $516,7 \text{ мм}^2$ (59,3 %) (рис. 7, а). Слева, на уровне позвонка LV, площадь двух мышц составила $2017,1 \text{ мм}^2$, зона высокого сигнала — $654,4 \text{ мм}^2$ (32,9 %), зона низкого сигнала — $1291,8 \text{ мм}^2$ (64,0 %) (рис. 7, б).

Мышцы по выпуклой стороне были вытянуты, имели большую длину, чем по вогнутой. Изменялась также их фор-

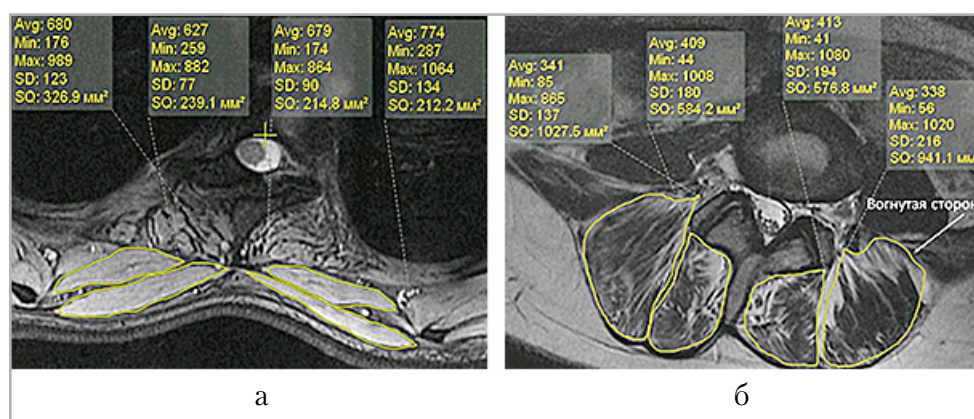


Рис. 5. Магнитно-резонансные томограммы мышц грудного (а) и поясничного (б) отдела пациентки М., 22 лет. Идиопатический грудной сколиоз IV степени (70° по Cobb). Площадь и длина мышц с выпуклой и вогнутой сторон (стрелка). Аксиальная плоскость в режиме T2-ВИ (а), T2 frFSE (б)

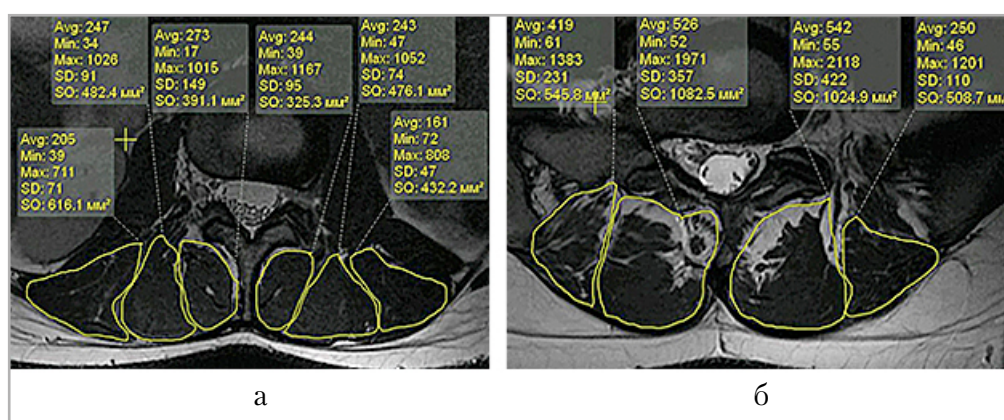


Рис. 6. Магнитно-резонансные томограммы поясничного отдела позвоночника пациентки С., 20 лет. Идиопатический груднопоясничный сколиоз III степени (43° по Cobb). Аксиальная плоскость в режиме T2 frFSE (а — позвонок LII, б — LIV–LV). Определение интенсивности сигнала и площади мышц

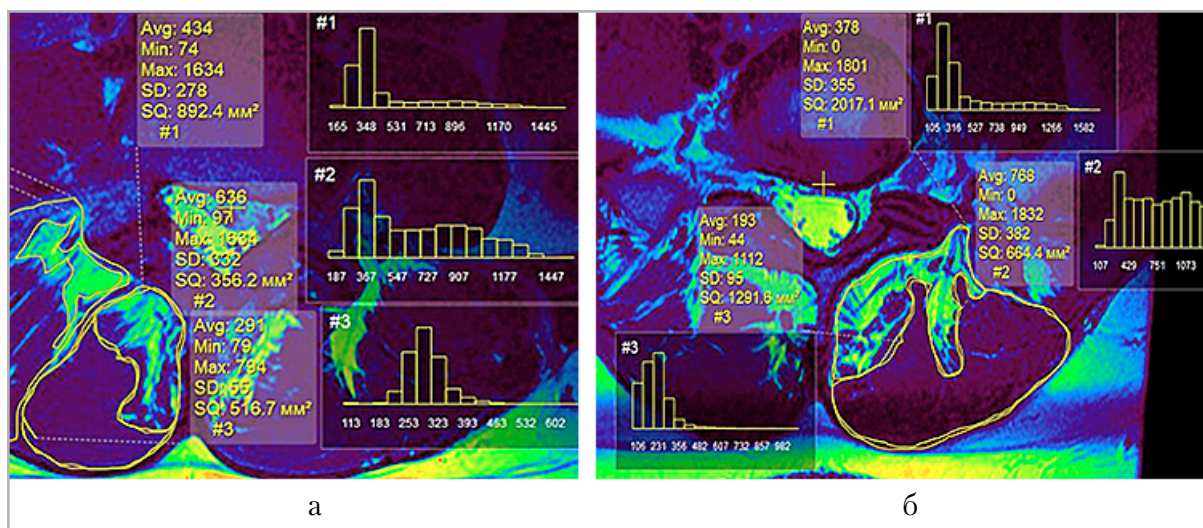


Рис. 7. Магнитно-резонансные томограммы поясничного отдела позвоночника пациентки Я., 26 лет. Идиопатический груднопоясничный сколиоз III степени (33° по Cobb). Аксиальная плоскость в режиме T2 frFSE, цветовое картирование. Определение площади мышц справа на уровне LIV позвонка, площади высокого и низкого сигнала, гистограммы (а). Определение площади мышц на уровне позвонка LV слева, площади высокого и низкого сигнала (б)

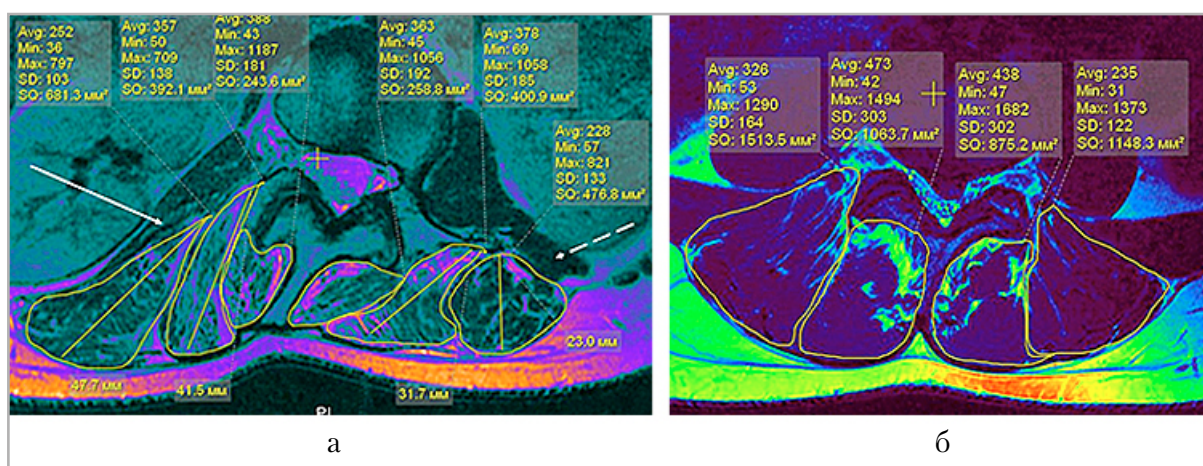


Рис. 8. Магнитно-резонансные томограммы поясничного отдела позвоночника пациентки М., 24 лет. Идиопатический грудной сколиоз IV степени (70° по Cobb). Аксиальная плоскость в режиме T2 frFSE, цветовое картирование. Площадь и длина мышц с выпуклой (сплошная стрелка) и вогнутой сторон (штрих-стрелка) (а). МРТ поясничного отдела позвоночника больной Я., 26 лет. Идиопатический грудной сколиоз IV степени (33° по Cobb). Аксиальная плоскость в режиме T2 frFSE, цветовое картирование. Площадь мышц с выпуклой и вогнутой сторон (б)

ма. Она была похожа на вытянутый треугольник, острый угол которого ориентирован в направлении позвоночника. Мышцы с вогнутой стороны в основном имели округлую форму. С увеличением величины деформации форма мышц изменялась больше, особенно на уровне ее вершины (рис. 8).

В табл. 1 представлены данные о площади паравертебральных мышц по вогнутой и выпуклой сторонам при различной величине деформации позвоночника пациентов с ИС.

В позвоночных сегментах (LIII–LV) площадь зон с максимальной высотой сигнала составляла в многораздельных

Таблица 1

Площадь паравертебральных мышц по вогнутой и выпуклой сторонам при различной величине деформации позвоночника пациентов с ИС

Зона интереса (мышцы)	Площадь паравертебральных мышц, мм ²			
	По вогнутой стороне		По выпуклой стороне	
	30–50°	70–90°	30–50°	70–90°
Остистая мышца	810,2 ± 23,8	623,5 ± 18,4**	1025,7 ± 34,1	984,6 ± 56,2**
Длиннейшая мышца	1121,7 ± 45,3	989,6 ± 78,3*	1598,3 ± 63,5**	1321,6 ± 45,4
Многораздельная мышца	170,4 ± 15,9	145,3 ± 34,2**	173,8 ± 24,7	154,7 ± 19,6*
Мышца, выпрямляющая позвоночник	1221,56 ± 29,4	1105,7 ± 67,1	1293,8 ± 45,4	1008,6 ± 76,2*

Примечание: * p < 0,05; ** p < 0,01.

мышцах от 7,4 до 10,5 % от общей площади мышц. В длиннейших мышцах спины — от 4,7 до 7,7 % от общей площади. Интенсивность сигнала в многораздельных мышцах была больше, чем в длиннейших: (1154,7 ± 56,2) против (956,7 ± 28,3) (рис. 9, а). В длиннейших и многораздельных мышцах слева интенсивность сигнала была на 14,5 % выше, чем справа (рис. 9, б).

Анализ степени жирового перерождения паравертебральных мышц

представлен в табл. 2, и из нее следует, что степень жировой инфильтрации многораздельной мышцы была выше, чем длиннейшей мышцы спины, на что указывает и индекс степени жировой инфильтрации.

Результаты и обсуждение

По данным МРТ, изменения параспинальных мышц у пациентов с идио-

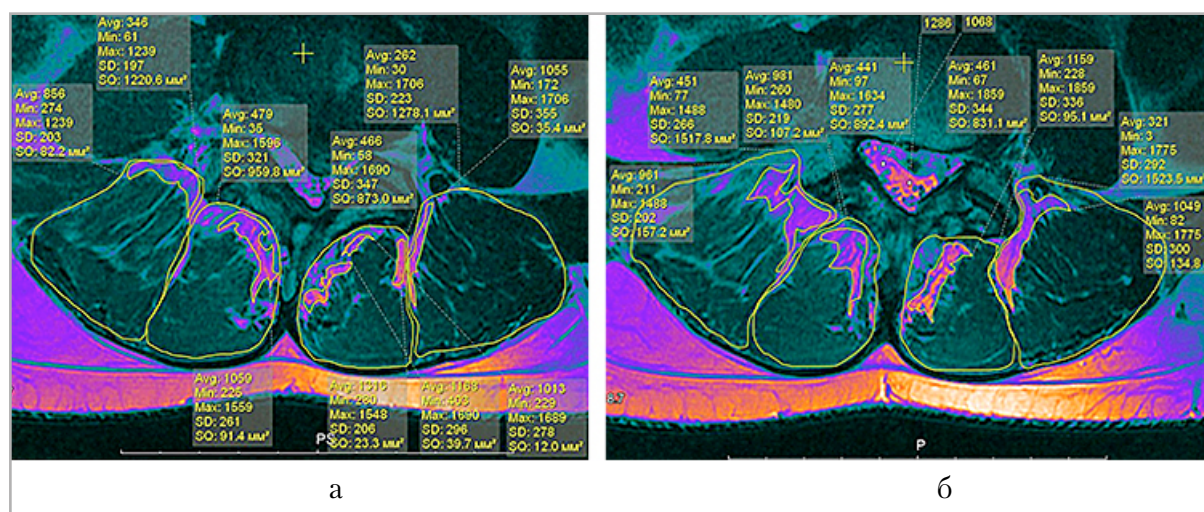


Рис. 9. Магнитно-резонансные томограммы поясничного отдела позвоночника пациентки К., 27 лет. Идиопатический груднопоясничный сколиоз III степени (38° по Cobb). Аксиальная плоскость в режиме T2frFSE, цветовое картирование (а — позвонок LII, б — позвонок LIV). Площадь мышц с выпуклой и вогнутой сторон и площадь зон с высоким сигналом — розовый цвет (жировое перерождение)

Таблица 2

Степень жировой инфильтрации паравертебральных мышц по вогнутой и выпуклой сторонам у пациентов с ИС на уровне позвонков L_{IV}–L_V

Зона интереса (паравертебральные мышцы)	Средняя степень жировой инфильтрации, %		
	По вогнутой стороне	По выпуклой стороне	Индекс степени жировой инфильтрации
Многораздельная мышца	28,7 ± 6,8	21,6 ± 8,4	0,75
Длиннейшая мышца	14,0 ± 5,3	9,2 ± 3,5	0,65

патическим сколиозом связаны с величиной деформации, уровнем максимального искривления, уровнем измерения площади мышц и интенсивности сигнала (грудной, поясничный отделы, краниальные или каудальные сегменты). Изменение паравертебральных мышц у пациентов с идиопатическим сколиозом проявлялось уменьшением площади и выраженной жировой инфильтрацией, преимущественно с вогнутой стороны, что совпадает с данными ряда авторов [6, 13, 16, 19, 21, 22, 24]. Однако не во всех работах приводятся количественные данные по изменению площади и степени жирового перерождения. В мышцах, расположенных более каудально, площадь и высота сигнала были больше, чем в расположенных краниально. На более выраженную жировую инфильтрацию мышц, уменьшение объема в каудальных отделах позвоночника указывают и другие исследования, где параспинальные мышцы были изучены у пациентов с дегенеративным кифозом, дегенеративным стенозом [9, 11, 23]. Применение МРТ позволило выявить степень изменения паравертебральных мышц как с точки зрения их анатомических характеристик, так и выраженности жировой дистрофии. Площадь паравертебральных мышц при деформации 70–90° по выпуклой стороне достоверно отличалась от площади при деформации 30–50° и от площади по вогнутой поверхности. Средняя степень жировой

инфильтрации многораздельной и длиннейшей мышц по выпуклой стороне была на 24,7 и 35,7 % меньше, чем по вогнутой соответственно. Полученные данные свидетельствуют о необходимости учитывать степень изменения паравертебральных мышц при разработке реабилитационных мероприятий, о щадящем отношении к ним во время хирургического вмешательства, на что указано также в работах Н. J. Kim с соавт. и Ю. Л. Зейналова с соавт., 2023 [1, 2, 18].

Заключение

Анализ полученных данных показал, что МРТ позволяет объективно оценить степень жирового перерождения и гипотрофии паравертебральных мышц у пациентов с ИС, что, несомненно, может рассматриваться как фактор контроля при подготовке к операции, во время ее проведения (минимальное повреждение, особенно на выпуклой стороне) и при разработке программы реабилитации в послеоперационном периоде, учитывая возможность потери коррекции в результате асимметричных анатомических и морфологических параметров мышц и, как результат, нарушения нормального биомеханического функционирования. Учитывая полученные данные, целесообразно рекомендовать включать в алгоритм обработки данных МРТ исследования пациентов с ИС изучение состояния па-

равертебральных мышц, поскольку это позволит объективно оценить их размеры, деформацию, жировую дистрофию для планирования предоперационной реабилитации и при необходимости послеоперационного лечения и разработки реабилитационной программы в отдаленном периоде.

Список источников

1. Зейналов Ю. Л., Бурцев А. В., Дьячкова Г. В., Дьячков К. А. «Синдромо-комплекс» идиопатического сколиоза // Гений ортопедии. 2023. № 29(1). С. 49–56. <https://doi.org/10.18019/1028-4427-2023-29-1-49-56>
2. Зейналов Ю. Л. Система лечения больных идиопатическим сколиозом на основе нового клинко-диагностического и реабилитационного комплекса: дис. ... докт. мед. наук. Курган: ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени академика Г. А. Илизарова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, 2023. 309 с.
3. Михайловский М. В., Васюра А. С., Новиков В. В., Сарнадский В. Н., Губина Е. В., Чернядьева М. А. Хирургическая коррекция идиопатического сколиоза у взрослых больных молодого и среднего возраста // Хирургия позвоночника. 2018. № 15(3). С. 52–60. <https://doi.org/10.14531/ss2018.3.52-60>
4. 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>
5. Щурова Е. Н., Филимонова Г. Н., Рябых С. О. Влияние величины деформации в грудном отделе позвоночника на морфологическую картину параспинальных мышц у больных с идиопатическим сколиозом тяжелой степени // Гений Ортопедии. 2021. № 27(1). С. 68–73. <https://doi.org/10.18019/1028-4427-2021-27-1-68-73>
6. Berry D. B., Grant C. D., Farnsworth C. L., Englund E. K., Newton P. O., Shahidi B. The influence of 3D curve severity on paraspinal muscle fatty infiltration in patients with adolescent idiopathic scoliosis. *Spine Deform.* 2021. No. 9(4). P. 987–995. <https://doi.org/10.1007/s43390-021-00318-2>
7. Burian E., Becherucci E. A., Junker D. et al. Association of Cervical and Lumbar Paraspinal Muscle Composition Using Texture Analysis of MR-Based Proton Density Fat Fraction Maps. *Diagnostics (Basel)*. 2021. No. 11(10). P. 1929. <https://doi.org/10.3390/diagnostics11101929>
8. Chen L., Sun Z., He J., Xu Y., Li Z., Zou Q., Li B. Effectiveness and safety of surgical interventions for treating adolescent idiopathic scoliosis: a Bayesian meta-analysis. *BMC Musculoskelet Disord.* 2020. No. 1(1). P. 27. <https://doi.org/10.1186/s12891-020-03233-1>
9. Cho S. M., Kim S. H., Ha S. K., Kim S. D., Lim D. J., Cha J., Kim B. J. Paraspinal muscle changes after single-level posterior lumbar fusion: volumetric analyses and literature review. *BMC Musculoskelet Disord.* 2020. No. 1(1). P. 3. <https://doi.org/10.1186/s12891-020-3104-0>
10. Darnis A., Grobost P., Roussouly P. Very long-term clinical and radiographic outcomes after posterior spinal fusion with pedicular screws for thoracic adolescent idiopathic scoliosis. *Spine Deform.* 2021. No. 9(2). P. 441–449. <https://doi.org/10.1007/s43390-020-00217-y>
11. Ding J. Z., Kong C., Li X. Y., Sun X. Y., Lu S. B., Zhao G. G. Different degeneration patterns of paraspinal muscles in degenerative lumbar diseases: a MRI analysis of 154 patients. *Eur. Spine J.* 2022. No. 1(3). P. 764–773. <https://doi.org/10.1007/s00586-021-07053-2>
12. Fadzani M., Bettany-Saltikov J. Etiological Theories of Adolescent Idiopathic Scoliosis: Past and Present. *Open Orthop. J.* 2017. No. 1. P. 1466–1489. <https://doi.org/10.2174/1874325001711011466>

13. 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. No. 33(3). P. 4194. <https://doi.org/10.1002/nbm.4194>
14. Ferrero E., Skalli W., Khalifé M., Carlier R., Feydy A., Felter A., Guigui P., Lafage V. Volume of spinopelvic muscles: comparison between adult spinal deformity patients and asymptomatic subjects. *Spine Deform.* 2021. No. 9(6). P. 1617–1624. <https://doi.org/10.1007/s43390-021-00357-9>
15. Han G., Jiang Y., Zhang B., Gong C., Li W. Imaging Evaluation of Fat Infiltration in Paraspinal Muscles on MRI: A Systematic Review with a Focus on Methodology. *Orthop Surg.* 2021. No. 13(4). P. 1141–1148. <https://doi.org/10.1111/os.12962>
16. Hildebrandt M., Fankhauser G., Meichtry A., Luomajoki H. Correlation between lumbar dysfunction and fat infiltration in lumbar multifidus muscles in patients with low back pain. *BMC Musculoskelet Disord.* 2017. No. 18(1). P. 12. <https://doi.org/10.1186/s12891-016-1376-1>
17. 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. No. 23. P. 2089–2095. <https://doi.org/10.12659/msm.902455>
18. Kim H. J., Yang J. H., Chang D. G., Suk S. I., Suh S.W., Nam Y., Kim S. I., Song K. S. Long-Term Influence of Paraspinal Muscle Quantity in Adolescent Idiopathic Scoliosis Following Deformity Correction by Posterior Approach. *J. Clin. Med.* 2021. Oct 19. No. 10(20). P. 4790. <https://doi.org/10.3390/jcm10204790>
19. Marunowski K., Świętoń D., Bzyl W., Grzywińska M., Bandosz P., Khrichenko D., Piskunowicz M. Reference values for MRI-derived psoas and paraspinal muscles and macroscopic fat infiltrations in paraspinal muscles in children. *J. Cachexia Sarcopenia Muscle.* 2022. No. 13(5). P. 2515–2524. <https://doi.org/10.1002/jcsm.13049>
20. Sung S., Chae H. W., Lee H. S., Kim S., Kwon J. W., Lee S. B., Moon S. H., Lee H. M., Lee B. H. Incidence and Surgery Rate of Idiopathic Scoliosis: A Nationwide Database Study. *Int J. Environ Res Public Health.* 2021. No. 18(15). P. 8152. <https://doi.org/10.3390/ijerph18158152>
21. Wajchenberg M., Astur N., Fernandes E. A., Paredes-Gamero E. J., Luciano R. P., Schmidt B., Oliveira A. S. B., Martins D. E. 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. No. 28(4). P. 362–367. <https://doi.org/10.1097/BPB.0000000000000578>
22. 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. No. 6(6). P. 691–698. <https://doi.org/10.1016/j.jpspd.2018.04.003>
23. Xia W., Fu H., Zhu Z., Liu C., Wang K., Xu S., Liu H. Association between back muscle degeneration and spinal-pelvic parameters in patients with degenerative spinal kyphosis. *BMC Musculoskelet Disord.* 2019. No. 20(1). P. 454. <https://doi.org/10.1186/s12891-019-2837-0>
24. Yeung K.H., Man G.C.W., Shi L. et al. Magnetic resonance imaging-based morphological change of paraspinal muscles in girls with adolescent idiopathic scoliosis. *Spine (Phila Pa 1976).* 2019. No. 44(19). P. 1356–1363. <https://doi.org/10.1097/BRS.0000000000003078>
25. Zaydman A. M., Strokova E. L., Pahomova N. Y. et al. Etiopathogenesis of adolescent idiopathic scoliosis: Review of the

literature and new epigenetic hypothesis on altered neural crest cells migration in early embryogenesis as the key event. *Med Hypotheses*. 2021. No. 151. P. 110585. <https://doi.org/10.1016/j.mehy.2021.110585>

26. Zhang Y., Zhou Z., Wang C., Cheng X., Wang L., Duanmu Y., Zhang C., Veronese N., Guglielmi G. Reliability of measuring the fat content of the lumbar vertebral marrow and paraspinal muscles using MRI mDIXON-Quant sequence. *Diagn Interv Radiol*. 2018. No. 24(5). P. 302–307. <https://doi.org/10.5152/dir.2018.17323>
27. Zhu D. C., Lin J. H., Xu J. J., Guo Q., Wang Y. H., Jiang C., Lu H. G., Wu Y. S. An assessment of morphological and pathological changes in paravertebral muscle degeneration using imaging and histological analysis: a cross-sectional study. *BMC Musculoskelet Disord*. 2021. No. 22(1). P. 854. <https://doi.org/10.1186/s12891-021-04734-3>

References

1. Zeynalov Yu. L., Burtsev A. V., Diachkova G. V., Diachkov K. A. Idiopathic scoliosis «syndromocomplex». *Geniy Ortopedii*. 2023. No. 29(1). P. 49–56. (in Russ.). <https://doi.org/10.18019/1028-4427-2023-29-1-49-56>
2. Zeynalov Yu. L. The system of treatment of patients with idiopathic scoliosis based on a new clinical diagnostic and rehabilitation complex: Dis. ... doc. medical Sciences. Kurgan: 1FSBI “National Medical Research Center of Trauma and Orthopaedics named after academician G.A. Ilizarov”, Ministry of Health of Russia, Kurgan, Russia, 2023. P. 309. (In Russ.).
3. Mikhailovsky M. V., Vasyura A. S., Novikov V. V. et al. Surgical correction of adult idiopathic scoliosis in adult patients of young and middle age. *Hirurgija pozvonochnika*. 2018. No. 15(3). P. 52–60. (In Russ.). <https://doi.org/10.14531/ss2018.3.52-60>
4. Sergeenko O. M., Savin D. M., Molotkov Yu. V., Sayfutdinov M. S. The use of MRI in the examination of patients with idiopathic scoliosis: a systematic review of the literature. *Hirurgija pozvonochnika*. 2022. No. 19(4). P. 30–39. (In Russ.). <https://doi.org/10.14531/ss2022.4.30-39>
5. Shchurova E. N., Filimonova G. N., Ryabykh S. O. Influence of the deformity magnitude in the thoracic spine on the morphological picture of the paraspinal muscles in patients with severe idiopathic scoliosis. *Geniy Ortopedii*. 2021. No. 27(1). P. 68–73. (In Russ.). <https://doi.org/10.18019/1028-4427-2021-27-1-68-73>
6. Berry D. B., Grant C. D., Farnsworth C. L., Englund E. K., Newton P. O., Shahidi B. The influence of 3D curve severity on paraspinal muscle fatty infiltration in patients with adolescent idiopathic scoliosis. *Spine Deform*. 2021. No. 9(4). P. 987–995. <https://doi.org/10.1007/s43390-021-00318-2>
7. Burian E., Becherucci E. A., Junker D. et al. Association of Cervical and Lumbar Paraspinal Muscle Composition Using Texture Analysis of MR-Based Proton Density Fat Fraction Maps. *Diagnostics (Basel)*. 2021. No. 11(10). P. 1929. <https://doi.org/10.3390/diagnostics11101929>
8. Chen L., Sun Z., He J., Xu Y., Li Z., Zou Q., Li B. Effectiveness and safety of surgical interventions for treating adolescent idiopathic scoliosis: a Bayesian meta-analysis. *BMC Musculoskelet Disord*. 2020. No. 1(1). P. 27. <https://doi.org/10.1186/s12891-020-03233-1>
9. Cho S. M., Kim S. H., Ha S. K., Kim S. D., Lim D. J., Cha J., Kim B. J. Paraspinal muscle changes after single-level posterior lumbar fusion: volumetric analyses and literature review. *BMC Musculoskelet Disord*. 2020. No. 1(1). P. 3. <https://doi.org/10.1186/s12891-020-3104-0>
10. Darnis A., Grobost P., Roussouly P. Very long-term clinical and radiographic outcomes after posterior spinal fusion with pedicular screws for thoracic adolescent idiopathic scoliosis. *Spine Deform*. 2021.

- No. 9(2). P. 441–449. <https://doi.org/10.1007/s43390-020-00217-y>
11. Ding J. Z., Kong C., Li X. Y., Sun X. Y., Lu S. B., Zhao G. G. Different degeneration patterns of paraspinal muscles in degenerative lumbar diseases: a MRI analysis of 154 patients. *Eur Spine J.* 2022. No. 1(3). P. 764–773. <https://doi.org/10.1007/s00586-021-07053-2>
12. Fadzani M., Bettany-Saltikov J. Etiological Theories of Adolescent Idiopathic Scoliosis: Past and Present. *Open Orthop J.* 2017. No. 1. P. 1466–1489. <https://doi.org/10.2174/1874325001711011466>
13. Federau C., Kroismayr D., Dyer L., Farsahad 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. No. 33(3). P. 4194. <https://doi.org/10.1002/nbm.4194>
14. Ferrero E., Skalli W., Khalifé M., Carlier R., Feydy A., Felter A., Guigui P., Lafage V. Volume of spinopelvic muscles: comparison between adult spinal deformity patients and asymptomatic subjects. *Spine Deform.* 2021. No. 9(6). P. 1617–1624. <https://doi.org/10.1007/s43390-021-00357-9>
15. Han G., Jiang Y., Zhang B., Gong C., Li W. Imaging Evaluation of Fat Infiltration in Paraspinal Muscles on MRI: A Systematic Review with a Focus on Methodology. *Orthop Surg.* 2021. No. 13(4). P. 1141–1148. <https://doi.org/10.1111/os.12962>
16. Hildebrandt M., Fankhauser G., Meichtry A., Luomajoki H. Correlation between lumbar dysfunction and fat infiltration in lumbar multifidus muscles in patients with low back pain. *BMC Musculoskelet Disord.* 2017. No. 18(1). P. 12. <https://doi.org/10.1186/s12891-016-1376-1>
17. 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. No. 23. P. 2089–2095. <https://doi.org/10.12659/msm.902455>
18. Kim H. J., Yang J. H., Chang D. G., Suk S. I., Suh S. W., Nam Y., Kim S. I., Song K. S. Long-Term Influence of Paraspinal Muscle Quantity in Adolescent Idiopathic Scoliosis Following Deformity Correction by Posterior Approach. *J. Clin. Med.* 2021. Oct 19. No. 10(20). P. 4790. <https://doi.org/10.3390/jcm10204790>
19. Marunowski K., Świętoń D., Bzyl W., Grzywińska M., Bandosz P., Khrichenko D., Piskunowicz M. Reference values for MRI-derived psoas and paraspinal muscles and macroscopic fat infiltrations in paraspinal muscles in children. *J. Cachexia Sarcopenia Muscle.* 2022. No. 13(5). P. 2515–2524. <https://doi.org/10.1002/jcsm.13049>
20. Sung S., Chae H. W., Lee H. S., Kim S., Kwon J. W., Lee S. B., Moon S. H., Lee H. M., Lee B. H. Incidence and Surgery Rate of Idiopathic Scoliosis: A Nationwide Database Study. *Int J. Environ Res Public Health.* 2021. No. 18(15). P. 8152. <https://doi.org/10.3390/ijerph18158152>
21. Wajchenberg M., Astur N., Fernandes E.A., Paredes-Gamero E. J., Luciano R. P., Schmidt B., Oliveira A. S. B., Martins D. E. 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. No. 28(4). P. 362–367. <https://doi.org/10.1097/BPB.0000000000000578>
22. 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. No. 6(6). P. 691–698.e1. <https://doi.org/10.1016/j.jspd.2018.04.003>
23. Xia W., Fu H., Zhu Z., Liu C., Wang K., Xu S., Liu H. Association between back

- muscle degeneration and spinal-pelvic parameters in patients with degenerative spinal kyphosis. *BMC Musculoskelet Disord.* 2019. No. 20(1). P. 454. <https://doi.org/10.1186/s12891-019-2837-0>
24. Yeung K. H., Man G. C. W., Shi L. et al. Magnetic resonance imaging-based morphological change of paraspinal muscles in girls with adolescent idiopathic scoliosis. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2019. No. 44(19). P. 1356–1363. <https://doi.org/10.1097/BRS.0000000000003078>
25. Zaydman A. M., Strokova E. L., Pahomova N. Y. et al. Etiopathogenesis of adolescent idiopathic scoliosis: Review of the literature and new epigenetic hypothesis on altered neural crest cells migration in early embryogenesis as the key event. *Med. Hypotheses*. 2021. No. 151. P. 110585. <https://doi.org/10.1016/j.mehy.2021.110585>
26. Zhang Y., Zhou Z., Wang C., Cheng X., Wang L., Duanmu Y., Zhang C., Veronese N., Guglielmi G. Reliability of measuring the fat content of the lumbar vertebral marrow and paraspinal muscles using MRI mDIXON-Quant sequence. *Diagn Interv Radiol.* 2018. No. 24(5). P. 302–307. <https://doi.org/10.5152/dir.2018.17323>
27. Zhu D. C., Lin J. H., Xu J. J., Guo Q., Wang Y. H., Jiang C., Lu H. G., Wu Y. S. An assessment of morphological and pathological changes in paravertebral muscle degeneration using imaging and histological analysis: a cross-sectional study. *BMC Musculoskelet Disord.* 2021. No. 22(1). P. 854. <https://doi.org/10.1186/s12891-021-04734-3>

Сведения об авторах / Information about the authors

Дьячкова Галина Викторовна, доктор медицинских наук, профессор, заведующая лабораторией рентгеновских и ультразвуковых методов диагностики ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени академика Г. А. Илизарова» Минздрава России, Курган, Россия.

640014, г. Курган, ул. М. Ульяновой, д. 6.

+7 (3522) 45-26-14

Вклад автора: идея; формулировка цели, разработка методологии; подготовка и написание первоначального проекта работы; внесение корректировки в первоначальный вариант.

Diachkova Galina Viktorovna, M. D. Med., Professor, Head of the laboratory FSBI «National Medical Research Center of Trauma and Orthopaedics named after academician G.A. Ilizarov», Ministry of Healthcare of Russia, Kurgan, Russia.

6, ul. M. Ulyanova, Kurgan, 640014, Russia.

+7 (3522) 45-26-14

Authors' contribution: idea; formulating purpose, development of methodology; preparation and writing the initial draft of the work; correction of the initial draft.

Зейналов Юсиф Латифович, кандидат медицинских наук, ортопед-вертебролог Госпиталя Военно-медицинского управления Службы государственной безопасности Азербайджанской Республики, Баку, Республика Азербайджан.

Мектебли 1, пос. Бадамдар, Сабаильский район, г. Баку, AZ1000, Республика Азербайджан.

+9 (945) 038-88-10

Вклад автора: проведение процесса исследования, в частности, сбор данных; применение статистических методов; написание раздела в первоначальном варианте.

Zeynalov Yusif Latifovich, Ph. D, Orthopedic Spine Surgeon of Hospital of Military and Medical Division of State Security Service of the Republic of Azerbaijan, Baku, the Republic of Azerbaijan. 1, Baku Mektebli, pos. Badamdar, Sabail district, AZ1000, Republic of Azerbaijan.

+9 (945) 038-88-10

Authors' contribution: performing the study process, in particular data gathering; application of statistical methods; writing a chapter in the initial draft.

Бурцев Александр Владимирович, доктор медицинских наук, директор ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени академика Г. А. Илизарова» Минздрава России, Курган, Россия.

Адрес: 640014, г. Курган, ул. М. Ульяновой, д. 6.

+7 (3522) 45-47-47

Вклад автора: контроль и руководство планированием и выполнением работы; внесение корректировки в первоначальный вариант.

Burtsev Alexander Vladimirovich, M. D. Med., Director FSBI «NMRC TO named after academician G.A. Ilizarov», Ministry of Healthcare of Russia, Kurgan, Russia.

6, ul. M. Ulyanova, Kurgan, 640014, Russia.

+7 (3522) 45-47-47

Authors' contribution: control and supervising the planning and performance of the work; correction of the initial draft.

Дьячков Константин Александрович, доктор медицинских наук, главный научный сотрудник лаборатории рентгеновских и ультразвуковых методов диагностики, заведующий рентгеновским отделением ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени академика Г. А. Илизарова» Минздрава России, Курган, Россия.

640014, г. Курган, ул. М. Ульяновой, д. 6.

+7 (3522) 45-37-49

Вклад автора: создание метаданных; проверка воспроизводимости результатов исследований; применение статистических методов.

Diachkov Konstantin Alexandrovich, M. D. Med., Leading Scientific Researcher, Head of Radiology Dept. FSBI «National Medical Research Center of Trauma and Orthopaedics named after academician G. A. Ilizarov», Ministry of Healthcare of Russia, Kurgan, Russia.

6, ul. M. Ulyanova, Kurgan, 640014, Russia.

+7 (3522) 45-37-49

Authors' contribution: creating meta-data; checking results reproducibility; application of statistical methods.

Ларионова Татьяна Адиславовна, кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник лаборатории рентгеновских и ультразвуковых методов диагностики ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени академика Г. А. Илизарова» Минздрава России, Курган, Россия.

640014, г. Курган, ул. М. Ульяновой, д. 6.

+7 (3522) 45-44-95

Вклад автора: написание раздела работы в черновом варианте; подготовка работы к публикации; внесение корректировки в первоначальный вариант. Подготовка презентации данных.

Larionova Tatyana Adislavovna, Ph. D, Senior Research Associate FSBI "National Medical Research Center of Trauma and Orthopaedics named after academician G. A. Ilizarov", Ministry of Healthcare of Russia, Kurgan, Russia.

6, ul. M. Ulyanova, Kurgan, 640014, Russia.

+7 (3522) 45-37-49

Authors' contribution: writing a chapter in the initial draft; preparing the work for publication; correction of the initial draft. Preparation of data presentation.

Финансирование исследования и конфликт интересов

Исследование не финансировалось какими-либо источниками. Авторы заявляют, что данная работа, ее тема, предмет и содержание не затрагивают конкурирующих интересов. Мнения, изложенные в статье, принадлежат авторам рукописи. Авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Research funding and conflict of interest

The study was not funded by any sources. The authors state that this work, its topic, subject and content do not affect competing interests. The opinions expressed in the article belong to the authors of the manuscript. The

authors confirm the compliance of their authorship with the international ICMJE criteria (all authors have made a significant contribution to the development of the concept, the preparation of the article, read and approved the final version before publication).

Статья поступила в редакцию 25.08.2023;
одобрена после рецензирования 24.10.2023;
принята к публикации 29.10.2023.

The article was submitted 25.08.2023;
approved after reviewing 24.10.2023;
accepted for publication 29.10.2023.