



ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

Научная статья.
<https://doi.org/10.52560/2713-0118-2021-5-11-27>

Компьютерно-томографическая семиотика апикальных позвонков у больных идиопатическим сколиозом в возрасте от 14 до 18 лет в зависимости от величины деформации позвоночника

Ю. А. Зейналов¹, Г. В. Дьячкова^{*,2}, А. В. Бурцев², К. А. Дьячков²,
И. В. Сутягин², Т. А. Ларионова²

¹ Клиника Военно-медицинского управления Службы государственной безопасности Азербайджанской Республики, Баку

² ФГБУ «Научный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. акад. Г. А. Илизарова» Минздрава России, Курган

Реферат

Идиопатический сколиоз, оставаясь, по мнению многих авторов, идиопатическим в смысле невыясненной в полном представлении этиологии заболевания, тем не менее имеет в результате сложнейших многолетних исследований определенную теорию патогенеза сколиоза, заключающуюся в дисгармонии продольного роста позвоночника и спинного мозга, формировании торсии позвонков. Применение на протяжении 20 лет различных вариантов современного вертебрального инструментария позволило разработать дифференцированный подход к выбору оперативного вмешательства с учетом возраста больного и особенностей деформированного позвоночника. Однако применение современных методов диагностики показало, что далеко не все детали строения деформированных позвонков изучены, в частности апикальных, которые, находясь на вершине деформации, как правило, более изменены. Применение мультисрезовой компьютерной томографии (МСКТ) и современных методов статистики позволило выявить особенности строения апикальных позвонков в группе подростковых сколиозов (14–18 лет), что имеет значение в повышении эффективности предоперацион-

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

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

Тел. +7 (3522) 45-26-14. Электронная почта: dgv2003@list.ru

[ORCID.org/0000-0003-1973-4680](https://orcid.org/0000-0003-1973-4680)

Diachkova Galina Viktorovna, M. D. Med., Professor National Medical Research Center for Traumatology and Orthopedics named after academician G. A. Ilizarov Ministry of Healthcare of Russia, Head of the Laboratory of X-ray and Ultrasound Diagnostic Methods.

Address: 6, ul. M. Ulianova, Kurgan, 640014, Russia.

Phone: +7 (3522) 45-26-14. E-mail: dgv2003@list.ru

[ORCID.org/0000-0003-1973-4680](https://orcid.org/0000-0003-1973-4680)

© Ю. А. Зейналов, Г. В. Дьячкова, А. В. Бурцев, К. А. Дьячков, И. В. Сутягин, Т. А. Ларионова.

ного планирования, улучшении результатов лечения идиопатического сколиоза, одной из сложнейших проблем вертебрологии.

Ключевые слова: идиопатический сколиоз, апикальный позвонок, дети, мультисрезовая компьютерная томография.

ORIGINAL ARTICLES

Scientific article.

Computed Tomographic Semiotics of Apical Vertebrae in Patients with Idiopathic Scoliosis Aged from 14 to 18 years, Depending on the Magnitude of Spinal Deformity

Yu. L. Zejnalov¹, G. V. Diachkova², A. V. Burtsev², K. A. Diachkov²,
I. V. Sutyagin², T. A. Larionova²

¹ Clinic of the Military Medical Department of the State Security Service of the Republic of Azerbaijan, Baku

² National Medical Research Center for Traumatology and Orthopedics named after academician G. A. Ilizarov of the Ministry of Health of the Russian Federation, Kurgan, Russia

Abstract

Idiopathic scoliosis, as many authors think, being idiopathic in terms of not fully clear etiology of the disease, due to the most complicated long-term studies, has a certain theory of the pathogenesis of scoliosis, which includes the disharmony of the longitudinal growth of the spine and spinal cord and the formation of vertebral torsion. The application of various versions of modern vertebral instrumentation for 20 years made it possible to develop a differentiated approach to the choice of surgical intervention, taking into account the patient's age and the peculiarities of the deformed spine. Nevertheless, the use of current diagnostic methods indicated that not all the details of the deformed vertebral structure have been studied, in particular the apical ones, that are usually more changed being at the apex of the deformity. The application of multislice computed tomography (MSCT) and current statistical methods made it possible to reveal the structural features of the apical vertebrae in the group of adolescent scoliosis (14–18 years old), that is important for increasing the effectiveness of preoperative planning and improving the results of idiopathic scoliosis treatment being one of the most difficult problems of the spine surgery.

Key words: Idiopathic Scoliosis, Apical Vertebra, Children, Multislice Computed Tomography.

Актуальность

По данным International Scientific Society on Scoliosis Orthopaedic and Rehabilitation Treatment (SOSORT) (2018), сколиоз примерно в 20 % случаев является вторичным по отношению к другому патологическому процессу. Остальные

80 % — это случаи идиопатического сколиоза. Подростковый идиопатический сколиоз (AIS) с углом Cobb более 10° встречается в общей популяции в широком диапазоне распространенности от 0,93 до 12 %. Наиболее часто встречаю-

щееся в литературе значение — от 2 до 3 %, которое, по мнению авторов, связано с местом проживания [5, 11]. Идиопатический сколиоз, оставаясь, по мнению многих авторов, идиопатическим в смысле невыясненной в полном представлении этиологии заболевания, тем не менее имеет в результате сложнейших многолетних исследований определенную теорию патогенеза сколиоза, заключающуюся в дисгармонии продольного роста позвоночника и спинного мозга, формировании торсии позвонков [2].

На фоне продолжающегося роста на выпуклой стороне и отсутствия на вогнутой, формируется деформация позвоночника. Морфологические, биохимические, ультраструктурные данные подтверждают асимметрию роста как патогенетический механизм идиопатического сколиоза под влиянием генетических и других факторов [3, 12]. Применение на протяжении 20 лет различных вариантов современного вертебрального инструментария позволило разработать дифференцированный подход к выбору оперативного вмешательства с учетом возраста больного и особенностей деформированного позвоночника. Во многом эти успехи связаны с широким применением для предоперационной подготовки современных методов лучевой диагностики, особенно компьютерной томографии [4, 15]. Большое количество исследований было проведено для изучения ножек позвонков как важнейшего объекта для транспедикулярной фиксации [1, 7]. В работе С. В. Виссарионова и др. (2019) были подробно исследованы основания дуг позвонков, выявлена выраженная асимметрия как ширины, так и высоты их по вогнутой и выпуклой сторонам деформации в грудном отде-

ле позвоночника. Найдена прямая корреляция значений величины ротации апикального позвонка и коэффициента асимметрии площадей оснований дуг в грудном отделе [1]. Постоянно проводились исследования по минеральной плотности позвонков при АИС и практически все исследования показали, что низкая минеральная плотность костной ткани (МПК) была генерализованным явлением и системным проявлением при АИС. Остеопороз был выявлен, по разным данным, у 20–38 % больных идиопатическим сколиозом [9, 13]. Во многих исследованиях изучалась деформация позвонков с точки зрения клиновидной деформации и изменения ножки позвонка, но лишь в единичных работах изучались фактические структурные изменения позвонков, в частности их плотность [4, 5, 10, 14]. В работе F. R. Labrom, M. T. Izatt (2009) впервые с точки зрения анализа патологоанатомической вариации изучена морфология тела позвонка с точным описанием костных структур на различном уровне, которые являются фокусом инструментальных хирургических вмешательств, описаны анатомические различия между телами позвонков, что, по мнению авторов, проливает свет на возможные патогенетические механизмы начала сколиотической деформации [8]. В работе С. J. Adam, G. N. Askin (2009) в результате измерения плотности позвонков при идиопатическом сколиозе методом КТ установлено, что в апикальном позвонке средняя плотность кости по левому (вогнутому) компактному слою его тела была на 23,5 % выше, чем по правой (выпуклой) стороне. Плотность губчатой кости при измерении на протяжении 60,0 % расстояния от выпуклого до вогнутого края тела апикально-

го позвонка увеличилась на 13,8 % [5]. Анализ литературы показал, что далеко не все аспекты количественной оценки состояния позвонков при идиопатическом сколиозе изучены в полной мере и нет четких представлений о состоянии апикального позвонка у больных с различной величиной деформации позвоночника, что крайне важно для предоперационного планирования и улучшения результатов лечения.

Цель: изучить анатомические и рентгеноморфологические особенности апикальных позвонков у больных идиопатическим сколиозом в возрасте 14–18 лет методом МСКТ.

Материалы и методы

У 31 больного идиопатическим сколиозом различной степени тяжести в грудном отделе позвоночника в возрасте от 14 до 18 лет изучено состояние апикальных позвонков в рамках сплошного ретроспективного одноцентрового исследования. Всем пациентам осуществляли рентгенографию позвоночника в стандартных проекциях. По рентгенограм-

мам оценивали величину основной дуги искривления по Cobb в прямой и боковой проекциях, определяли тип деформации по локализации вершин основных дуг искривления, их структуральность. Кроме того, использовали МСКТ для более детального изучения структуры и плотности позвонков при подготовке к хирургическому лечению с использованием систем внутренней транспедикулярной фиксации Medtronic (USA) (90,0 %) и Orion (Англия) (рис. 1, а – д).

Среди пациентов было 28 (90,3 %) девочек и 3 (9,7 %) юноши. Величина сколиотической дуги у оперированных больных находилась в коридоре значений 30–110° (табл. 1).

У всех пациентов имело место прогрессирование деформации от 6 до 15° в год. В исследование вошли пациенты, у которых был типичный правосторонний сколиоз. Мобильными были деформации у 25 больных (коррекция при тракционном тесте более чем на 35 %), ригидными — у 6. У 4 больных были выполнены двухэтапные операции, у остальных — одноэтапные.

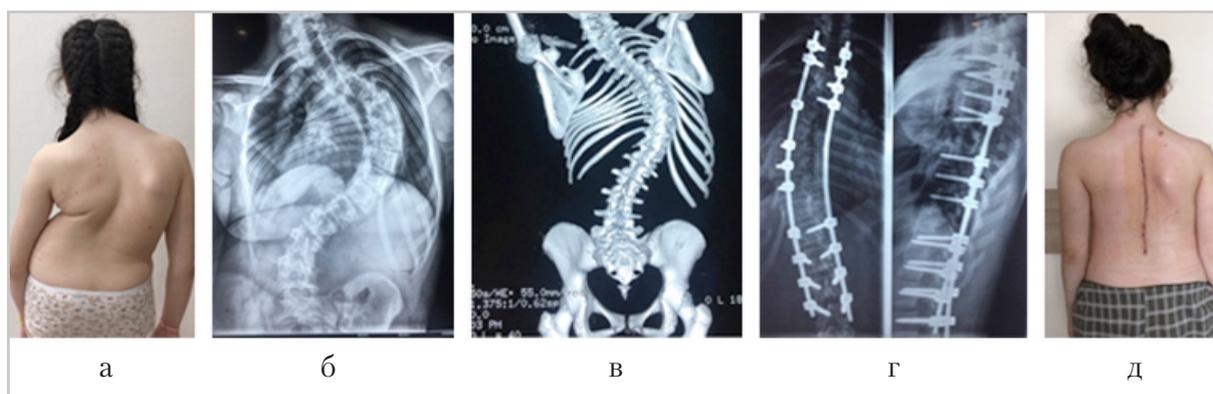


Рис. 1. Фотографии и диагностические изображения больной К., 12 лет. Идиопатический неосложненный прогрессирующий субкомпенсированный ригидный правосторонний грудной сколиоз IV степени (111° по Cobb). Задний правосторонний реберный горб. Фото до операции (а), рентгенограмма позвоночника в прямой проекции (б) и компьютерная томограмма (3D-реконструкция) (в) до операции; рентгенограммы в двух проекциях (г) и фото пациентки после операции (д)

Таблица 1

Распределение больных по виду сколиоза и величине сколиотической деформации

| Вид сколиоза, количество больных | Величина деформации, ° | | |
|--|------------------------|-------|--------|
| | 30–45 | 55–75 | 90–110 |
| Идиопатический прогрессирующий правосторонний грудной сколиоз. Задний правосторонний реберный горб | 7 | 5 | 4 |
| Идиопатический прогрессирующий сколиоз S-образной формы. Задний правосторонний реберный горб | 6 | 5 | 4 |

Определение

Апикальный (вершинный) позвонок — наиболее горизонтально расположенный, наиболее ротированный, наиболее отстоящий от средней крестцовой линии и наиболее деформированный позвонок сколиотической дуги.

Критерий включения: больные идиопатическим сколиозом в возрасте от 14 до 18 лет до лечения с деформацией от 40 до 110°.

Критерии исключения: пациенты с наличием врожденной патологии позвоночника и спинного мозга, сколиозом другой этиологии, старше 18 лет.

Исследование выполнено в соответствии с этическими стандартами Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации. Все больные подписали информированное согласие на публикацию данных без идентификации личности.

Статистическую обработку параметров плотности проводили с помощью программы Attestat. Для подтверждения выводов о различиях между полученными результатами в двух группах, учитывая малые выборки, применяли U-критерий Манна — Уитни. Критический уровень значимости (p) при про-

верке статистических гипотез в данном исследовании принимали равным 0,05.

Исследование проведено на томографе GE OPTIMA CT660 USA, для сканирования использовались срезы толщиной 0,625 мм. Изучены общая и локальная плотность позвонка в аксиальной и фронтальной плоскостях, плотность позвонка по вогнутой и выпуклой поверхностям. Измерение плотности позвонков на аксиальных срезах проводили по всей площади поперечного сечения позвонка. Для этого на аксиальном срезе тело всего позвонка обводили замкнутой линией, внутри которой измеряли плотность и площадь.

Кроме того, исследовали и локальную плотность позвонка в отдельных его участках, а также отдельно плотность компактного слоя и губчатой кости. Применяли также 3D-реконструкции (рис. 2, а – в).

Результаты и их обсуждение

При подготовке к операции выполняли рентгеновское исследование позвоночника в двух проекциях, проводили bending test и пробу на вытяжение, компьютерную томографию. Фотографировали заключительный этап операции и результат лече-

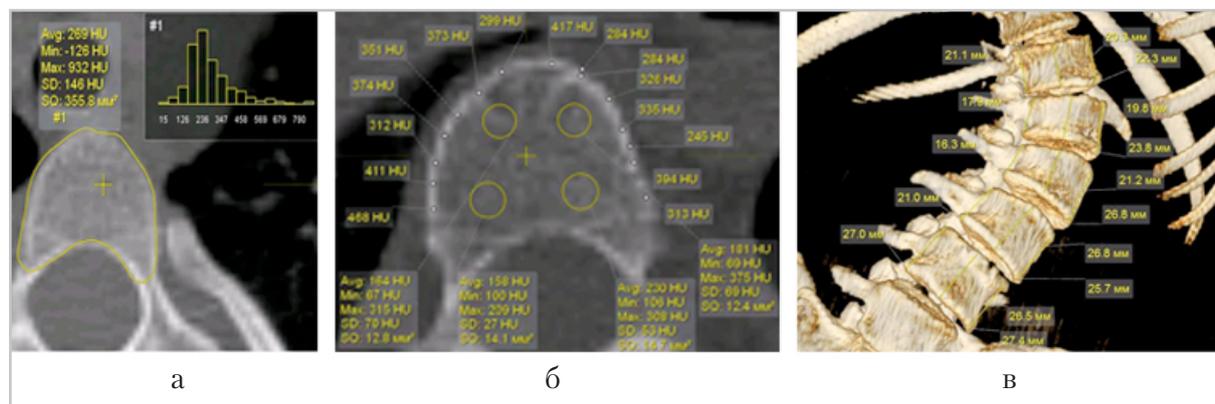


Рис. 2. Компьютерные томограммы грудного отдела позвоночника больной 16 лет идиопатическим S-образным сколиозом с деформаций в Th 55° – L75° (а, б – аксиальные срезы, определение плотности тела позвонка с построением гистограммы, определение плотности компактного слоя и локальной плотности тела позвонка по вогнутой и выпуклой поверхности. Форма позвонков в поясничном отделе позвоночника у больной с деформацией 75° (3D-реконструкция) (в)

ния перед выпиской из стационара. Поскольку основной задачей исследования было детальное исследование апикального позвонка методом МСКТ, подробно анализировали эти данные. Данные рентгенографии использовались для предварительного распределения больных по величине деформации, типу сколиоза, мобильности деформации и представлены в разделе «Материалы и методы».

Общая плотность позвонка в основной дуге при S-образном сколиозе составляла в среднем $286,6 \pm 45,7$ HU. Локальная плотность губчатой кости с выпуклой стороны в грудном отделе была на $43,7 \pm 12,8$ HU меньше, чем с вогнутой, в поясничном при S-образном сколиозе меньше на $76,8 \pm 12,8$ HU.

Результаты изучения плотности компактного слоя позвонка на аксиальном срезе и локального измерения плотности губчатой кости по выпуклой и вогнутой сторонам в грудном и поясничном отделах показали более высокие показатели по вогнутой стороне у всех больных S-образным сколиозом (рис. 3, а – г).

Исследование плотности компактного слоя в апикальном позвонке во фронтальной плоскости также выявило значительное отличие показателей по выпуклой и вогнутой сторонам. У пациентки с S-образным сколиозом IV степени при деформации Th – 90°, Th–L – 110° по Cobb плотность компактного слоя по вогнутой поверхности в два раза превышала плотность по выпуклой стороне. Максимальная плотность отмечена в центре компактного слоя (рис. 4, а). При 3D-реконструкции зона максимальной плотности хорошо визуализировалась в области апикального позвонка (рис. 4, б).

Данные о плотности компактного слоя апикального позвонка в грудном и поясничном отделах в аксиальной плоскости на выпуклой и вогнутой сторонах у пациентов с S-образной деформацией представлены в табл. 2.

Плотность апикального позвонка на выпуклой стороне в аксиальной плоскости в грудном отделе у пациентов с S-образной деформацией при ве-

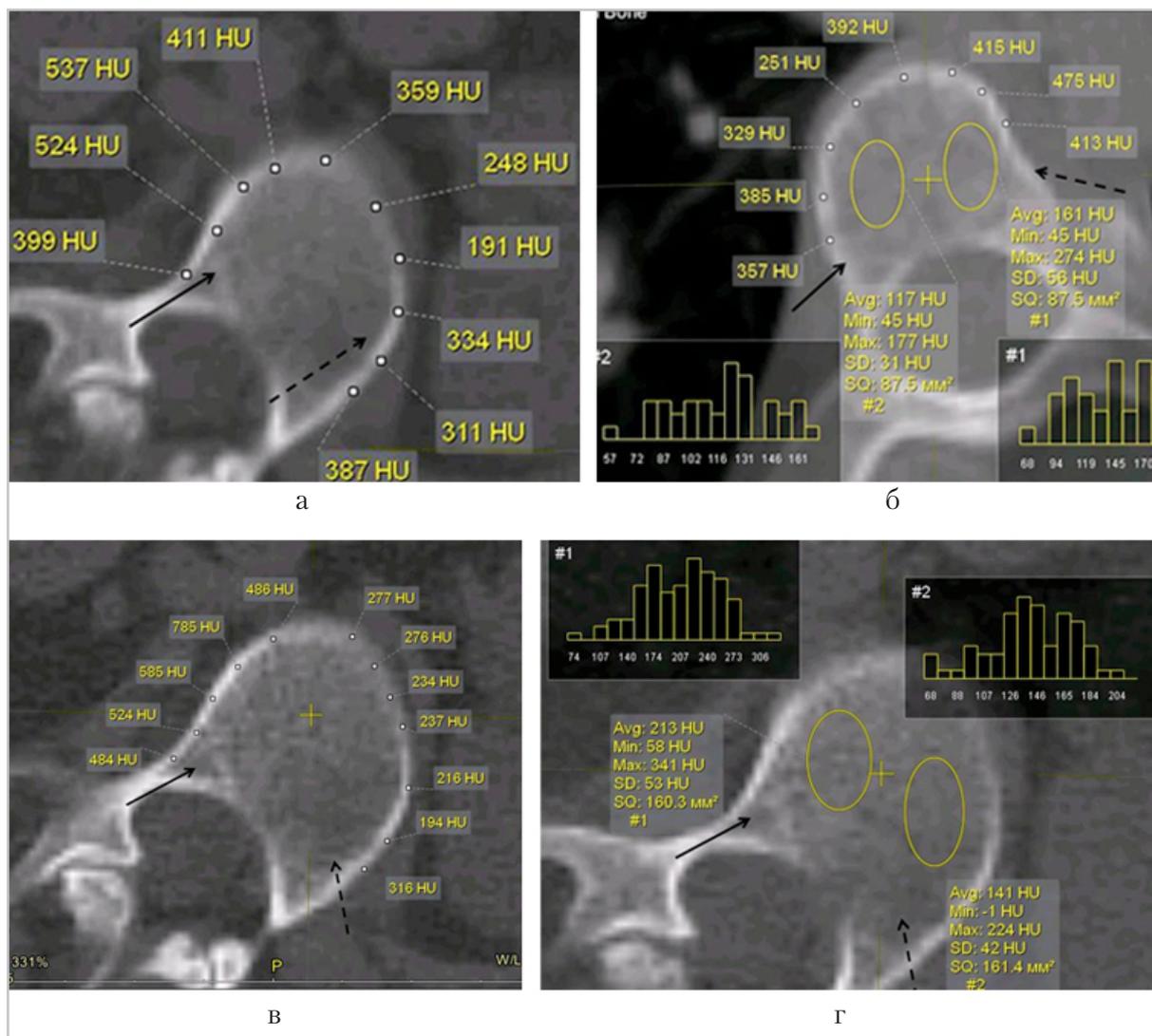


Рис. 3. Компьютерные томограммы грудного и поясничного отделов позвоночника у больной 16 лет S-образным сколиозом (Th – 55°, Th–L – 75° по Cobb). Аксиальные срезы (а, б – грудной отдел, в, г – поясничный). Измерение плотности по выпуклой (пунктирная стрелка) и вогнутой сторонам (стрелка) апикального позвонка

личине ее Th 90–110° на 15 % превышала плотность на вогнутой стороне, при деформации Th 55–75° – на 28 %, Th 35–40° – на 81 %. В поясничном отделе плотность апикального позвонка в аксиальной плоскости при величине деформации Th–L 90–110° по вогнутой стороне на 92 % превышала плотность по выпуклой поверхности, при величине деформации Th–L 55–75° –

на 116 %, при деформации Th–L 30–45° – на 104 %.

Анализ данных с построением диаграмм позволил более подробно анализировать различия плотности и их достоверность. Так, в поясничном отделе при величине деформации S-образного сколиоза Th 90 – Th–L 110° плотность апикального позвонка по выпуклой и вогнутой сторонам отличалась досто-

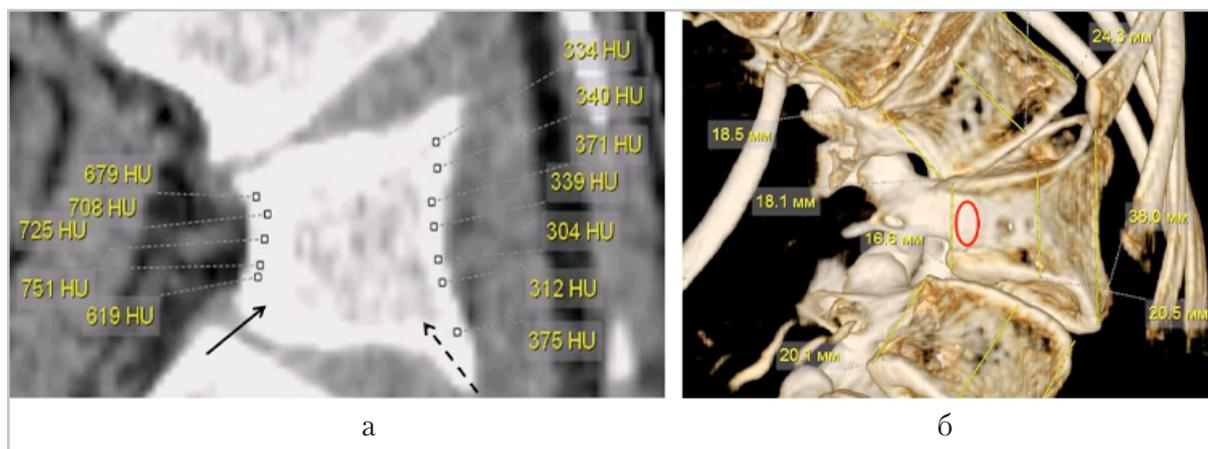


Рис. 4. Компьютерные томограммы поясничного отдела позвоночника (фронтальная плоскость) больной Z., 16 лет. Идиопатический прогрессирующий сколиоз S-формы IV степени (Th – 90°, Th–L – 110° по Cobb). Задний правосторонний реберный горб. Измерение плотности по выпуклой (пунктирная стрелка) и вогнутой сторонам (стрелка) деформации апикального позвонка (а), 3D-реконструкция (б), зона максимальной плотности выделена красным овалом

Таблица 2

Плотность компактного слоя апикального позвонка в грудном и поясничном отделах в аксиальной плоскости на выпуклой и вогнутой сторонах у пациентов с S-образной деформацией (НУ)

| Величина деформации | Отдел позвоночника | | | |
|---------------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|
| | Грудной | | Поясничный | |
| | Выпуклая сторона | Вогнутая сторона | Выпуклая сторона | Вогнутая сторона |
| 35–40° | 146,2 ± 7,8 | 265,3 ± 25,2† | 154,8 ± 6,2 | 319,3 ± 26,8* |
| 55–75° | 299,0 ± 19,8 | 383,3 ± 26,7† | 243,2 ± 64,6 | 526,5 ± 65,4** |
| 90–110° | 405,3 ± 118,9 | 467,3 ± 47,9 | 345,2 ± 23,9 | 696,8 ± 48,3** |

* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$ – отличия плотности по выпуклой и вогнутой сторонам в группах Th 35–40°; Th 55–75° и Th–L – 90–110° в поясничном отделе позвоночника;

† – $p < 0,05$ – отличия плотности по выпуклой и вогнутой сторонам в группах Th 35–40°; Th 55–75° в грудном отделе позвоночника

верно ($p < 0,01$), тогда как в грудном отделе отличия были недостоверными ($p > 0,05$). При величине деформации Th 55° – L 75° показатели плотности отличались достоверно и для поясничных позвонков ($p < 0,01$), и позвонков в грудном отделе ($p < 0,05$). При постро-

ении общих диаграмм получили более четкую картину отличий плотностей выпуклой и вогнутой сторон поясничных и грудных позвонков в зависимости от величины деформации (рис. 5, а, б).

Вторая группа пациентов, у которых изучена плотность апикально-

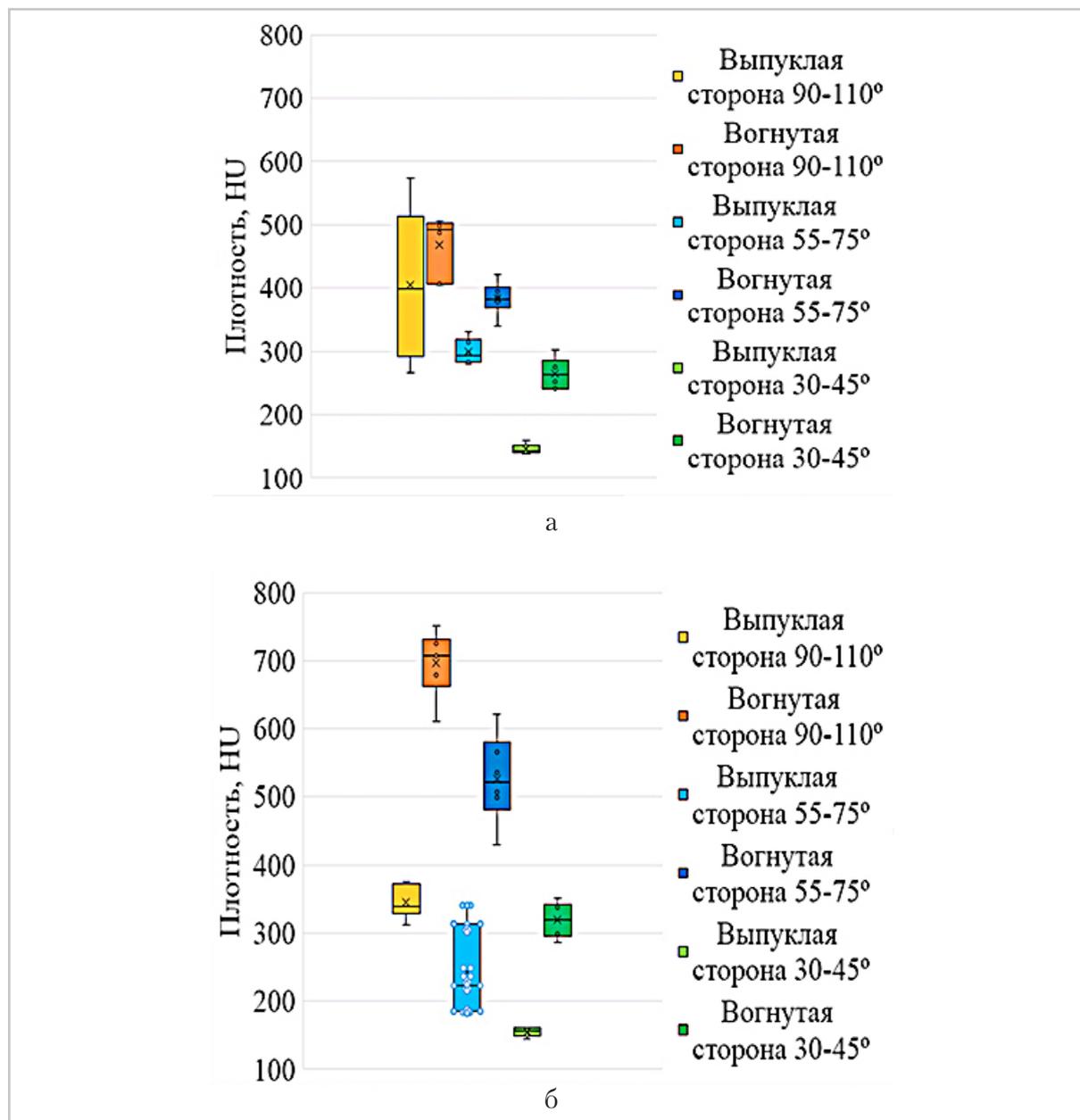


Рис. 5. Диаграммы сравнения плотности (НУ) поясничных (а) и грудных (б) позвонков у больных S-образным сколиозом по выпуклой и вогнутой сторонам при различной величине деформации

Примечание. В графике цвет обозначает среднее значение, горизонтальная линия — эксклюзивная медиана, прямоугольник показывает межквартильный размах, а вертикальные линии — планки погрешностей.

го позвонка, — больные с С-образным грудным сколиозом. Данные о плотности компактного слоя апикального позвонка в грудном отделе в аксиальной

плоскости на выпуклой и вогнутой сторонах у пациентов с С-образной деформацией позвоночника представлены на рис. 6.

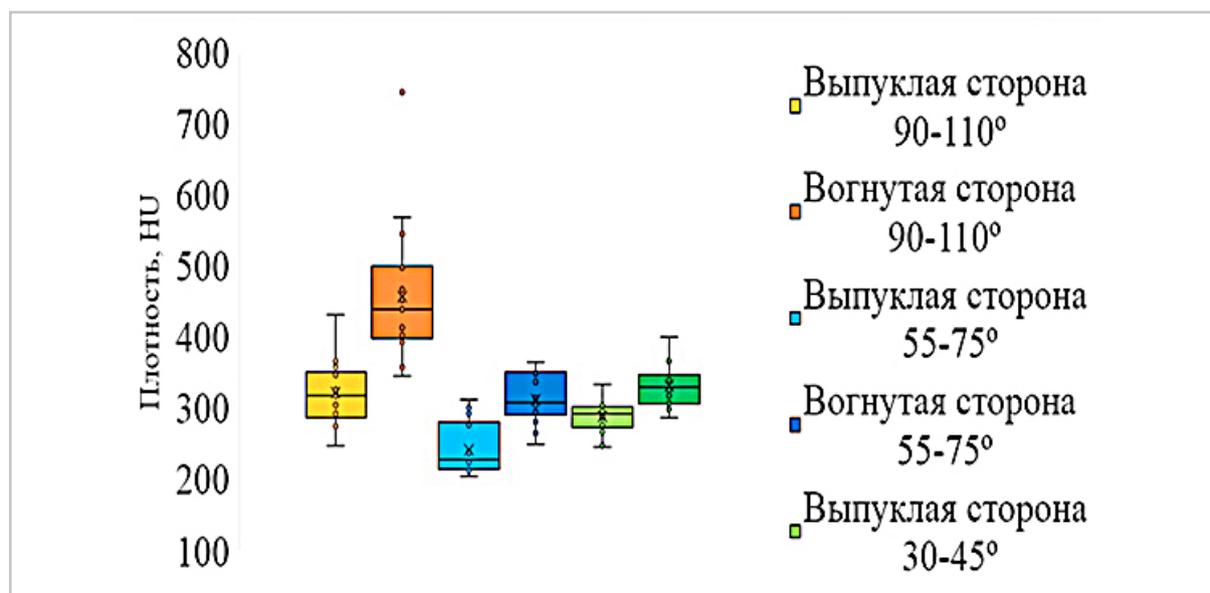


Рис. 6. Диаграмма сравнения плотности (НУ) грудных позвонков у больных S-образным сколиозом по выпуклой и вогнутой сторонам при различной величине деформации
Примечание. В графике цвет обозначает среднее значение, горизонтальная линия — эксклюзивная медиана, прямоугольник показывает межквартильный размах, а вертикальные линии — планки погрешностей.

Плотность компактного слоя апикального позвонка у больных S-образным сколиозом по вогнутой стороне при деформации Th 90–110° в сравнении с выпуклой стороной была на 42,1 % больше. При деформации Th 55–75° — только на 15 %, при Th 35–40° — на 29 %. Проведено изучение плотности губчатой кости в центральном отделе апикального позвонка при измерении ее от выпуклой к вогнутой стороне по линии, занимающей путь в 60 % от минимального значения плотности компактного слоя до максимального его показателя на выпуклой стороне (рис. 7, а, б).

В таблице 3 представлены данные о показателях изменения плотности губчатого вещества тела позвонка в грудном отделе при С- и S-образном сколиозе по линии, занимающей 60 % (линия Б) от протяженности расстояния от минимального значения плот-

ности компактного слоя на выпуклой стороне до максимального его показателя на вогнутой стороне (линия А), и в поясничном отделе при S-образном сколиозе от максимального значения плотности компактного слоя до минимального его показателя на выпуклой стороне в зависимости от величины деформации.

Плотность губчатой кости в средней части позвонка при измерении ее на аксиальном срезе в грудном отделе увеличивалась от минимальной (на выпуклой стороне) к максимальной (на вогнутой поверхности) на величину, зависящую от величины деформации (максимально при деформации 90–110°). В поясничном отделе при S-образном сколиозе плотность уменьшалась от максимального значения плотности компактного слоя на вогнутой стороне до минимального его показателя на выпуклой

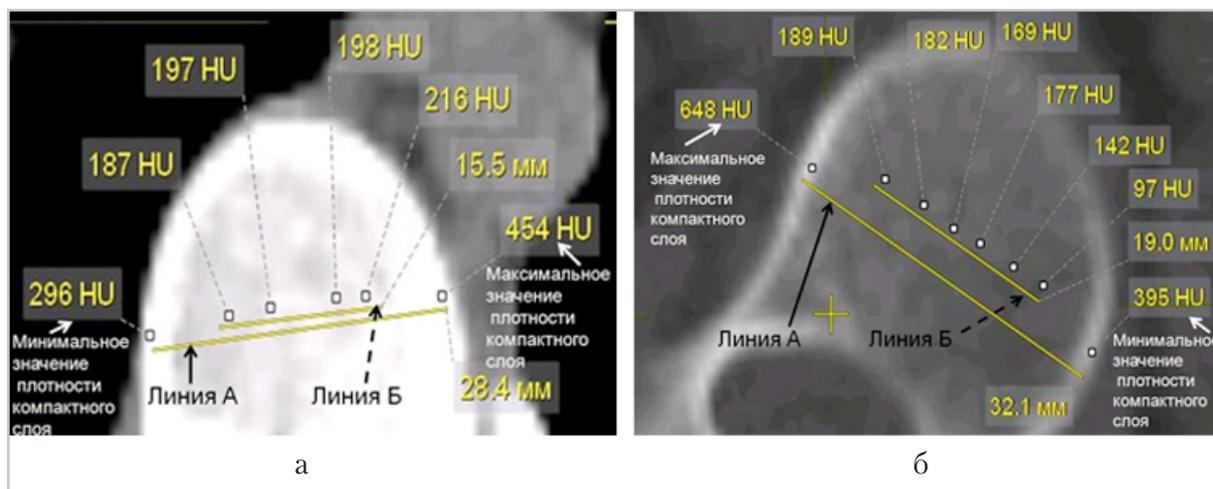


Рис. 7. Схема измерения плотности губчатой кости в теле апикального позвонка в грудном отделе от выпуклой к вогнутой стороне по линии, занимающей путь в 60 % (линия Б) протяженности линии от минимального значения плотности компактного слоя до максимального его показателя на выпуклой стороне (линия А) (а); от вогнутой к выпуклой стороне в поясничном отделе при S-образном сколиозе по линии, занимающей путь в 60 % (линия Б) протяженности расстояния от максимального значения плотности компактного слоя до минимального его показателя на выпуклой стороне (линия А) (б)

Таблица 3

Градиент изменения плотности губчатого вещества тела позвонка в грудном отделе при C- и S-образном сколиозе

| Вид и локализация сколиоза | Величина деформации, % | | |
|---|------------------------|--------|---------|
| | 30–45° | 55–75° | 90–120° |
| C-образный: увеличение плотности от минимальной к максимальной | 15 | 22 | 76 |
| S-образный (грудной отдел): увеличение плотности от минимальной к максимальной | 38 | 60 | 60 |
| S-образный (поясничный отдел): уменьшение плотности от максимальной к минимальной | 41 | 64 | 72 |

стороне в зависимости от величины деформации (на 72,0 % при деформации 90–110°).

Применение современных методов лучевой диагностики значительно расширило представление об изменениях позвонков, параспинальных мышц,

спинного мозга у больных идиопатическим сколиозом, при этом компьютерной томографии принадлежит особая роль, поскольку кроме качественных характеристик метод позволяет изучить и количественные показатели, характеризующие структурные изменения

в различных отделах деформированных позвонков [4, 6, 10, 15].

Большое количество рентгенологических исследований посвящено анатомическим и рентгеноморфологическим особенностям ножек дуги позвонка, поскольку именно они определяют выбор инструментария при использовании транспедикулярной фиксации [1, 7].

Оценка изменений тела позвонка также крайне важна, однако данной теме посвящено сравнительно небольшое количество публикаций [1, 4, 8, 10].

В работе С. J. Adam, G. N. Askin (2009) методом компьютерной томографии изучен латеральный (справа налево) профиль плотности кости на средней высоте тела каждого позвонка.

Результаты показали заметную асимметрию плотности кости на вершине сколиотической дуги и краниальнее или каудальнее нее. В апикальном позвонке средняя плотность компактной кости по вогнутой поверхности была на 23,5 % выше, чем на выпуклой стороне (без указания величины деформации), а плотность губчатой кости на протяжении 60 % расстояния от выпуклой до вогнутой стороны увеличилась на 13,8 % [5]. Поскольку в нашем исследовании отдельно анализировалась плотность компактной и губчатой кости у больных С- и S-образным сколиозом при различной величине деформации, получен гораздо больший объем информации. Плотность компактного слоя апикального позвонка на выпуклой стороне в аксиальной плоскости в грудном отделе у пациентов с S-образной деформацией при величине ее Th 90–110° на 15 % превышала плотность на вогнутой стороне ($p > 0,05$), при деформации Th 55–75° — на 28 %, Th 35–40° — на 81 % ($p < 0,01$). То есть чем меньше величи-

на деформации, тем больше разница плотностей. Мы связываем это с более выраженными изменениями апикального позвонка при деформациях более 55–75° (клиновидность, торсия, уменьшение высоты), что объясняет меньшую разницу показателей. По нашим данным выявлена прямая зависимость между плотностью компактной кости по выпуклой и вогнутой сторонам в зависимости от величины деформации как при S-образном сколиозе, так и при С-образном, но при С-образном сколиозе показатели в группах отличались на меньшую величину.

По данным Т. Makino et al. (2017), плотность позвонков (НУ) у 13 пациентов детского возраста ($12,1 \pm 1,3$), в основном со вторым типом идиопатического сколиоза по Lenke, в области основной дуги составила $220,1 \pm 25,2$ НУ, в области компенсаторной — $209,5 \pm 23,5$ ($p < 0,001$). Следует отметить, что плотность губчатой кости измерялась авторами в области круга, в центре позвонка, на определенном расстоянии от компактного слоя в трех плоскостях [10]. Мы измеряли общую плотность как всего позвонка, так и губчатой кости, полностью выделяя по контуру зону губчатой кости. Кроме того, измеряли локальную плотность губчатой кости по выпуклой и вогнутой сторонам. Это позволяло получить более точные данные с учетом величины деформации.

Заключение

Результаты работы показали, что состояние апикального позвонка, его плотностные показатели находятся в прямой зависимости от величины деформации с достоверными отличиями по выпуклой и вогнутой поверхностям ($p < 0,001$; $0,01$) за исключением деформации 90–110°

в грудном отделе ($p > 0,05$). Плотность губчатой кости в средней части позвонка при измерении ее на аксиальном срезе в грудном отделе увеличивалась от минимальной (на выпуклой стороне) к максимальной (на вогнутой поверхности) на величину, зависящую от величины деформации (максимально при деформации $90-110^\circ$ — на 76,0 %). В поясничном отделе при S-образном сколиозе плотность уменьшалась от максимального значения плотности компактного слоя на вогнутой стороне до минимального его показателя на выпуклой стороне в зависимости от величины деформации (максимально на 72 % при деформации $90-110^\circ$).

Список литературы

1. Виссарионов С. В., Кокушин Д. Н., Филиппова А. Н., Баиндурашвили А. Г., Барт В. А., Хусаинов Н. О. Анатомо-антропометрические особенности костных структур тел позвонков у детей с идиопатическим сколиозом типа Lenke III // Травматология и ортопедия России. 2019. Т. 25. № 1. С. 92–103. DOI: 10.21823/2311-2905-2019-25-1-92-103.
2. Зайдман А. М. Что же такое идиопатический сколиоз? // Хирургия позвоночника. 2016. Т. 13. № 4. С. 104–110. DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2016.4.104-110>.
3. Зейналов Ю. Л., Губин А. В., Дьячкова Г. В., Дьячков К. А. Количественная оценка рентгеноморфологических особенностей позвонков при идиопатическом сколиозе: материалы III съезда травматологов-ортопедов Республики Казахстан и VII Евразийского конгресса травматологов-ортопедов, 3–4 окт. 2019 г., г. Нур-Султан // Травматология және ортопедия. 2019. № 3/4. С. 272–277.
4. Михайловский М. В., Садовой М. А., Новиков В. В., Васюра А. С., Садовая Т. Н., Удалова И. Г. Современная концепция раннего выявления и лечения идиопатического сколиоза // Хирургия позвоночника. 2015. Т. 12. № 3. С. 13–18. DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2015.3.13-18>.
5. Adam C. J., Askin G. N. Lateral bone density variations in the scoliotic spine // Bone. 2009. V. 45. No. 4. P. 799–807. DOI: 10.1016/j.bone.2009.06.023.
6. Brink R. C., Schlösser T. P. C., Colo D., Vincken K. L., van Stralen M., Hui S. C. N., Chu W. C. W., Cheng J. C. Y., Castelein R. M. Asymmetry of the vertebral body and pedicles in the true transverse plane in adolescent idiopathic scoliosis: A CT-Based Study. Spine Deform. 2017. V. 5. No. 1. P. 37–45. DOI: 10.1016/j.jspd.2016.08.006.
7. Gao B., Gao W., Chen C., Wang Q., Lin S., Xu C., Huang D., Su P. What is the difference in morphologic features of the thoracic pedicle between patients with adolescent idiopathic scoliosis and healthy subjects? A CT-based Case-control Study // Clin. Orthop. Relat. Res. 2017. V. 475. No. 11. P. 2765–2774. DOI: 10.1007/s11999-017-5448-9.
8. Labrom F. R., Izatt M. T., Claus A. P., Little J. P. Adolescent idiopathic scoliosis 3D vertebral morphology, progression and nomenclature: a current concepts review. Eur. Spine J. 2021. DOI: 10.1007/s00586-021-06842-z.
9. Li X. F., Li H., Liu Z. D., Dai L. Y. Low bone mineral status in adolescent idiopathic scoliosis. Eur. Spine J. 2008. V. 17. No. 11. P. 1431–1440. DOI: 10.1007/s00586-008-0757-z.
10. Makino T., Sakai Y., Kashii M., Takenaka S., Sugamoto K., Yoshikawa H., Kaito T. Differences in vertebral morphology

around the apical vertebrae between neuromuscular scoliosis and idiopathic scoliosis in skeletally immature patients: a three-dimensional morphometric analysis // BMC Musculoskelet. Disord. 2017. V. 18. No. 1. P. 459. DOI: 10.1186/s12891-017-1801-0. PMID: 29145830.

11. *Negrini S., Donzelli S., Aulisa A. G., Czaprowski D., Schreiber S., de Mauroy J. C., Diers H., Grivas T. B., Knott P., Kotwicki T., Lebel A., Marti C., Maruyama T., O'Brien J., Price N., Parent E., Rigo M., Romano M., Stikeleather L., Wynne J., Zaina F.* 2016 SOSORT guidelines: orthopaedic and rehabilitation treatment of idiopathic scoliosis during growth. *Scoliosis Spinal Disord.* 2018. V. 13. P. 3. DOI: 10.1186/s13013-017-0145-8.
12. *Peng Y., Wang S. R., Qiu G. X., Zhang J. G., Zhuang Q. Y.* Research progress on the etiology and pathogenesis of adolescent idiopathic scoliosis. *Chin. Med. J. (Engl).* 2020. V. 133. No. 4. P. 483–493. DOI: 10.1097/CM9.0000000000000652. PMID: 31972723.
13. *Sarioglu O., Gezer S., Sarioglu F. C., Koremezli N., Kara T., Akcali O., Ozaksoy D., Balci A.* Evaluation of vertebral bone mineral density in scoliosis by using quantitative computed tomography. *Pol. J. Radiol.* 2019. V. 84. P. e131–e135. DOI: 10.5114/pjr.2019.84060.
14. *Vavruch L., Forsberg D., Dahlström N., Tropp H.* Vertebral Axial Asymmetry in Adolescent Idiopathic Scoliosis. *Spine Deform.* 2018. V. 6. No. 2. P. 112–120. e1. DOI: 10.1016/j.jspd.2017.09.001.
15. *Zaidi Q., Damisa O. A., Cheng W.* Measurement Techniques and Utility of Hounsfield Unit Values for Assessment of Bone Quality Prior to Spinal Instrumentation: A Review of Current Literature. *Spine (Phila Pa 1976).* 2019. V. 44. No. 4. P. E239–E244. DOI: 10.1097/BRS.0000000000002813.

References

1. *Vissarionov S. V., Kokushin D. N., Filipova A. N., Baindurashvili A. G., Bart V. A., Khusainov N. O.* Anatomico-antropometric characteristics of the skeletal structure of the vertebrae in children with idiopathic scoliosis of the Lenke III type. *Travmatologiya i Ortopediya Rossii.* 2019. V. 25. No. 1. P. 92–103 (in Russian). DOI: 10.21823/2311-2905-2019-25-1-92-103.
2. *Zaydman A. M.* What is idiopathic scoliosis? *Khirurgiya Pozvonochnika.* 2016. V. 13. No. 4. P. 104–110 (in Russian). DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2016.4.104-110>.
3. *Zeynalov Yu. L., Gubin A. V., Dyachkova G. V., Diachkov K. A.* Quantitative radiographic assessment of the vertebral body in idiopathic scoliosis: Materials III Sezdskaya konferentsiya ortopedov i travmatologov Respubliki Kazakhstan i VII Evraziyskogo Kongressa travmatologov-ortopedov, 3–4 okt. 2019 g., g. Nur-Sultan. *Travmatologiya zhene Ortopediya.* 2019. No. 3/4. P. 272–277 (in Russian).
4. *Mikhaylovskiy M. V., Sadovoy M. A., Novikov V. V., Vasyura A. S., Sadovaya T. N., Udalova I. G.* Modern concepts of early diagnosis and treatment of idiopathic scoliosis. *Khirurgiya Pozvonochnika.* 2015. V. 12. No. 3. P. 13–18. (in Russian) DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2015.3.13-18>.
5. *Adam C. J., Askin G. N.* Lateral bone density variations in the scoliotic spine. *Bone.* 2009. V. 45. No. 4. P. 799–807. DOI: 10.1016/j.bone.2009.06.023.
6. *Brink R. C., Schlösser T. P. C., Colo D., Vincken K. L., van Stralen M., Hui S. C. N., Chu W. C. W., Cheng J. C. Y., Castelein R. M.* Asymmetry of the vertebral body and pedicles in the true transverse plane in adolescent idiopathic scoliosis:

- A CT-Based Study. *Spine Deform.* 2017. V. 5. No. 1. P. 37–45. DOI: 10.1016/j.jspd.2016.08.006.
7. Gao B., Gao W., Chen C., Wang Q., Lin S., Xu C., Huang D., Su P. What is the Difference in Morphologic Features of the Thoracic Pedicle Between Patients With Adolescent Idiopathic Scoliosis and Healthy Subjects? A CT-based Case-control Study. *Clin. Orthop. Relat. Res.* 2017. V. 475. No. 11. P. 2765–2774. DOI: 10.1007/s11999-017-5448-9.
 8. Labrom F. R., Izatt M. T., Claus A. P., Little J. P. Adolescent idiopathic scoliosis 3D vertebral morphology, progression and nomenclature: a current concepts review. *Eur. Spine J.* 2021. DOI: 10.1007/s00586-021-06842-z.
 9. Li X. F., Li H., Liu Z. D., Dai L. Y. Low bone mineral status in adolescent idiopathic scoliosis. *Eur. Spine J.* 2008. V. 17. No. 11. P. 1431–1440. DOI: 10.1007/s00586-008-0757-z.
 10. Makino T., Sakai Y., Kashii M., Takenaka S., Sugamoto K., Yoshikawa H., Kaito T. Differences in vertebral morphology around the apical vertebrae between neuromuscular scoliosis and idiopathic scoliosis in skeletally immature patients: a three-dimensional morphometric analysis. *BMC Musculoskelet. Disord.* 2017. V. 18. No. 1. P. 459. DOI: 10.1186/s12891-017-1801-0. PMID: 29145830.
 11. Negrini S., Donzelli S., Aulisa A. G., Czaprowski D., Schreiber S., de Mauroy J. C., Diers H., Grivas T. B., Knott P., Kotwicki T., Lebel A., Marti C., Maruyama T., O'Brien J., Price N., Parent E., Rigo M., Romano M., Stikeleather L., Wynne J., Zaina F. 2016 SOSORT guidelines: orthopaedic and rehabilitation treatment of idiopathic scoliosis during growth. *Scoliosis Spinal Disord.* 2018. V. 13. P. 3. DOI: 10.1186/s13013-017-0145-8.
 12. Peng Y., Wang S. R., Qiu G. X., Zhang J. G., Zhuang Q. Y. Research progress on the etiology and pathogenesis of adolescent idiopathic scoliosis. *Chin. Med. J. (Engl.)*. 2020. V. 133. No. 4. P. 483–493. DOI: 10.1097/CM9.0000000000000652. PMID: 31972723.
 13. Sarioglu O., Gezer S., Sarioglu F. C., Koremezli N., Kara T., Akcali O., Ozaksoy D., Balci A. Evaluation of vertebral bone mineral density in scoliosis by using quantitative computed tomography. *Pol. J. Radiol.* 2019. V. 84. P. e131–e135. DOI: 10.5114/pjr.2019.84060.
 14. Vavruch L., Forsberg D., Dahlström N., Tropp H. Vertebral Axial Asymmetry in Adolescent Idiopathic Scoliosis. *Spine Deform.* 2018. V. 6. No. 2. P. 112–120. DOI: 10.1016/j.jspd.2017.09.001.
 15. Zaidi Q., Danisa O. A., Cheng W. Measurement Techniques and Utility of Hounsfield Unit Values for Assessment of Bone Quality Prior to Spinal Instrumentation: A Review of Current Literature. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2019. V. 44. No. 4. P. E239–E244. DOI: 10.1097/BRS.0000000000002813.

Сведения об авторах

Зейналов Юсиф Латифович, кандидат медицинских наук, Клиника Военно-медицинского управления Службы государственной безопасности Азербайджанской Республики, ортопед-вертебролог отделения травматологии и ортопедии.

Адрес: AZ1000, г. Баку, пос. Бадамдар, Сабаильский р-н, ул. Мектебли, дом 1.

Тел.: + 7 (945) 038-88-10. Электронная почта: z.l.yusif@rambler.ru

ORCID.org/0000-0002-6390-0423

Zeynalov Yusif Latif, Ph. D. Med., Clinic of the Military Medical Department of the State Security Service of the Republic of Azerbaijan, orthopedic spine surgeon of the Department of Traumatology and Orthopedics.
Address: 1, ul. Mektebli, Baku, pos. Badamdar, Sabail district. 1AZ1000, Republic of Azerbaijan.
Phone: +7 (945) 038-88-10. E-mail: z.l.yusif@rambler.ru

Дьячкова Галина Викторовна, доктор медицинских наук, профессор, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени академика Г. А. Илизарова» Минздрава России, заведующая лабораторией рентгеновских и ультразвуковых методов диагностики.
Адрес: 640014, г. Курган, ул. М. Ульяновой, д. 6.
Тел.: +7 (3522) 45-26-14. Электронная почта: dgv2003@list.ru
ORCID.org/0000-0003-1973-4680

Diachkova Galina Viktorovna, M. D. Med., Professor National Medical Research Center for Traumatology and Orthopedics named after academician G. A. Ilizarov Ministry of Healthcare of Russia, Head of the Laboratory of X-ray and Ultrasound Diagnostic Methods.
Address: 6, ul. M. Ulianova, Kurgan, 640014, Russia.
Phone: +7 (3522) 45-26-14. E-mail: dgv2003@list.ru

Бурцев Александр Владимирович, доктор медицинских наук, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени академика Г. А. Илизарова» Минздрава России, и. о. директора.
Адрес: 640014, г. Курган, ул. М. Ульяновой, д. 6.
Тел.: +7 (3522) 45-47-47. Электронная почта: bav31rus@mail.ru
ORCID.org/0000-0001-8968-6528

Burtsev Alexander Vladimirovich, M. D. Med., National Medical Research Center for Traumatology and Orthopedics named after academician G. A. Ilizarov Ministry of Healthcare of Russia, acting Director.
Address: 6, ul. M. Ulianova, Kurgan, 640014, Russia.
Phone: +7 (3522) 45-47-47. E-mail: bav31rus@mail.ru

Дьячков Константин Александрович, доктор медицинских наук, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени академика Г. А. Илизарова» Минздрава России, главный научный сотрудник лаборатории рентгеновских и ультразвуковых методов диагностики, заведующий отделением лучевой диагностики.
Адрес: 640014, г. Курган, ул. М. Ульяновой, 6.
Тел.: +7 (3522) 45-37-49. Электронная почта: dka_doc@mail.ru
ORCID.org/0000-0002-8490-3052

Diachkov Konstantin Alexandrovich, Ph. D. Med., National Medical Research Center for Traumatology and Orthopedics named after academician G. A. Ilizarov Ministry of Healthcare of Russia, the leading scientific researcher of the Laboratory of X-ray and Ultrasound Diagnostic Methods, Head of Radiology Department.
Address: 6, ul. M. Ulianova, Kurgan, 640014, Russia.
Phone: +7 (3522) 45-37-49. E-mail: dka_doc@mail.ru

Сутягин Илья Вячеславович, аспирант, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени академика Г. А. Илизарова» Минздрава России.
Адрес: 640014, г. Курган, ул. М. Ульяновой, 6.
Тел.: +7 (3522) 45-26-14. Электронная почта: pr_sutyagin@bk.ru
ORCID.org/0000-0002-3998-6781

Sutyagin Ilya Vyacheslavovich, National Medical Research Center for Traumatology and Orthopedics named after academician G. A. Ilizarov Ministry of Healthcare of Russia.
Address: 6, ul. M. Ulianova, Kurgan, 640014, Russia.
Phone: +7 (3522) 45-26-14. E-mail: pr_sutyagin@bk.ru

Ларионова Татьяна Адиславовна, кандидат медицинских наук, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени академика Г. А. Илизарова» Минздрава России, старший научный сотрудник лаборатории рентгеновских и ультразвуковых методов диагностики.
Адрес: 640014, г. Курган, ул. М. Ульяновой, 6.

Тел.: +7 (3522)45-44-95. Электронная почта: lar_rad@mail.ru
ORCID.org/0000-0002-0724-1339

Larionova Tatyana Adislavovna, Ph. D. Med., National Medical Research Center for Traumatology and Orthopedics named after academician G. A. Ilizarov Ministry of Healthcare of Russia, the senior research associate of the Laboratory of X-ray and Ultrasound Diagnostic Methods.

Address: 6, ul. M. Ulianova, Kurgan, 640014, Russia.
Tel.: +7 (3522) 45-44-95. E-mail: lar_rad@mail.ru

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.

Дата поступления статьи в редакцию издания: 27.06.2021 г.

Дата одобрения статьи после рецензирования: 01.07.2021 г.

Дата принятия статьи к публикации: 08.07.2021 г.