



АНАЛИЗ АНАТОМО-АНТРОПОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОЗВОНКОВ У ДЕТЕЙ С ИДИОПАТИЧЕСКИМ СКОЛИОЗОМ ГРУДНОЙ ЛОКАЛИЗАЦИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ 3D-КТ-НАВИГАЦИИ

Д.Н. Кокушин¹, С.В. Виссарионов¹, А.Г. Баиндурашвили¹, В.А. Барт²

¹Научно-исследовательский детский ортопедический институт им. Г.И. Турнера, Санкт-Петербург

²Санкт-Петербургский государственный университет

Цель исследования. Анализ анатомо-антропометрических параметров позвонков у детей с идиопатическим сколиозом грудной локализации с использованием навигационной станции.

Материал и методы. Обследованы 20 пациентов 14–18 лет с правосторонним идиопатическим сколиозом грудной локализации III и IV ст. по В.Д. Чаклину. Оценку анатомо-антропометрических особенностей позвонков грудного и поясничного отделов позвоночника осуществляли по данным КТ в навигационной системе. Определяли общий угол сколиоза, ротацию апикального и периапикальных позвонков, внешний поперечный и продольный диаметры корней дуг позвонков с уровня Th₂ до L₅ позвонка, коэффициенты асимметрии костных структур позвонков.

Результаты. Угол сколиотической деформации — от 33,7 до 107,9° (в среднем 61,4°), угол ротации апикального позвонка от 9,3 до 40,2° (в среднем 21,09°). Выявлена положительная корреляционная связь между величиной сколиотической дуги деформации и коэффициентом асимметрии продольных диаметров корней дуг апикального позвонка. Определена выраженная асимметрия правых и левых поперечных диаметров корней дуг позвонков верхнегрудного отдела позвоночника на уровне Th₃–Th₄ позвонков, несмотря на отсутствие структуральной компенсаторной противодуги и торсионных изменений этих позвонков.

Заключение. Имеются определенные закономерности и корреляционные связи между абсолютными и относительными значениями параметров позвонков и типом идиопатического сколиоза не только на вершине дуги деформации, но и на протяжении всей дуги искривления.

Ключевые слова: идиопатический сколиоз, Lenke 1, анатомо-антропометрические параметры, ротация апикального позвонка, транспедикулярная фиксация, дети.

Для цитирования: Кокушин Д.Н., Виссарионов С.В., Баиндурашвили А.Г., Барт В.А. Анализ анатомо-антропометрических параметров позвонков у детей с идиопатическим сколиозом грудной локализации с применением 3D-КТ-навигации // Хирургия позвоночника. 2016. Т. 13. № 1. С. 27–36.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2016.1.27-36>.

ANALYSIS OF ANATOMICAL AND ANTHROPOMETRIC PARAMETERS OF VERTEBRAE IN CHILDREN WITH THORACIC IDIOPATHIC SCOLIOSIS USING 3D-CT-NAVIGATION

D.N. Kokushin, S.V. Vissarionov, A.G. Baindurashvili, V.A. Bart

Objective. To analyze anatomical and anthropometric parameters of vertebrae measured by a navigation system in children with thoracic idiopathic scoliosis.

Material and Methods. A total of 20 patients aged 14–18 years with Grade 3 and 4 (according to V.D. Chaklin classification) right-sided thoracic idiopathic scoliosis were examined. Anatomical and anthropometric features of the thoracic and lumbar vertebrae were assessed using CT data in the navigation system. The total Cobb angle of scoliotic curve, rotation of apical and periapical vertebrae, external transverse and longitudinal diameters of the roots of vertebral arches at the T₂–L₅ levels, and the coefficients of asymmetry of vertebral bone structures were determined.

Results. The angle of scoliosis deformity ranged from 33.7° to 107.9° (mean: 61.4°), the angle of rotation of the apical vertebra — from 9.3° to 40.2° (mean: 21.09°). Positive correlation between the magnitude of scoliotic arch deformity and asymmetry coefficients of longitudinal diameter of the arch roots of the apical vertebrae was found. A pronounced asymmetry of right and left transverse diameters of arch roots of the T₃–T₄ vertebrae, despite the absence of structural compensatory counter curve and torsional changes in these vertebrae.

Conclusion. There are certain regularities and correlations between the type of idiopathic scoliosis and the absolute and relative values of vertebral parameters not only at the top of the curve, but also throughout the whole curvature arch.

Key Words: idiopathic scoliosis, Lenke 1, anatomic and anthropometric parameters, rotation of the apical vertebra, transpedicular fixation, children.

Please cite this paper as: Kokushin DN, Vissarionov SV, Baindurashvili AG, Bart VA. Analysis of anatomical and anthropometric parameters of vertebrae in children with thoracic idiopathic scoliosis using 3D-CT-navigation. Hir. Pozvonoc. 2016;13(1):27–36. In Russian.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2016.1.27-36>.

В настоящее время хирургическое лечение детей с идиопатическим сколиозом продолжает активно развиваться и совершенствоваться. В последние годы для коррекции деформации позвоночника у пациентов с идиопатическим сколиозом все чаще используются металлоконструкции с транспедикулярными винтами. Широкое применение последних в качестве опорных элементов дорсальных спинальных систем обусловлено возможностью воздействия на все три колонны позвоночного столба при проведении корригирующих манипуляций во время исправления деформации позвоночника, достиганием значительного эффекта от выполненной коррекции и сохранением надежной стабилизации достигнутого результата в отдаленном периоде [1, 3, 4, 15]. После внедрения в практику спинальной хирургии транспедикулярной фиксации встал вопрос о возможности проведения транспедикулярных опорных элементов в тела позвонков с учетом анатомо-антропометрических особенностей корней дуг [14]. Появились исследования [7, 12, 16, 17], посвященные нормальной анатомии позвонков, в которых оценивали анатомо-антропометрические параметры позвонков с точки зрения использования транспедикулярной фиксации. В 90-х гг. XX в. спинальные хирурги при оперативном лечении пациентов с идиопатическим сколиозом начали более широко использовать транспедикулярную фиксацию грудного отдела позвоночника [6, 10, 15]. В последние годы появились работы, в которых авторы проводят оценку анатомо-антропометрических параметров деформированных позвонков при идиопатическом сколиозе на кадаверном материале и на основании данных КТ и МРТ позвоночника [5, 11, 13]. Однако в этих публикациях рассматриваются данные, касающиеся основных параметров сколиотически измененных позвонков при различных типах искривления. В литературе отсутствуют исследования, посвященные анализу анато-

мо-антропометрических параметров позвонков при одном варианте идиопатического сколиоза и оценке закономерностей этих особенностей в зависимости от типа искривления позвоночного столба.

Цель исследования – анализ анатомо-антропометрических параметров позвонков у детей с идиопатическим сколиозом грудной локализации с использованием навигационной станции.

Материал и методы

Обследованы 20 пациентов 14–18 лет с идиопатическим сколиозом грудной локализации III и IV ст. по Чаклину. Распределение по половому признаку было характерным для деформаций позвоночника при идиопатическом сколиозе: 2 пациента мужского пола, 18 – женского. Во всех наблюдениях направленность грудной сколиотической дуги была правосторонней.

Диагноз идиопатического сколиоза устанавливали на основании стандартного обследования, проводимого в клинике и включающего в себя клинико-неврологический, инструментальные, лучевые методы исследования (рентгенографию и МСКТ позвоночника), МРТ краниовертебральной области, грудного и поясничного отделов позвоночника.

Оценку анатомо-антропометрических особенностей позвонков грудного и поясничного отделов позвоночника осуществляли на основании данных, полученных при КТ-сканировании. Исследование выполняли на компьютерном томографе «Brilliance CT64» (США). КТ проводили в положении пациента на животе с целью максимального приближения к положению на операционном столе. КТ-сканы выполняли с толщиной среза 1 мм, затем их импортировали при помощи носителя в навигационную систему, оснащенную программным обеспечением «SpineMap 3D», где производили все необходимые измерения [2]. Последовательность действий при анализе анатомо-антропометри-

ческих особенностей позвонков была следующей. Определяли общий угол сколиоза (*angle scoliosis*), ротацию апикального позвонка (РАП), ротацию проксимального (РППП) и дистального (РДПП) периапикальных позвонков, внешний поперечный (trd) и продольный (lngd) диаметры правых (R) и левых (L) корней дуг позвонков с уровня Th₂ до L₅ позвонка включительно (рис. 1).

Рассчитывали площади правого (SR) и левого корня дуги (SL) как произведение trd корня дуги и lngd. Для выявления закономерностей сколиотического процесса, характеризующегося асимметричным развитием костных структур позвонков, введены следующие коэффициенты: KAtRd – коэффициент асимметрии поперечных диаметров корней дуг позвонка, определяемый как отношение trdR к trdL; KAlngd – коэффициент асимметрии продольных диаметров корней дуг позвонка, определяемый как отношение lngdR к lngdL, KAS – коэффициент асимметрии площадей корней дуг позвонка, определяемый как отношение SR к SL.

Необходимо отметить, что точное числовое определение величины патологической ротации апикального и особенно периапикальных позвонков, образующих вершину дуги сколиотической деформации, выраженное в градусах, затруднительно, что обусловлено выраженными пространственными изменениями соотношений анатомических структур деформированных позвонков у детей с идиопатическим сколиозом, а также невозможностью оценки ротации периапикальных позвонков в одной плоскости с апикальным. С целью повышения точности определения РАП, РППП и РДППП разработан и использован способ измерения ротации тел позвонков в навигационной станции у детей с идиопатическим сколиозом, при котором одна из линий проводится через точку на основании остистого отростка позвонка и через точку на переднем крае тела позвонка, максимально удаленную от точки на основании

остистого отростка, вторая линия ориентирована перпендикулярно к горизонтальной плоскости стола в навигационной системе до пересечения с первой линией. Угол, образованный между пересекающимися линиями, является углом ротации позвонка (рис. 2).

Для сопоставления всех исследуемых анатомо-антропометрических характеристик позвонков и различных коэффициентов асимметрии вычисляли описательные статистики. Для сравнения распределений метрических характеристик позвонков по позвоночнику применяли многомерный дисперсионный анализ и вычисляли T_2 -критерий Хотеллинга. Для проверки нормальности маргинальных распределений применяли критерий Колмогорова – Смирнова. Корреляционный анализ и метод корреляционных плеяд В.П. Терентьева и визуальный анализ диаграмм Тьюки использовали для выявления закономерностей связей между характеристиками.

Результаты

Согласно данным исследования, угол сколиотической деформации, определенный по вышеописанной методике, составил от $33,7$ до $107,9^\circ$ (в среднем $61,4^\circ$). Угол РАП колебался от $9,3$ до $40,2^\circ$ (в среднем $21,09^\circ$), угол РППП от $2,1$ до $36,6^\circ$ (в среднем $17,7^\circ$), угол РДПП – $6,3$ до $30,0^\circ$ (в среднем – $17,1^\circ$). Абсолютные значения поперечных и продольных диаметров корней дуг позвонков, площадей корней дуг и их коэффициентов асимметрии представлены в табл. 1–3.

Для значений trd и $lngd$ корней дуг, их площадей данные в таблицах представлены в виде среднего и стандартного отклонения; для значений коэффициентов асимметрии данные представлены в виде медианы, минимума и максимума.

Из методов многомерного дисперсионного анализа к показателям trd и $lngd$ корней дуг, а также к их площадям применяли T_2 -критерий Хотеллинга для связанных выборок

для сравнения правых и левых корней дуг позвонков в совокупности. В табл. 4 приведены результаты этого теста. Для проверки однородности выборок по каждому позвонку для всех трех характеристик использовали тест Колмогорова – Смирнова. Ни в одном наблюдении указанный критерий не отверг гипотезу о нормальном распределении показателя на уровне значимости $P > 0,05$.

Результаты применения критерия Хотеллинга позволяют говорить об однозначном и контрастном различии совокупностей продольных диаметров правых и левых корней дуг позвонков.

Для выявления анатомо-антропометрических особенностей позвонков в основной дуге деформации построили диаграммы Тьюки (рис. 3–7).

Визуальный анализ диаграмм позволяет более детально рассмотреть различия между диаметрами правых и левых корней дуг позвонков, установленные выше с помощью статистики Хотеллинга.

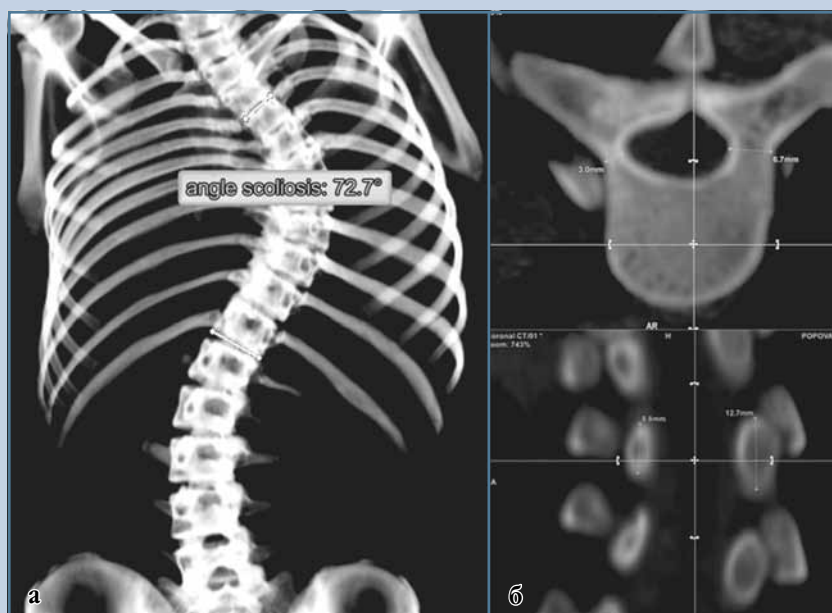


Рис. 1

КТ позвоночника пациента П., 17 лет, с идиопатическим правосторонним грудным сколиозом IV ст., в программной среде «Spine Map 3D»: а – угол сколиоза; б – поперечный и продольный диаметры корней дуг апикального позвонка

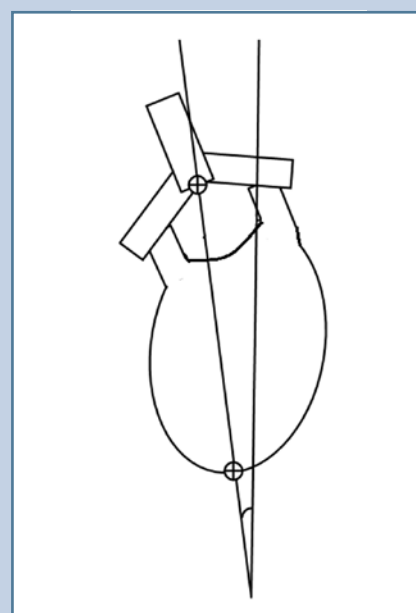


Рис. 2

Способ измерения ротации тел позвонков у детей с идиопатическим сколиозом в навигационной станции

Д.Н. КОКУШИН И ДР. АНАТОМО-АНТРОПОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПОЗВОНКОВ У ДЕТЕЙ
С ИДИОПАТИЧЕСКИМ СКОЛИОЗОМ ГРУДНОЙ ЛОКАЛИЗАЦИИ

Таблица 1

Размеры поперечных диаметров корней дуг и коэффициент их асимметрии ($M \pm m$)

Позвонки	trdR, мм	trdL, мм	KAtrd	Позвонки	trdR, мм	trdL, мм	KAtrd
Th ₂	5,3 ± 0,9	6,5 ± 0,9	0,82 (0,54–0,98)	Th ₁₀	6,4 ± 1,3	5,1 ± 1,3	1,27 (0,84–1,69)
Th ₃	3,3 ± 1,0	5,3 ± 1,1	0,63 (0,25–1,00)	Th ₁₁	7,3 ± 1,2	6,8 ± 1,4	1,06 (0,82–1,97)
Th ₄	2,9 ± 0,8	4,6 ± 0,8	0,60 (0,30–1,30)	Th ₁₂	7,0 ± 1,0	7,4 ± 1,0	0,91 (0,79–1,27)
Th ₅	3,5 ± 1,0	4,5 ± 1,1	0,76 (0,33–2,55)	L ₁	6,1 ± 1,6	6,2 ± 1,4	0,96 (0,59–1,50)
Th ₆	4,4 ± 1,1	4,2 ± 1,2	0,98 (0,57–2,22)	L ₂	6,2 ± 1,7	6,3 ± 1,2	0,95 (0,59–1,41)
Th ₇	4,8 ± 1,0	3,6 ± 1,2	1,31 (0,72–3,11)	L ₃	8,5 ± 1,7	7,9 ± 1,2	1,11 (0,79–1,33)
Th ₈	5,1 ± 0,7	3,6 ± 1,0	1,38 (0,93–2,45)	L ₄	10,4 ± 1,9	10,3 ± 1,5	0,97 (0,76–1,73)
Th ₉	5,6 ± 0,9	4,3 ± 1,2	1,33 (0,86–2,30)	L ₅	14,5 ± 2,0	15,6 ± 2,1	0,93 (0,74–1,38)

trdR — поперечный диаметр правого корня дуги; trdL — поперечный диаметр левого корня дуги; KAtrd — коэффициент асимметрии поперечных диаметров корней дуг позвонка, определяемый как соотношение trdR к trdL.

Таблица 2

Размеры продольных диаметров корней дуг и коэффициент их асимметрии ($M \pm m$)

Позвонки	lngdR, мм	lngdL, мм	KAlngd	Позвонки	lngdR, мм	lngdL, мм	KAlngd
Th ₂	10,6 ± 1,6	11,5 ± 1,6	0,91 (0,80–1,04)	Th ₁₀	15,6 ± 1,7	14,8 ± 1,9	1,02 (0,90–1,50)
Th ₃	10,7 ± 1,3	12,0 ± 1,7	0,90 (0,66–1,17)	Th ₁₁	16,7 ± 2,4	17,3 ± 1,7	0,96 (0,73–1,24)
Th ₄	10,9 ± 1,3	10,8 ± 1,5	0,98 (0,85–1,31)	Th ₁₂	15,7 ± 1,9	16,8 ± 2,1	0,92 (0,87–1,04)
Th ₅	11,6 ± 1,2	10,1 ± 1,3	1,11 (0,95–1,59)	L ₁	14,3 ± 1,3	14,8 ± 2,0	0,96 (0,84–1,38)
Th ₆	12,6 ± 1,5	9,7 ± 1,3	1,30 (1,03–1,58)	L ₂	13,5 ± 1,1	14,6 ± 1,0	0,94 (0,79–1,04)
Th ₇	12,7 ± 1,5	9,7 ± 1,8	1,31 (1,01–1,90)	L ₃	13,9 ± 1,0	14,3 ± 1,0	0,97 (0,91–1,15)
Th ₈	13,3 ± 1,6	10,2 ± 1,4	1,32 (1,04–1,67)	L ₄	13,3 ± 0,9	13,3 ± 1,2	1,00 (0,86–1,16)
Th ₉	13,8 ± 1,7	11,8 ± 1,6	1,12 (0,74–1,66)	L ₅	12,9 ± 2,4	12,7 ± 2,1	1,02 (0,90–1,25)

lngdR — продольный диаметр правого корня дуги; lngdL — продольный диаметр левого корня дуги; KAlngd — коэффициент асимметрии продольных диаметров корней дуг позвонка, определяемый как соотношение lngdR к lngdL.

Таблица 3

Произведение поперечных и продольных диаметров корней дуг и коэффициент их асимметрии ($M \pm m$)

Позвонки	SR, мм ²	SL, мм ²	KAS	Позвонки	SR, мм ²	SL, мм ²	KAS
Th ₂	56,2 ± 15,2	75,6 ± 17,0	0,76 (0,44–1,02)	Th ₁₀	100,0 ± 26,2	76,3 ± 29,0	1,28 (0,78–2,53)
Th ₃	36,4 ± 12,9	64,7 ± 18,5	0,57 (0,21–1,07)	Th ₁₁	121,3 ± 27,8	118,1 ± 31,0	0,97 (0,68–2,21)
Th ₄	31,8 ± 10,5	50,5 ± 13,2	0,59 (0,29–1,70)	Th ₁₂	110,2 ± 26,9	125,3 ± 27,9	0,88 (0,73–1,18)
Th ₅	41,1 ± 13,1	46,2 ± 14,4	0,77 (0,32–3,92)	L ₁	87,0 ± 27,5	93,0 ± 28,2	0,93 (0,50–2,06)
Th ₆	55,1 ± 15,7	41,3 ± 15,8	1,29 (0,67–3,08)	L ₂	83,8 ± 25,1	92,0 ± 20,8	0,87 (0,61–1,36)
Th ₇	60,7 ± 15,9	36,6 ± 16,9	1,76 (0,80–4,73)	L ₃	118,6 ± 24,9	112,9 ± 21,7	1,08 (0,76–1,29)
Th ₈	68,0 ± 13,7	37,1 ± 12,8	1,94 (1,15–3,88)	L ₄	138,9 ± 27,6	136,8 ± 23,7	0,99 (0,72–1,48)
Th ₉	78,0 ± 17,0	51,8 ± 19,0	1,55 (0,73–3,09)	L ₅	187,8 ± 46,3	199,2 ± 41,4	0,94 (0,67–1,27)

SR — площадь правого корня дуги; SL — площадь левого корня дуги; KAS — коэффициент асимметрии площадей корней дуг позвонка, определяемый как отношение SR к SL.

Так, в верхнегрудном отделе позвоночника значения trdR уменьшались с уровня позвонка Th₂ (5,3 ± 0,9 мм),

достигая минимальных на уровне позвонка Th₄ (2,9 ± 0,8 мм), затем происходило увеличение размеров в кра-

ниокаудальном направлении, достигавшее своего максимума на уровне позвонка Th₁₁ (16,7 ± 2,4 мм). Далее

Таблица 4

Сравнение средних для правой и левой совокупностей поперечных и продольных диаметров и площадей корней дуг позвонков

Параметры	Статистика T_2	Значение нецентрального F-распределения с 16 и 4 степенями свободы	Уровень значимости критерия Р
Поперечные диаметры	482,5	6,4	0,043
Продольные диаметры	1225,4	16,5	0,0075
Площади	436,2	5,7	0,052

небольшое уменьшение значения до уровня позвонка L_1 ($6,1 \pm 1,6$ мм).

Для значений trdL закономерность полученных изменений на диаграмме была иной. Отмечалось более пологое и плавное уменьшение размеров с уровня позвонка Th_2 ($6,5 \pm 0,9$ мм) с достижением минимальных значений на уровне позвонка Th_7 ($3,6 \pm 1,2$ мм). Далее trdL увеличи-

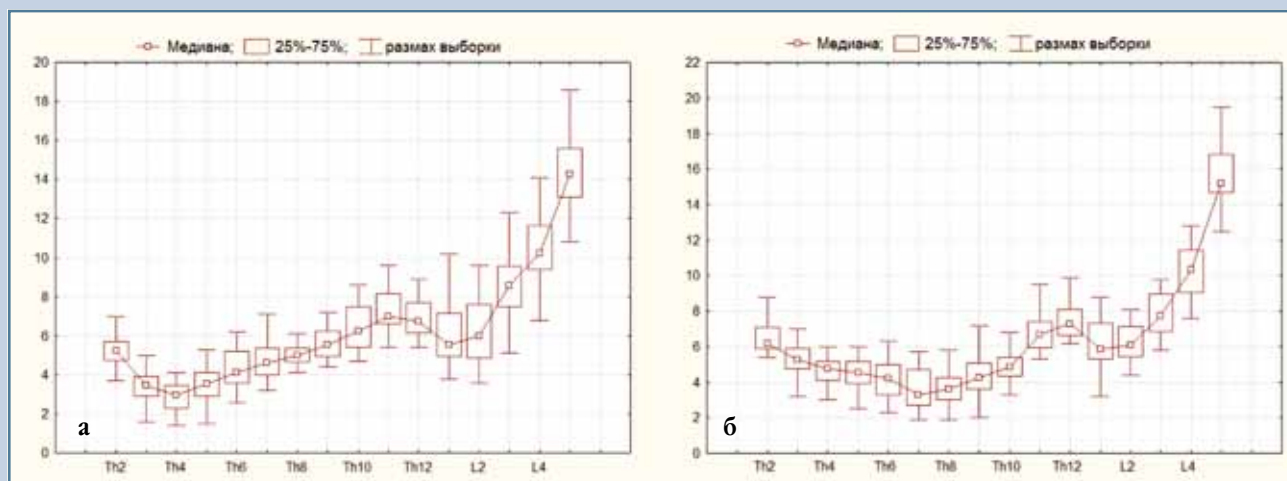


Рис. 3

Совместная диаграмма Тьюки для значений поперечных диаметров правых (а) и левых (б) корней дуг позвонков грудного и поясничного отделов позвоночника

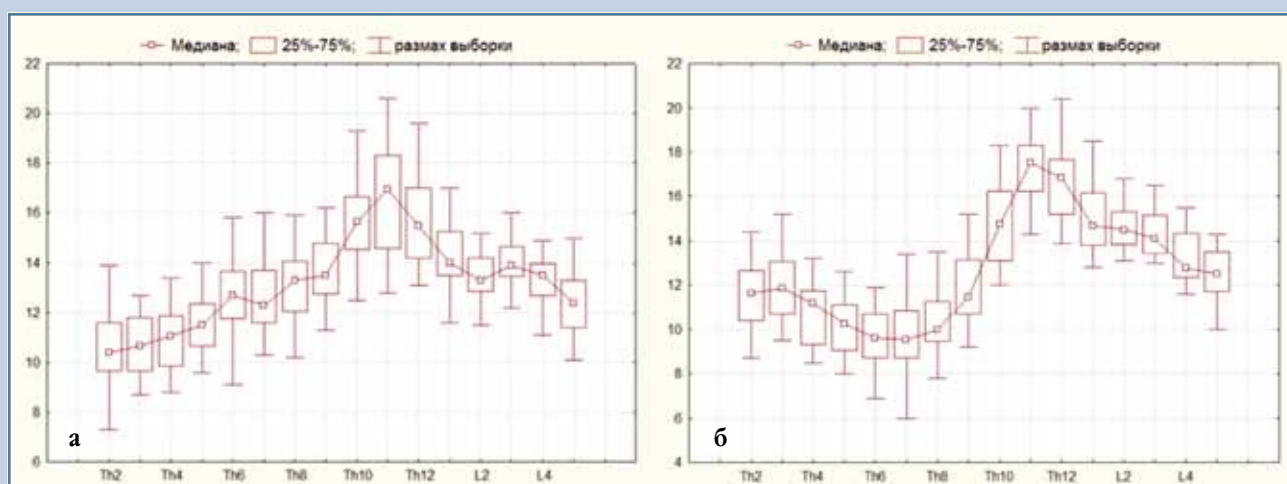


Рис. 4

Совместная диаграмма Тьюки для значений продольных диаметров правых (а) и левых (б) корней дуг позвонков грудного и поясничного отделов позвоночника

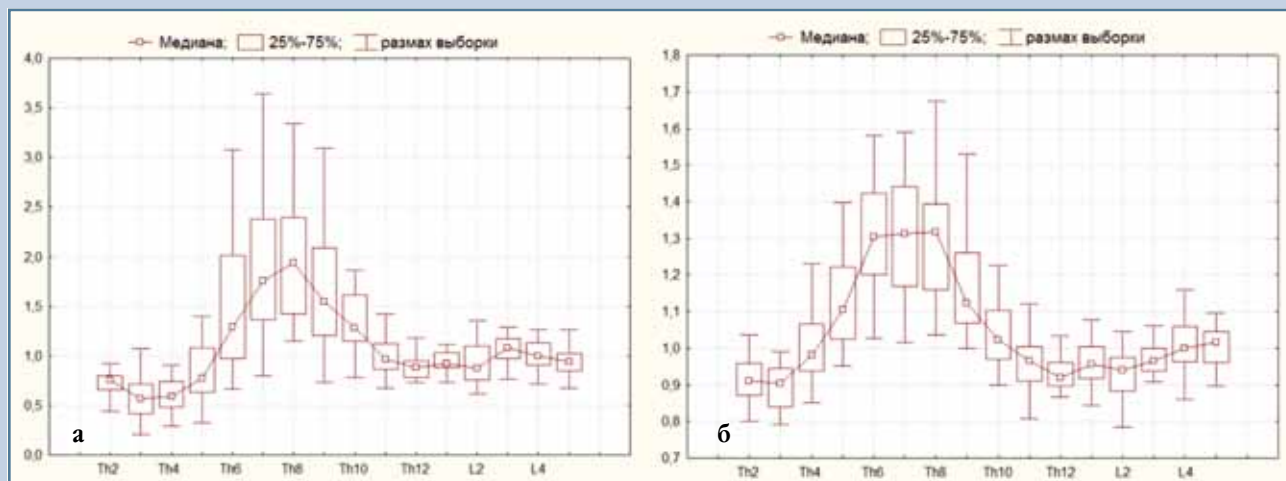


Рис. 5

Совместная диаграмма Тьюки для значений коэффициентов асимметрии поперечных (а) и продольных (б) диаметров корней дуг позвонков грудного и поясничного отделов позвоночника

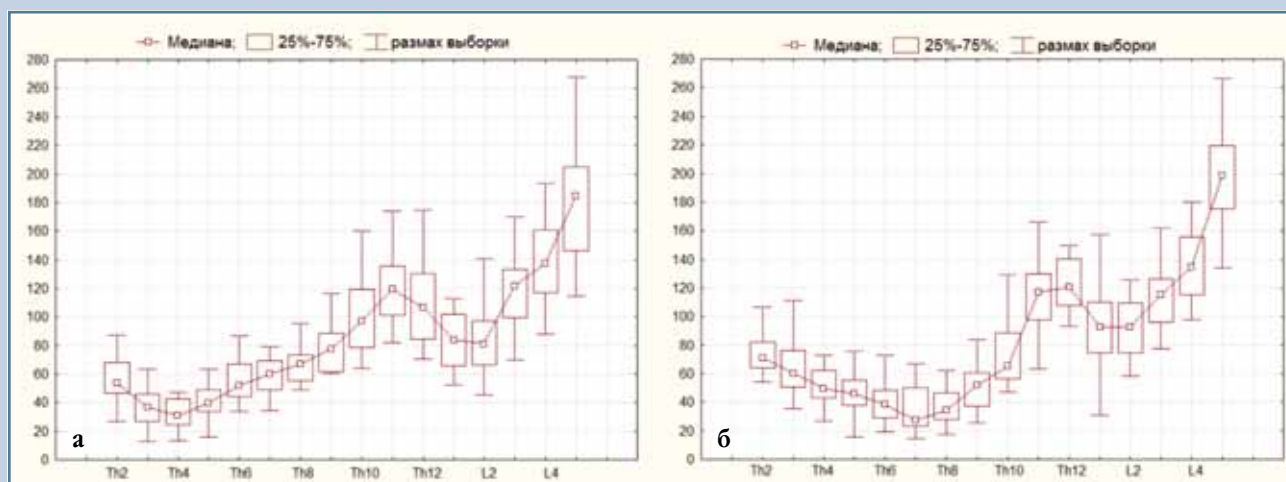


Рис. 6

Совместная диаграмма Тьюки для значений площадей диаметров правых (а) и левых (б) корней дуг позвонков грудного и поясничного отделов позвоночника

вался по направлению к позвонку Th₁₂, достигая значения $7,4 \pm 1,0$ мм.

Необходимо отметить, что направленность изменений размеров trdR и trdL для позвонков поясничного отдела позвоночника была схожей и характеризовалась нарастанием размеров поперечных диаметров корней дуг в краниокаудальном направлении с достижением максимальных значений на уровне позвонка L₅ (рис. 3).

При проведении визуального анализа характера изменений размеров lngd корней дуг также выявлены существенные различия в грудном отделе позвоночника. Так, значение lngdR плавно увеличивалось в краниокаудальном направлении с уровня позвонка Th₂ ($10,6 \pm 1,6$ мм), достигая своего максимума на уровне позвонка Th₁₁ ($16,7 \pm 2,4$ мм), затем происходило небольшое уменьшение

значения на уровне позвонка Th₁₂ ($15,7 \pm 1,9$ мм). Распределение значений признака lngdL в грудном отделе позвоночника было иным. Отмечалось уменьшение размеров lngdL с уровня позвонка Th₂ ($11,5 \pm 1,6$ мм) с достижением минимальных значений на уровне позвонка Th₇ ($9,7 \pm 1,8$ мм), далее lngdL увеличивался в краниокаудальном направлении, достигая своего

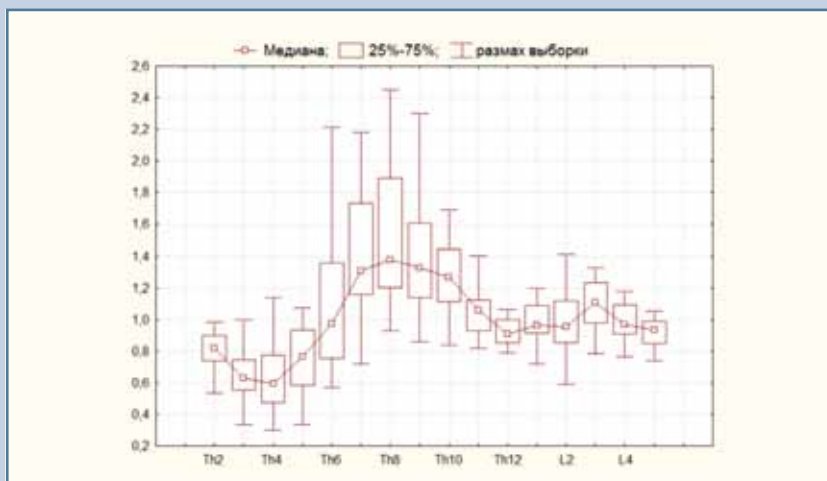


Рис. 7

Совместная диаграмма Тьюки для значений коэффициентов асимметрии площадей корней дуг позвонков грудного и поясничного отделов

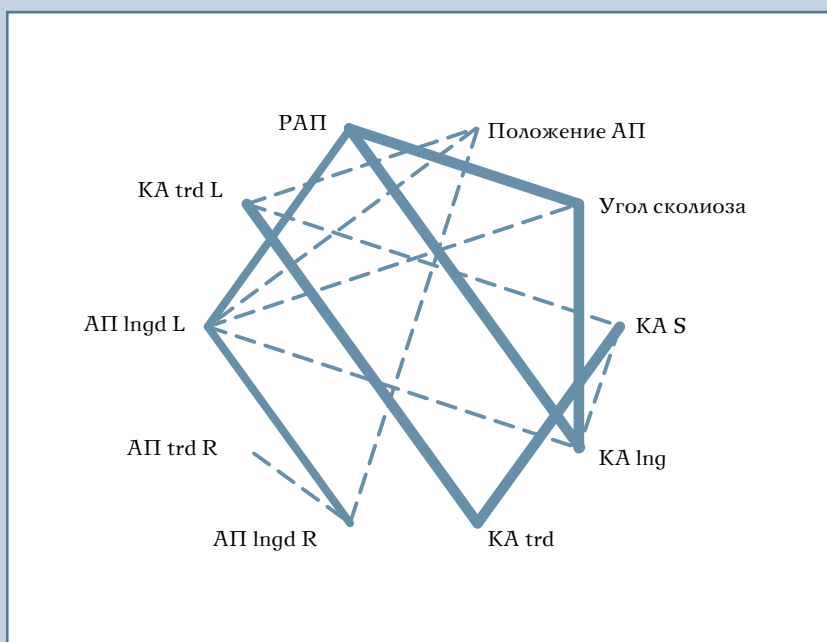


Рис. 8

Корреляционные плеяды по Терентьеву: сплошная линия – значения коэффициента корреляции Пирсона (r), по модулю превышающие 0,7; $|r| > 0,7$; пунктир – диапазон $0,5 < |r| < 0,7$; толщина линий пропорциональна соответствующим значениям модуля r ; РАП – ротация апикального позвонка; АП – апикальный позвонок; L – левый корень дуги позвонка; R – правый корень дуги позвонка; trd – поперечный диаметр корней дуг позвонка; lngd – продольный диаметр корней дуг позвонка; KAS – коэффициент асимметрии площадей корней дуг позвонка; KAlngd – коэффициент асимметрии продольных диаметров корней дуг позвонка; KAtrd – коэффициент асимметрии поперечных диаметров корней дуг позвонка

максимального значения на уровне позвонка Th₁₁ ($17,3 \pm 1,7$ мм).

Зависимости lngdR и lngdL корней дуг от положения позвонка в поясничном отделе позвоночника были схожими и характеризовались уменьшением своих значений в краниокаудальном направлении с достижением минимальных значений на уровне позвонка L₅ (рис. 4).

При оценке коэффициентов асимметрии trd и lngd корней дуг в грудном отделе позвоночника выявлены следующие закономерности. KAtrd имел максимальные отклонения от единицы на уровне позвонка Th₄ – 0,60 (0,30–1,30) и Th₈ – 1,38 (0,93–2,45). KAlngd, напротив, в верхнегрудном отделе позвоночника имел значения близкие к единице, постепенно увеличиваясь и достигая максимального значения (максимальной асимметрии) на уровне позвонков Th₇–Th₈ (1,31–1,32), с последующим уменьшением в каудальном направлении. В поясничном отделе значения KAtrd и KAlngd находились близко к единице, характеризуя тем самым отсутствие выраженных структурных изменений (рис. 5).

При оценке показателей площадей корней дуг, отражающих их физические характеристики, выявлены следующие особенности. Значение SR уменьшалось с уровня позвонка Th₂ ($56,2 \pm 15,2$ мм²), достигая минимума на уровне позвонка Th₄ ($31,8 \pm 10,5$ мм²), затем происходило его увеличение в краниокаудальном направлении, достигавшее своего максимума на уровне позвонка Th₁₁ ($121,3 \pm 27,8$ мм²). Далее происходило уменьшение значения SR до уровня позвонка L₂ ($83,8 \pm 25,1$ мм²), с последующим увеличением в каудальных сегментах поясничного отдела позвоночника.

Значение SL плавно уменьшалось с уровня позвонка Th₂ ($75,6 \pm 17,0$ мм²), достигая минимального на уровне позвонка Th₇ ($36,6 \pm 16,9$ мм²), затем происходило его увеличение в краниокаудальном направлении, достигавшее своего

максимума на уровне позвонка Th₁₂ ($125,3 \pm 27,9$ мм²). Затем уменьшение значения SL до уровня позвонка L₂ ($92,0 \pm 20,2$ мм²), с последующим увеличением в каудальных сегментах поясничного отдела позвоночника (рис. 6).

Существенные особенности зависимости коэффициент асимметрии площадей корней дуг в грудном отделе позвоночника иллюстрирует рис. 7. Значения KAS имели максимальные отклонения от единицы на уровне позвонка Th₄ – 0,59 (0,29–1,70) и Th₈ – 1,94 (1,15–3,88), с последующим приближением к единице в каудальном направлении. В поясничном отделе значения KAS находились близко к единице, характеризуя тем самым отсутствие выраженных структуральных изменений (рис. 7).

Анализ методом корреляционных плеяд В.П. Терентьева был проведен для десяти признаков: угла сколиоза и еще девяти анатомо-антропометрических характеристик апикального позвонка (рис. 8).

На диаграмме отмечены связи признаков, коэффициент корреляции r которых значимо отличается от нуля на уровне значимости $P < 0,05$.

Выделяется плеяда уровня $|r| > 0,7$ (сплошная линия на рис. 8), состоящая из признаков РАП, угла сколиоза и KAlngd. Это подчеркивает клиническую значимость связи между РАП как локальной характеристикой пространственного положения позвонка, углом сколиоза по Cobb как глобальной характеристикой и соотношением продольных диаметров корней дуг апикального позвонка как отражением структуральной деформации самого апикального позвонка. На уровне плеяды $|r| > 0,5$ (пунктир на рис. 8) к указанной плеяде прибавляется признак lngdL апикального позвонка. Выделяются сильные корреляции между коэффициентом асимметрии площадей корней дуг и коэффициентом асимметрии поперечных диаметров корней дуг и поперечным диаметром левого корня дуги апикального позвонка, которые на уровне $|r| > 0,5$ образуют плеяду.

Обсуждение

В литературе имеются исследования, указывающие на более точное определение значений параметров корней дуг позвонков у пациентов с идиопатическим сколиозом при помощи программного обеспечения навигационной станции по сравнению с данными, которые получают при проведении КТ-исследования позвоночника. Так, Kuraishi et al. [8], изучив морфологию позвонков у детей с идиопатическим сколиозом грудной локализации, выявили отличие значений поперечных диаметров корней дуг позвонков, полученных при стандартном КТ-исследовании позвоночника и при исследовании, выполненном в навигационной станции. Согласно данным проведенного анализа, более точные результаты параметров костных структур позвонков были получены при их оценке с использованием навигационной станции [8]. Интересны и неоднозначны выводы, сделанные авторами, изучавшими особенности анатомии позвонков по данным МРТ. Так, Catan et al. [5], изучив морфологию корней дуг у 13 подростков с идиопатическим сколиозом I, III и VI типов по Lenke [9], не обнаружили статистически значимой разницы между поперечными диаметрами корней дуг позвонков на выпуклой и вогнутой сторонах при правостороннем типе деформации в грудном отделе. С учетом этих фактов, на наш взгляд, важным моментом в достижении точности и достоверности анализа особенностей анатомо-антропометрических параметров структур позвонков в сколиотической дуге деформации является метод получения и оценки цифровых показателей.

По данным некоторых исследователей [16, 17], отмечается некоторая схожесть краниокаудального градиента диаметров корней дуг позвонков в норме и при сколиотической болезни. Однако изменчивость размеров диаметров корней дуг на вершине основной дуги искривления имеет четкую связь со сколиотическим процессом, обусловленным асимметричным

ростом костных анатомических структур позвонков и отражающим его особенности в зависимости от типа идиопатического сколиоза. Согласно нашим данным, анатомо-антропометрические особенности корней дуг, в частности их поперечные и продольные диаметры, имеют определенные закономерности изменений в зависимости от локализации позвонка в основной дуге искривления.

Необходимо подчеркнуть выявленную закономерность, заключающуюся в выраженной асимметрии правых и левых поперечных диаметров корней дуг позвонков верхнегрудного отдела позвоночника на уровне Th₃–Th₄ у пациентов с правосторонним идиопатическим сколиозом грудной локализации, несмотря на отсутствие структуральной компенсаторной противодуги и торсионных изменений этих позвонков. У всех пациентов, вошедших в группу данного исследования, отмечалось преобладание размеров поперечных диаметров левых корней дуг позвонков над правыми, подтверждающееся их коэффициентом асимметрии, медиана которого для уровня Th₃ и Th₄ позвонков составила 0,60–0,63.

Очень важно отметить тот факт, что при анализе выраженности сколиотических изменений на вершине основной дуги искривления у детей с правосторонним грудным идиопатическим сколиозом отмечалась сильная корреляционная связь (коэффициент Пирсона $|r| > 0,7$) между величиной угла сколиотической деформации и ротацией апикального позвонка, а также введенным нами коэффициентом асимметрии продольных диаметров корней дуг на уровне апикального позвонка. Согласно полученным результатам, отмечено, что чем больше угол сколиотической дуги деформации, тем больше величина ротации и более выражен коэффициент асимметрии продольных диаметров корней дуг апикального позвонка. Одновременно с этим необходимо обратить внимание на отсутствие корреляционной связи величины угла

сколиотического искривления и РАП с размером поперечного диаметра левого корня дуги и коэффициентом асимметрии поперечных диаметров апикального позвонка.

Таким образом, можно утверждать, что выявленная сильная корреляционная связь между величиной основной дуги деформации, ротацией апикального позвонка и коэффициентом асимметрии продольных диаметров корней дуг на его уровне у детей с правосторонним идиопатическим сколиозом грудной локализации отражает закономерности формирования и развития структурных изменений, происходящих в позвонках в результате сколиотического процесса.

Заключение

Проведенный анализ особенностей анатомо-антропометрических параметров позвонков у детей с идиопати-

ческим правосторонним сколиозом грудной локализации при помощи 3D-КТ-навигации позволил выявить определенные закономерности и установить корреляционные связи между абсолютными и относительными значениями параметров позвонков и типом идиопатического сколиоза не только на вершине дуги деформации, но и на протяжении всей дуги искривления.

Выявлена положительная корреляционная связь между величиной сколиотической дуги деформации и коэффициентом асимметрии продольных диаметров корней дуг апикального позвонка. Одновременно с этим отмечено отсутствие корреляционной связи между углом сколиотического искривления и коэффициентом асимметрии поперечных диаметров корней дуг апикального позвонка. Выявлена уникальная закономерность, заключающаяся в выраженной асимметрии правых и левых

поперечных диаметров корней дуг на уровне Th₃–Th₄ позвонков с преобладанием абсолютных и относительных показателей поперечных диаметров левых корней дуг позвонков над правыми у детей с правосторонним идиопатическим сколиозом грудной локализации. Эти изменения встречались у пациентов во всех наблюдениях, несмотря на отсутствие структуральной компенсаторной противодуги и торсионных изменений позвонков верхнегрудного отдела.

Выявленные особенности параметров костных структур позвоночника у детей с правосторонним идиопатическим сколиозом грудной локализации позволяют провести рациональное предоперационное планирование и точно определить уровни коррекционной установки транспедикулярных опорных элементов металлоконструкции во время хирургического вмешательства.

Литература/References

1. Васюра А.С., Новиков В.В., Михайловский М.В., Долотин Д.Н., Суздаков В.А., Сорокин А.Н., Удалова И.Г. Хирургическое лечение сколиоза с применением метода транспедикулярной фиксации // Хирургия позвоночника. 2011. № 2. С. 27–34. [Vasyura AS, Novikov VV, Mikhailovsky MV, Dolotin DN, Suzdalov VA, Sorokin AN, Udalova IG. Surgical treatment of scoliosis using transpedicular fixation. Hir. Pozvonoc. 2011;(2):27–34. In Russian]. DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2011.2.27-34>.
2. Виссарионов С.В., Белянчиков С.М., Кокушин Д.Н., Мурашко В.В., Соболев А.В., Козырев А.С., Иванов М.Д., Сюндюков А.Р. Результаты коррекции деформации позвоночника транспедикулярными спинальными системами у детей с идиопатическим сколиозом // Хирургия позвоночника. 2013. № 3. С. 30–37. [Vissarionov SV, Belyanchikov SM, Kokushin DN, Murashko VV, Sobolev AV, Kozayrev AS, Ivanov MD, Syundyukov AR. Results of spinal deformity correction using transpedicular instrumentation in children with idiopathic scoliosis. Hir. Pozvonoc. 2013;(3):30–37. In Russian]. DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2013.3.30-37>.
3. Виссарионов С.В., Кокушин Д.Н., Дроздецкий А.П., Белянчиков С.М. Варианты коррекции деформации позвоночника у детей с идиопатическим сколиозом грудной локализации // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2012. № 3. С. 9–13. [Vissarionov SV, Kokushin DN, Drozdetsky AP, Belyanchikov SM. Variants of spine deformity correction in children with idiopathic scoliosis of thoracic localization. Journal of Traumatology and Orthopedics. Priorov. 2012;(3):9-13. In Russian].
4. Михайловский М.В., Фомичев Н.Г. Хирургия деформаций позвоночника. Новосибирск, 2011. [Mikhailovsky MV, Fomichev NG. Surgery of Spinal Deformities. Novosibirsk, 2011. In Russian].
5. Catan H, Buluc I, Anik Y, Ayyildiz E, Sarlak AY. Pedicle morphology of the thoracic spine in preadolescent idiopathic scoliosis: magnetic resonance supported analysis. Eur Spine J. 2007;16:1203–1208. DOI: [10.1007/s00586-006-0281-y](https://doi.org/10.1007/s00586-006-0281-y).
6. Kim YJ, Lenke LG, Bridwell KH, Cho YS, Riew KD. Free hand pedicle screw placement in the thoracic spine: is it safe? Spine. 2004;29:333–342.
7. Krag MH, Weaver DL, Beynon BD, Haugh LD. Morphometry of the thoracic and lumbar spine related to transpedicular screw placement for surgical spinal fixation. Spine. 1988;13:27–32. DOI: [10.1097/00007632-198801000-00007](https://doi.org/10.1097/00007632-198801000-00007).
8. Kuraishi S, Takahashi J, Hirabayashi H, Hashidate H, Ogihara N, Mukaiyama K, Kato H. Pedicle morphology using computed tomography-based navigation system in adolescent idiopathic scoliosis. J Spinal Disord Tech. 2013;26:22–28. DOI: [10.1097/BSD.0b013e31823162ef](https://doi.org/10.1097/BSD.0b013e31823162ef).
9. Lenke LG, Betz RR, Harms J, Bridwell KH, Clements DH, Lowe TG, Blanke K. Adolescent idiopathic scoliosis: a new classification to determine extent of spinal arthrodesis. J Bone Joint Surg Am. 2001;83:1169–1181.
10. Liljenqvist UR, Halm HF, Link TM. Pedicle screw instrumentation of the thoracic spine in idiopathic scoliosis. Spine. 1997;22:2239–2245. DOI: [10.1097/00007632-199710010-00008](https://doi.org/10.1097/00007632-199710010-00008).
11. Liljenqvist UR, Link TM, Halm HF. Morphometric analysis of thoracic and lumbar vertebrae in idiopathic scoliosis. Spine. 2000;25:1247–1253. DOI: [10.1097/00007632-200005150-00008](https://doi.org/10.1097/00007632-200005150-00008).
12. Panjabi MM, O'Holleran JD, Crisco JJ III, Kothe R. Complexity of the thoracic spine pedicle anatomy. Eur Spine J. 1997;6:19–24. DOI: [10.1007/BF01676570](https://doi.org/10.1007/BF01676570).
13. Parent S, Labelle H, Skalli W, Latimer B, de Guise J. Morphometric analysis of anatomic scoliotic specimens. Spine. 2002;27:2305–2311. DOI: [10.1097/01.BRS.0000030303.02003.2E](https://doi.org/10.1097/01.BRS.0000030303.02003.2E).

14. **Roy-Camille R, Saillant G, Mazel C.** Internal fixation of the lumbar spine with pedicle screw plating. Clin Orthop Relat Res. 1986;(203):7–17. DOI: 10.1097/00003086-198602000-00003.
15. **Suk SI, Lee CK, Kim WJ, Chung YJ, Park YB.** Segmental pedicle screw fixation in the treatment of thoracic idiopathic scoliosis. Spine. 1995;20:1399–1405.
16. **Vaccaro AR, Rizzolo SJ, Allardice TJ, Ramsey M, Salvo J, Balderston RA, Cotler JM.** Placement of pedicle screws in the thoracic spine. Part I: Morphometric analysis of the thoracic vertebrae. J Bone Joint Surg Am. 1995;77:1193–1199.
17. **Zindrick MR, Wiltse LL, Doornik A, Widell EH, Knight GW, Patwardhan AG, Thomas JC, Rothman SL, Fields BT.** Analysis of the morphometric characteristics of the thoracic and lumbar pedicles. Spine. 1987;12:160–166. DOI: 10.1097/00007632-198703000-00012.

Адрес для переписки:

Кокушин Дмитрий Николаевич
196603, Санкт-Петербург, Пушкин, ул. Парковая, 64–68,
НИДОИ им. Г.И. Турнера,
partgerm@yandex.ru

Address correspondence to:

Kokushin Dmitrii Nikolayevich
The Turner Research Institute for Children's Orthopedics,
Parkovaya str., 64–68, Pushkin, St. Petersburg, 196603, Russia,
partgerm@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 14.09.2015

Дмитрий Николаевич Кокушин, научный сотрудник отделения патологии позвоночника и нейрохирургии; Сергей Валентинович Виссарионов, д-р мед. наук, зам. директора по научной и учебной работе; Алексей Георгиевич Баиндурашвили, д-р мед. наук, проф., директор, Научно-исследовательский детский ортопедический институт им. Г.И. Турнера; Виктор Александрович Барт, доцент кафедры общей математики и информатики, канд. физ.-мат. наук, Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург.

Dmitrii Nikolayevich Kokushin, researcher in the department of spinal pathology and neurosurgery; Sergey Valentinovich Vissarionov, MD, DMSc, Deputy Director for Research and Academic Affairs; Aleksey Georgyevich Baindurasbvil, MD, DMSc, Prof., Director, The Turner Research Institute for Children's Orthopedics, St. Petersburg; Viktor Aleksandrovich Bart, PhD in Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the department of general mathematics and informatics, St. Petersburg State University, Russia.