



АНАЛИЗ АНАТОМО-АНТРОПОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОЗВОНКОВ У ДЕТЕЙ С ИДИОПАТИЧЕСКИМ СКОЛИОЗОМ ТИПА LENKE V С ПРИМЕНЕНИЕМ 3D-КТ-НАВИГАЦИИ

Д.Н. Кокушин¹, С.В. Виссарионов¹, А.Г. Баиндурашвили¹, В.А. Барт², Т.Б. Богатырев¹

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

²Санкт-Петербургский государственный университет

Цель исследования. Определить особенности анатомо-антропометрических параметров позвонков у детей с идиопатическим сколиозом типа Lenke V на основании данных 3D-КТ-навигации. **Материал и методы.** Обследованы 15 пациентов 14–18 лет с идиопатическим сколиозом груднопоясничной/поясничной 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 39,8 до 84,3° (в среднем 59,5°), угол ротации апикального позвонка — от 17,7 до 50,5° (в среднем 34,6°). Анатомические размеры поперечных и продольных диаметров корней дуг с вогнутой и выпуклой сторон на вершине основной дуги деформации превышали 4,0 мм. Выявлены сильные корреляции между ротацией апикального позвонка, углом сколиоза и коэффициентом асимметрии продольных диаметров корней дуг апикального позвонка. Коэффициент асимметрии площадей корней дуг позвонка является интегральным показателем выраженности асимметрии при сколиотическом процессе.

Заключение. Выявлена разная степень асимметрии костных структур апикальных позвонков при локализации основной дуги сколиотической деформации в грудном и груднопоясничном/поясничном отделах позвоночника.

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

Для цитирования: Кокушин Д.Н., Виссарионов С.В., Баиндурашвили А.Г., Барт В.А., Богатырев Т.Б. Анализ анатомо-антропометрических параметров позвонков у детей с идиопатическим сколиозом типа Lenke V с применением 3D-КТ-навигации // Хирургия позвоночника. 2016. Т. 13. № 3. С. 49–59.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2016.3.49-59>.

3D-CT ANALYSIS OF ANATOMICAL AND ANTHROPOMETRIC PARAMETERS OF VERTEBRAE IN CHILDREN WITH LENKE TYPE V IDIOPATHIC SCOLIOSIS

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

Objective. To analyze anatomical and anthropometric parameters of vertebrae in children with Lenke type V idiopathic scoliosis using 3D-CT navigation.

Material and Methods. The study included 15 patients aged 14–18 with thoracolumbar/lumbar idiopathic scoliosis of grades III and IV according to V.D. Chaklin. Anatomic and anthropometric features of the thoracic and lumbar vertebrae were assessed based on CT data in the navigation system. The total Cobb angle of the scoliotic curve, rotation of the apical and periapical vertebrae, external transverse and longitudinal diameters of the pedicles at the T₂–L₅ levels, and the coefficients of asymmetry of vertebral bone structures were determined.

Results. The angle of scoliosis ranged from 39.8° to 84.3° (average — 59.5°), the angle of rotation of the apical vertebra — from 17.7° to 50.5° (average — 34.6°). Anatomical dimensions of the transverse and longitudinal diameters of the pedicles on the concave and convex sides at the apex of a primary curve exceeded 4.0 mm. A strong correlation between the apical vertebral rotation, the Cobb angle, and the coefficient of asymmetry of longitudinal diameters of the pedicles of the apical vertebra was revealed. The coefficient of asymmetry of pedicle areas is an integral indicator of the severity of asymmetry in scoliosis.

Conclusion. A different degree of asymmetry of the bone structures of the main arch apical vertebrae was revealed in the thoracic and thoracolumbar/lumbar scoliosis.

Key Words: idiopathic scoliosis, Lenke type V, 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, Bogatyrev TB. 3D-CT analysis of anatomical and anthropometric parameters of vertebrae in children with Lenke type V idiopathic scoliosis. *Hir. Pozvonoc.* 2016;13(3):49–59. In Russian.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2016.3.49-59>.

Транспедикулярная фиксация, используемая при хирургическом лечении деформаций позвоночника у детей с идиопатическим сколиозом, за последнее десятилетие заняла прочное место в арсенале спинальных хирургов, занимающихся данной проблемой. Согласно научным исследованиям, имеется ряд преимуществ этих спинальных систем при коррекции деформации позвоночника у пациентов с идиопатическим сколиозом по сравнению с ламинарными дорсальными системами [1, 3, 6, 8, 11, 13].

В некоторых работах [2, 9] показано, что хирургическая коррекция деформации позвоночника, в частности грудопоясничной и поясничной локализации, осуществляется как вентральными, так и дорсальными транспедикулярными системами. Эти исследования демонстрируют сходные результаты, показывающие их эффективность в плане величины исправления искривления и стабильности достигнутого результата вмешательства в отдаленном послеоперационном периоде. Однако применение вентральных систем для коррекции деформации позвоночника грудопоясничной и поясничной локализации при идиопатическом сколиозе ограничено рядом факторов: величиной основной дуги деформации и ее протяженностью.

Одновременно с этим имеются исследования, посвященные сравнительному анализу хирургического лечения пациентов с идиопатическим сколиозом грудопоясничной и поясничной локализации, подтверждающие преимущества применения дорсальных транспедикулярных спинальных систем перед вентральными. Последние заключаются в возможности получить больший процент коррекции сколиотической деформации позвоночника и сократить послеоперационный койкодень [10, 12]. Необходимо отметить, что чем больше величина сколиотической дуги деформации, тем более значима выраженность анатомических и пространственных изменений костных структур позвонков, входящих в основную

дугу искривления [4]. Имеющиеся анатомо-антропометрические особенности позвонков основной дуги деформации потенциально создают технические трудности для корректной установки транспедикулярных опорных элементов металлоконструкции в ходе операции. Эти факторы обуславливают актуальность знания закономерностей пространственных взаимоотношений между костными структурами позвонков и соотношений их анатомо-антропометрических особенностей с точки зрения их корреляционных взаимоотношений при сколиотическом процессе.

В литературе не найдено исследований, посвященных анализу анатомо-антропометрических параметров позвонков на основании данных 3D-КТ-навигации при V типе (Lenke) идиопатического сколиоза и оценке закономерностей этих особенностей в зависимости от величины дуги сколиотической деформации позвоночника.

Настоящее исследование является продолжением предыдущей публикации, в которой рассмотрены вопросы изучения и анализа анатомо-антропометрических особенностей позвонков у детей с идиопатическим сколиозом грудной локализации [4].

Цель исследования – определить особенности анатомо-антропометрических параметров позвонков у детей с идиопатическим сколиозом типа Lenke V на основании данных 3D-КТ-навигации.

Материал и методы

Обследованы 15 пациентов 14–18 лет с идиопатическим сколиозом грудопоясничной/поясничной локализации III и IV ст. по В.Д. Чаклину. Распределение по половому признаку было характерным для деформаций позвоночника при идиопатическом сколиозе: 1 пациент мужского пола, 14 – женского. Во всех наблюдениях направленность грудопоясничной/поясничной сколиотической дуги была левосторонней.

С целью выявления выраженности структуральных изменений на уровне апикального позвонка в качестве группы сравнения выступили 20 пациентов с идиопатическим правосторонним грудным сколиозом, рассмотренных в предыдущей публикации [4].

Диагноз идиопатического сколиоза устанавливали на основании стандартного обследования, проводимого в клинике и включающего в себя клинико-неврологические, инструментальные, лучевые методы исследования (рентгенографию и МСКТ), 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 проводили на компьютерном томографе «Brilliance CT64» (США). КТ выполняли в положении пациента на животе с целью максимального приближения к положению на операционном столе. КТ-сканы с толщиной среза 1 мм импортировали при помощи носителя в навигационную систему, оснащенную программным обеспечением «SpineMap 3D», где производили все необходимые измерения. Наиболее удачными названиями измеренных признаков представляются термины «продольный диаметр основания корня дуги» и «поперечный диаметр основания корня дуги». Эти термины подчеркивают принятую нами эллиптическую модель основания корня дуги. В рамках этой модели они соответствуют понятиям главных диаметров эллипса, принятым в геометрии и механике, как для обозначения отрезков, соединяющих противоположные точки на эллипсе, так и их длин [5, 7].

Последовательность действий при анализе анатомо-антропометрических особенностей позвонков была следующей. Определяли общий угол сколиоза (angle scoliosis), ротацию апикального позвонка (РАП), ротацию проксимального (РППП) и дистального (РДПП) периапикаль-

ных позвонков, внешний поперечный (trd) и продольный (lngd) диаметры правых (R) и левых (L) корней дуг позвонков с уровня Th₂ до L₅ позвонка включительно.

Рассчитывали площади правого (SR) и левого (SL) корней дуги 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; KAlng – 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.

Описательные статистики вычислены для сопоставления всех исследуемых анатомо-антропометрических характеристик позвонков и различных коэффициентов асимметрии. Для проверки нормальности распределений

применяли критерий Колмогорова – Смирнова. Для выявления закономерностей и связей между признаками построили диаграммы Тьюки, применили гистограммный (стягивание окна), корреляционный анализ (метод корреляционных плеяд В.П. Терентьева). Критерий Стюдента и F-критерий Фишера использовали для выявления различий характеристик в группах пациентов.

Результаты

Согласно данным исследования, угол сколиотической деформации, определенный по вышеописанной методике, составил от 39,8 до 84,3° (в среднем 59,5°). Угол РАП колебался от 17,7 до 50,5° (в среднем 34,6°), угол РППП – от 15,3 до 42,8° (в среднем 28,3°), угол РДПП – от 16,2 до 35,7° (в среднем 25,2°).

Абсолютные значения поперечных и продольных диаметров корней дуг позвонков, площадей корней дуг и их коэффициентов асимметрии представлены в табл. 1–3.

Для значений поперечных и продольных диаметров корней дуг, их площадей данные в таблицах представлены в виде $M \pm m$; для значений коэффициентов асимметрии данные представлены в виде – Me (min–max).

Для более детального рассмотрения различий между диаметрами правых и левых корней дуг позвонков и определения закономерностей изменений их размеров, а также коэффициентов асимметрии, в зависимости от отдела позвоночника, применяли визуальный анализ диаграмм Тьюки.

При анализе изменения значений trdR было определено, что в верхнегрудном отделе позвоночника значения trdR уменьшались с уровня позвонка Th₂ ($5,8 \pm 0,7$ мм), достигая минимальных на уровне позвонка Th₄ ($3,7 \pm 0,9$ мм), затем происходило увеличение размеров в краниокаудальном направлении, достигавшее своего максимума на уровне позвонка Th₁₁ ($6,4 \pm 1,5$ мм). Далее уменьшение значения до уровня позвонка L₁ ($4,7 \pm 1,7$ мм). В кaudальных сегментах поясничного отдела позвоночника отмечено увеличение значения trdR

Таблица 1

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

Позвонки	trdR, мм	trdL, мм	KAtrd
Th ₂	$5,8 \pm 0,7$	$5,8 \pm 0,7$	1,00 (0,89–1,23)
Th ₃	$4,4 \pm 0,8$	$4,3 \pm 0,7$	1,02 (0,80–1,50)
Th ₄	$3,7 \pm 0,9$	$4,0 \pm 0,7$	0,93 (0,53–1,56)
Th ₅	$3,8 \pm 1,0$	$3,8 \pm 0,8$	1,03 (0,61–1,34)
Th ₆	$4,1 \pm 1,0$	$3,6 \pm 0,7$	1,20 (0,62–1,66)
Th ₇	$4,0 \pm 1,2$	$3,5 \pm 0,5$	1,24 (0,58–1,50)
Th ₈	$4,2 \pm 1,0$	$3,6 \pm 0,6$	1,15 (0,72–1,46)
Th ₉	$4,7 \pm 0,9$	$4,0 \pm 0,7$	1,23 (0,84–1,38)
Th ₁₀	$5,3 \pm 1,1$	$5,3 \pm 1,1$	1,02 (0,82–1,30)
Th ₁₁	$6,4 \pm 1,5$	$7,1 \pm 1,6$	0,93 (0,64–1,37)
Th ₁₂	$5,6 \pm 2,0$	$6,8 \pm 1,7$	0,82 (0,52–1,11)
L ₁	$4,7 \pm 1,7$	$5,6 \pm 1,2$	0,81 (0,59–1,29)
L ₂	$5,7 \pm 1,0$	$6,0 \pm 1,1$	0,92 (0,59–1,33)
L ₃	$7,3 \pm 1,9$	$7,6 \pm 1,4$	0,97 (0,78–1,09)
L ₄	$9,0 \pm 1,2$	$10,2 \pm 1,9$	0,90 (0,73–1,05)
L ₅	$13,3 \pm 1,6$	$15,1 \pm 2,7$	0,90 (0,77–1,05)

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

Таблица 2

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

Позвонки	lngdR, мм	lngdL, мм	KAlngd
Th ₂	11,3 ± 1,3	11,3 ± 1,8	0,99 (0,88–1,21)
Th ₃	11,8 ± 1,6	11,5 ± 2,3	1,04 (0,82–1,22)
Th ₄	10,6 ± 1,3	11,1 ± 1,6	0,95 (0,80–1,08)
Th ₅	11,0 ± 1,1	10,9 ± 1,5	0,99 (0,85–1,20)
Th ₆	11,4 ± 1,2	11,1 ± 1,5	1,03 (0,88–1,23)
Th ₇	11,9 ± 1,2	11,5 ± 1,5	1,02 (0,89–1,19)
Th ₈	11,5 ± 1,2	12,0 ± 1,6	0,96 (0,75–1,11)
Th ₉	12,6 ± 1,2	13,3 ± 1,9	0,94 (0,85–1,18)
Th ₁₀	14,2 ± 1,3	16,1 ± 1,6	0,91 (0,75–0,99)
Th ₁₁	15,0 ± 1,5	18,8 ± 2,3	0,82 (0,69–0,90)
Th ₁₂	14,1 ± 1,8	16,3 ± 1,8	0,87 (0,73–0,96)
L ₁	13,3 ± 1,3	15,1 ± 1,4	0,92 (0,72–1,00)
L ₂	13,4 ± 1,5	14,8 ± 1,6	0,94 (0,74–1,02)
L ₃	14,2 ± 1,1	13,8 ± 1,5	1,02 (0,92–1,19)
L ₄	13,5 ± 1,9	12,0 ± 1,2	1,08 (0,98–1,42)
L ₅	12,8 ± 1,9	11,7 ± 2,0	1,05 (0,89–1,57)

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

Таблица 3

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

Позвонки	SR, мм ²	SL, мм ²	KAS
Th ₂	66,0 ± 12,1	65,8 ± 14,2	0,98 (0,83–1,21)
Th ₃	51,6 ± 12,8	49,7 ± 17,3	1,02 (0,66–1,82)
Th ₄	39,3 ± 11,6	44,7 ± 11,5	0,88 (0,43–1,59)
Th ₅	41,3 ± 11,1	41,0 ± 10,9	1,02 (0,52–1,58)
Th ₆	47,1 ± 12,3	40,6 ± 11,5	1,28 (0,54–1,88)
Th ₇	46,9 ± 14,8	40,4 ± 6,3	1,41 (0,56–1,75)
Th ₈	48,5 ± 14,8	43,2 ± 10,2	1,06 (0,75–1,61)
Th ₉	59,6 ± 12,8	53,5 ± 10,4	1,17 (0,78–1,29)
Th ₁₀	76,7 ± 21,4	85,6 ± 22,2	0,97 (0,67–1,15)
Th ₁₁	96,4 ± 28,3	134,5 ± 37,4	0,76 (0,48–1,19)
Th ₁₂	78,3 ± 28,3	111,6 ± 31,0	0,68 (0,48–1,06)
L ₁	63,3 ± 24,8	85,1 ± 20,9	0,67 (0,45–1,19)
L ₂	76,8 ± 18,4	89,0 ± 20,9	0,90 (0,52–1,25)
L ₃	104,2 ± 32,3	104,7 ± 24,6	1,00 (0,72–1,24)
L ₄	120,8 ± 27,0	122,0 ± 25,7	0,99 (0,79–1,24)
L ₅	170,4 ± 36,0	174,5 ± 31,1	0,96 (0,75–1,39)

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

с уровня позвонка L₂ (5,7 ± 1,0 мм) до позвонка L₅ (13,3 ± 1,6 мм).

Для значений trdL закономерность полученных изменений на диаграмме была следующей. Отмечалось плавное уменьшение размеров с уровня позвонка Th₂ (5,8 ± 0,7 мм) с достиже-

нием минимальных значений на уровне позвонка Th₇ (3,5 ± 0,5 мм). Далее trdL увеличивался по направлению к позвонку Th₁₁, достигая значения 7,1 ± 1,6 мм. Затем отмечено уменьшение значения до уровня позвонка L₁ (5,6 ± 1,2 мм). С уровня позвонка L₂

(6,0 ± 1,1 мм) направленность изменений размеров trdL характеризовалась нарастанием размеров поперечных диаметров корней дуг в краниокаудальном направлении с достижением максимальных значений на уровне позвонка L₅ (15,1 ± 2,7 мм; рис. 1).

При проведении визуального анализа характера изменений размеров lngd корней дуг отмечены схожие закономерности для значений lngdR и lngdL для грудного и поясничного отделов позвоночника. Так, значение lngdR незначительно увеличивалось с уровня позвонка Th_2 ($11,3 \pm 1,3$ мм) до уровня позвонка Th_3 ($11,8 \pm 1,6$ мм) с последующим уменьшением до $10,6 \pm 1,3$ мм на уровне позвонка Th_4 . С уровня позвонка Th_5 происходило плавное увеличение значения lngdR с $11,0 \pm 1,1$ мм, достигая максимума на уровне позвонка Th_{11} ($15,0 \pm 1,5$ мм), затем уменьшение значения на уровне позвонка L_1 ($13,3 \pm 1,3$ мм). Далее значение lngdR вновь увеличивалось с достижением своего максимума на уровне позвонка L_3 ($14,2 \pm 1,1$ мм) с последующим уменьшением в краниокаудальном направлении, характеризуясь минимальными значениями на уровне позвонка L_5 ($12,8 \pm 1,9$ мм).

При анализе распределения значений признака lngdL в грудном отделе позвоночника отмечено незначительное увеличение с уровня позвонка Th_2 ($11,3 \pm 1,8$ мм) до уровня позвонка Th_3 ($11,5 \pm 2,3$ мм) с последующим умень-

шением до $10,9 \pm 1,5$ мм на уровне позвонка Th_5 . Затем с уровня позвонка Th_6 происходило увеличение значения lngdL с $11,1 \pm 1,5$ мм, достигавшее своего максимума на уровне позвонка Th_{11} ($18,8 \pm 2,3$ мм). С уровня позвонка Th_{12} вновь происходило уменьшение значения lngdL с $16,3 \pm 1,8$ мм в краниокаудальном направлении с достижением минимальных значений ($11,7 \pm 2,0$ мм) на уровне позвонка L_5 (рис. 2).

При оценке коэффициентов асимметрии trd и lngd корней дуг в грудном и поясничном отделах позвоночника были выявлены следующие закономерности.

KAtrd в верхнегрудном отделе позвоночника и до уровня позвонка Th_5 включительно имел значения близкие к единице. На уровне позвонков Th_6 – Th_9 отмечено значимое отклонение KAtrd в пределах от 1,15 (0,72–1,46) до 1,24 (0,58–1,50). Такие изменения характеризовали преобладание размеров trdR корней дуг над trdL на данном уровне. На уровне позвонков Th_{10} и Th_{11} KAtrd вновь характеризовался значениями близкими к единице. В зоне расположения апикальных позвонков на уровне

Th_{12} – L_1 максимальное отклонение KAtrd от единицы составило 0,81 (0,59–1,29), что показывало преобладание размеров trdL над размерами trdR . Далее в поясничном отделе позвоночника с уровня позвонка L_2 до позвонка L_5 включительно KAtrd имел значения близкие к единице.

Для KAlngd выявленные закономерности асимметрии были несколько иными. Так, с уровня позвонка Th_2 до позвонка Th_{10} включительно KAlngd имел значения близкие к единице. Зона максимального отклонения значений KAlngd от единицы была расположена на уровне позвонков Th_{11} – Th_{12} , составив 0,82 и 0,87 соответственно. В поясничном отделе значения KAlngd находились близко к единице, характеризуя тем самым отсутствие выраженных структуральных изменений (рис. 3).

При оценке показателей площадей корней дуг были выявлены следующие закономерности их изменений. Значение SR уменьшалось с уровня позвонка Th_2 ($66,0 \pm 12,1$ мм²), достигая минимума на уровне позвонка Th_4 ($39,3 \pm 11,6$ мм²), затем происходило его увеличение в краниокаудальном направлении, достигавшее своего

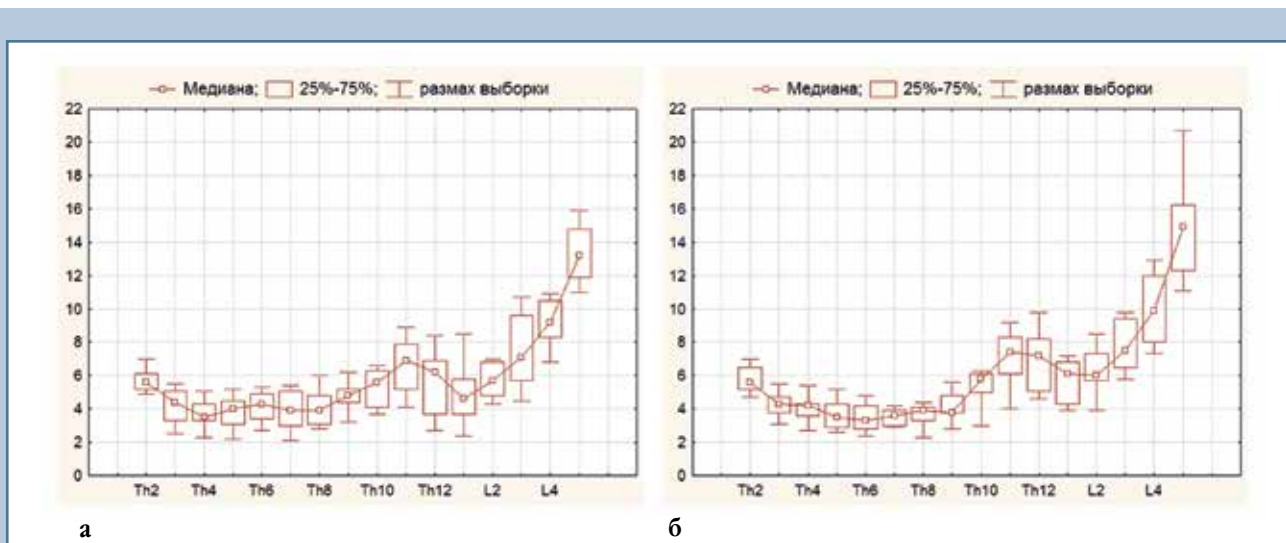


Рис. 1

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

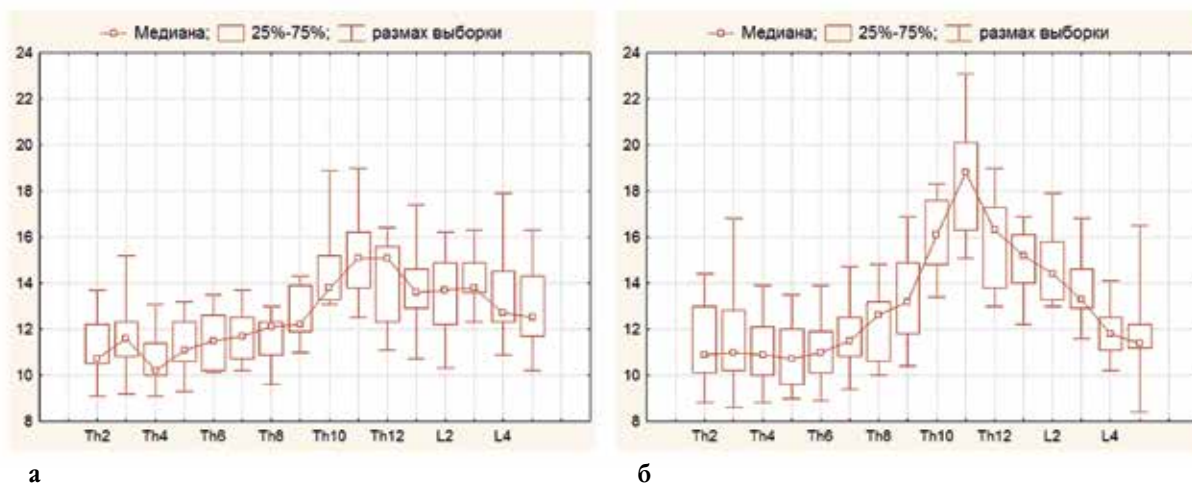


Рис. 2

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

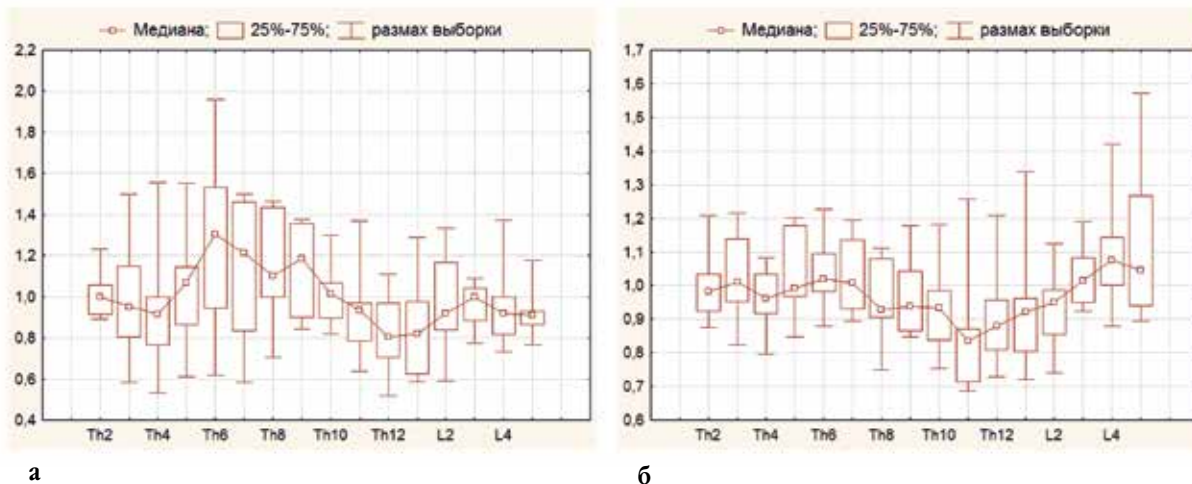


Рис. 3

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

максимума на уровне позвонка Th₁₁ ($96,4 \pm 28,3 \text{ мм}^2$). Далее значение SR уменьшалось до уровня позвонка L₁ ($63,3 \pm 24,8 \text{ мм}^2$) с последующим увеличением в краниокаудальном направлении, достигая максимальных значений ($174,5 \pm 31,1 \text{ мм}^2$) на уровне позвонка L₅ (рис. 4).

При анализе показателей коэффициента асимметрии площадей корней дуг были выявлены его отклонения от единицы на нескольких уровнях позвонков в грудном отделе позвоночника, имеющие разнонаправленный характер изменений. Так, значения KAS имели максимальные отклонения от единицы на уровне позвонка Th₄ –

0,88 (0,43–1,59), Th₆ – 1,28 (0,54–1,88), Th₇ – 1,41 (0,56–1,75). Далее с уровня позвонка Th₈ до позвонка Th₁₀ включительно значения KAS были приближены к единице. Затем вновь отмечалась выраженная асимметрия площадей корней дуг с уровня позвонка Th₁₁ – 0,76 (0,48–1,19) с достижением максимального отклонения значений

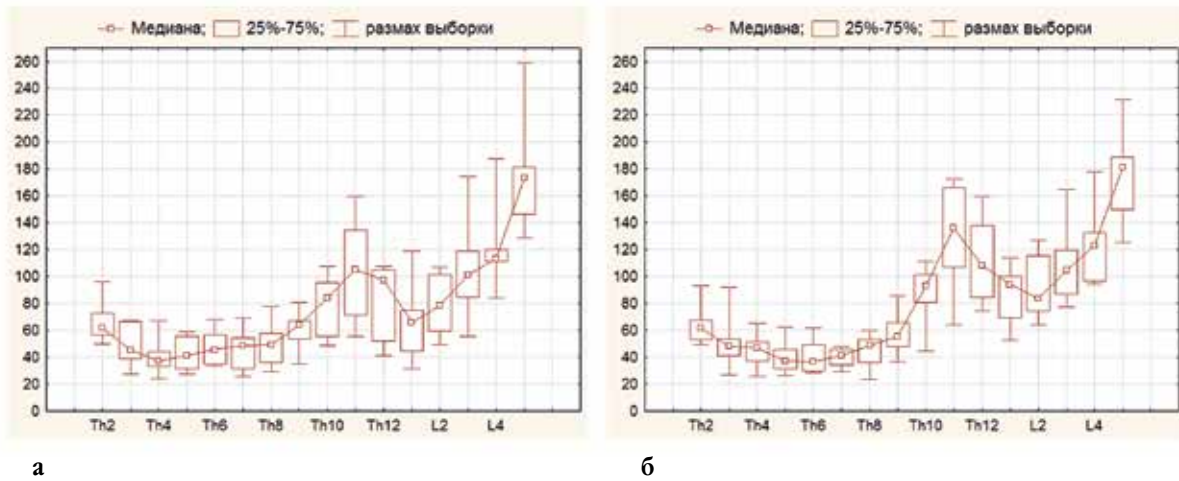


Рис. 4

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

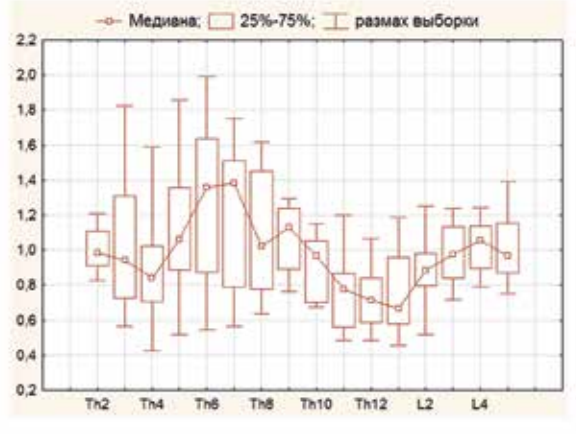


Рис. 5

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

KAS от единицы на уровне позвонка L_1 – 0,67 (0,45–1,19). С уровня позвонка L_2 в поясничном отделе значения KAS находились близко к единице, характеризуя отсутствие выраженных структурных изменений (рис. 5).

Анализ методом корреляционных плеяд В.П. Терентьева был проведен для десяти признаков: угла сколиоза и еще девяти анатомо-антропометрических характеристик апикального позвонка (рис. 6).

На рис. 6 отметим две плеяды признаков.

Первая плеяда уровня $|r| > 0,8$ объединяет признаки РАП, угол сколиоза и KAlnd. Она иллюстрирует 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 апикального позвонка. На уровне плеяды $|r| > 0,6$ к ней присоединяется положение апикального позвонка. Другую плеяду на уровне $|r| > 0,6$ образуют trdR, KAtrd и KAS.

При проведении сравнительного анализа коэффициентов асимметрии апикального позвонка у пациентов с I и V типами идиопатического сколиоза по классификации Lenke были получены статистически значимые отличия. Они свидетельствуют о принципиально разной степени асимметрии костных структур апикальных позвонков при локализации основной дуги сколиотической деформации в грудном и грудопоясничном/поясничном отделах позвоночника (табл. 4).

Данные представлены в виде геометрического среднего (выборочный 95 % доверительный интервал). Логарифмы значений трех коэффициентов были распределены нормально (критерий Колмогорова – Смирнова). Дисперсии логарифмов коэффициентов значимо не отличались (F-критерий Фишера). Тест Стьюдента применялся для логарифмов значений коэффициентов асимметрии. Во всех трех случаях различия оказались статистически значимы.

При визуальном анализе гистограмм коэффициентов асимметрии различие коэффициента асимметрии в сравниваемых группах пациентов хорошо видно по смещению огибающих пиков (рис. 7).

Для всех коэффициентов отмечается большая выраженность асимметрии для апикальных позвонков I типа сколиоза по сравнению с апикальными позвонками при V типе сколиоза.

Обсуждение

Таким образом, анатомические размеры trd и lngd корней дуг с вогнутой и выпуклой сторон на вершине основной дуги деформации у паци-

ентов с идиопатическим сколиозом типа Lenke V превышали 4,0 мм. Это говорит о том, что у данной категории пациентов можно осуществить тотальную транспедикулярную фиксацию на протяжении дуги искривления с обеих сторон. Данная особенность является кардинальным отличием от сколиотической деформации у пациентов с типом Lenke I, где с вогнутой стороны основной дуги искривления trd корней дуг позвонков апикальной зоны составил в среднем 3,6 мм.

При анализе KAtrd и KAlngd корней дуг позвонков апикальной зоны, отмечено, что значения KAtrd и KAlngd составили 0,81–0,82 и 0,87–0,92 соответственно. Однако наибольшая выраженность асимметрии костных структур позвонков, выявленная на уровне апикального позвонка грудопоясничной/поясничной сколиотической дуги деформации, характеризовалась коэффициентом асимметрии их площадей (KAS – 0,67–0,68). Необходимо отметить, что изменения значения KAS также имели выраженные отклонения от единицы на уровне позвонка Th₄ – 0,88 и позвонков Th₆ и Th₇ (1,41 и 1,28), то есть вне зоны основной структуральной дуги сколиотического искривления. Статистический анализ не выявил подобных изменений KAS для верхнегрудного отдела и каудальных сегментов поясничного отдела позвоночника. Чувствительность данного коэффициента к асимметрии корней дуг и его диаграммная наглядность в отражении структуральных изменений позволяет рассматривать

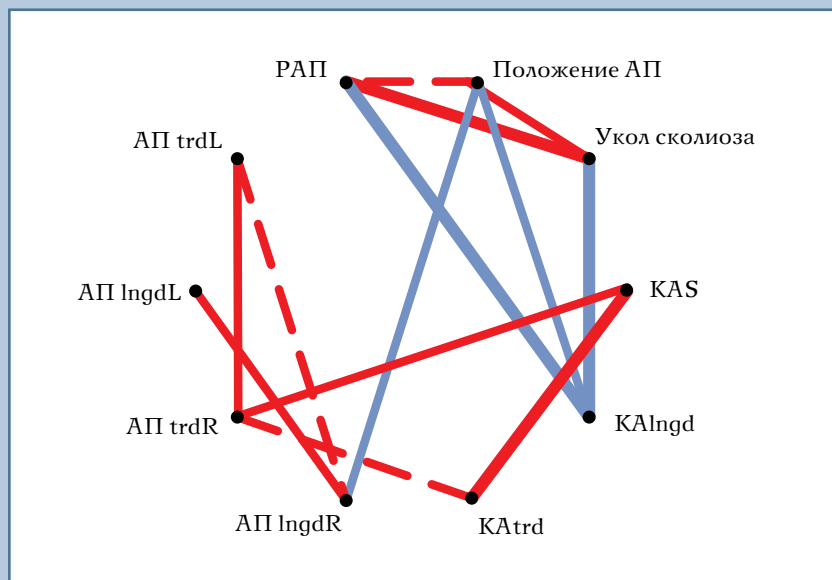


Рис. 6

Корреляционные связи анализируемых признаков пациентов с Lenke V, отмечены связи признаков, коэффициент корреляции r которых отличается от нуля на уровне значимости $P < 0,05$: сплошные линии – уровень $|r| > 0,8$; пунктирные – $|r| > 0,6$; толщина линий пропорциональна величине $|r|$; красные линии – положительные значения r , синие – отрицательные; 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

Таблица 4

Коэффициенты асимметрии апикальных позвонков у пациентов с идиопатическим сколиозом типов Lenke I и Lenke V

Коэффициент	Lenke I	Lenke V	t-критерий	F-критерий
KAtrd	1,77 (1,25; 3,11)	1,47 (1,26; 1,93)	$p < 0,028$	$p = 0,168$
KAlngd	1,44 (1,19; 1,90)	1,28 (1,12; 1,46)	$p < 0,015$	$p = 0,337$
KAS	2,36 (1,50; 4,73)	1,66 (1,16; 2,20)	$p < 0,002$	$p = 0,129$

KAtrd – коэффициент асимметрии поперечных диаметров корней дуг позвонка, определяемый как соотношение trdR к trdL; KAlngd – коэффициент асимметрии продольных диаметров корней дуг позвонка, определяемый как соотношение lngdR к lngdL; KAS – коэффициент асимметрии площадей корней дуг позвонка, определяемый как соотношение SR и SL.

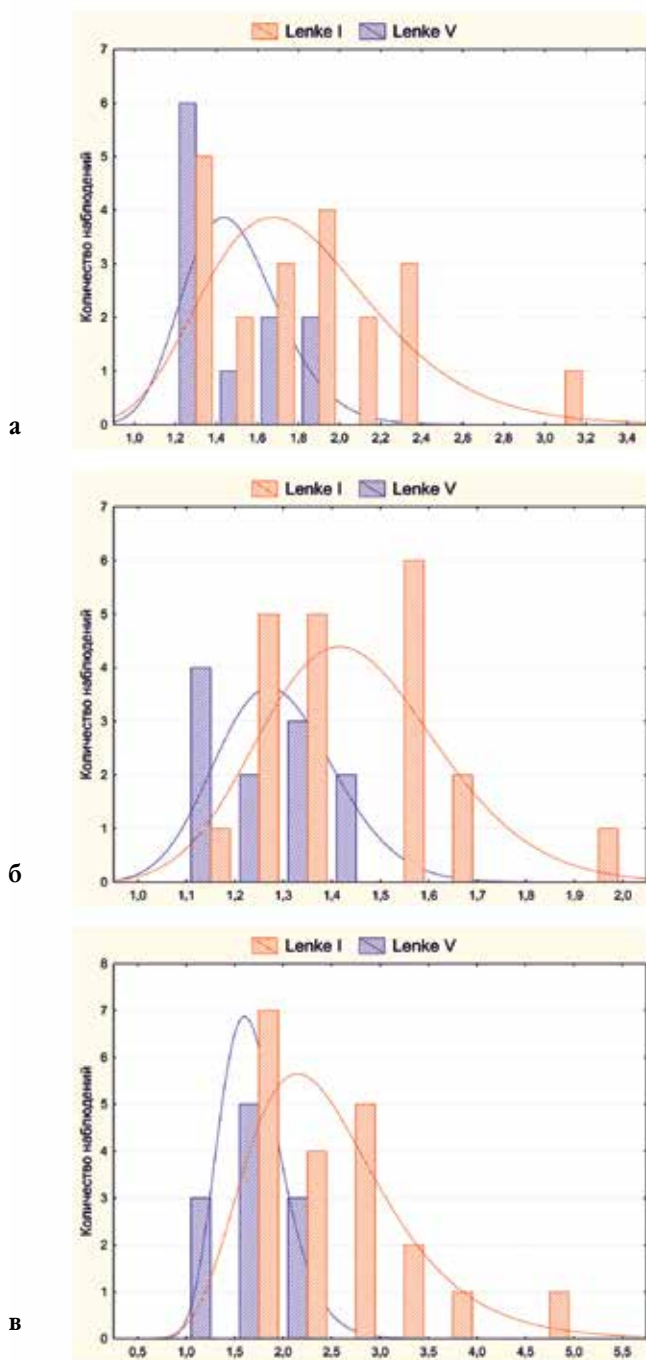


Рис. 7

Совместная гистограмма распределения значений признаков коэффициента асимметрии поперечных диаметров корней дуг позвонка (**а**), коэффициента асимметрии продольных диаметров корней дуг позвонка (**б**), коэффициента асимметрии площадей корней дуг позвонка (**в**) в группах пациентов с идиопатическим сколиозом типов I и V по Lenke: огибающие выборочные значения соответствуют логарифмически нормальному распределению (тест Колмогорова – Смирнова)

его в качестве интегрального показателя выраженности сколиотического процесса при различных типах сколиоза.

При проведении корреляционного анализа методом корреляционных плеяд В.П. Терентьева также определялась плеяда (РАП, угол сколиоза и KAlngd), выявленная ранее у пациентов с грудным типом идиопатического сколиоза. Схожесть в закономерностях сколиотического процесса для I и V типов по Lenke выражалась в отсутствии корреляционной связи величины угла сколиотического искривления и РАП с размером trdR и KAtrd апикального позвонка. Необходимо отметить, что при V типе по Lenke выявлены корреляционные связи между признаками APltrdR, KAtrd и KAS, что говорит о большем влиянии размеров поперечного диаметра корней дуг позвонков апикальной зоны на KAS, являющимся интегральным показателем выраженности асимметрии при сколиотическом процессе.

На основании проведенного статистического анализа установлено достоверное ($p < 0,05$) отличие, заключающееся в большей выраженности асимметрии поперечных и продольных диаметров корней дуг позвонков апикальной зоны при I типе идиопатического сколиоза по Lenke в сравнении с апикальными позвонками при V типе. Выявленные особенности при проведении сравнительного анализа признаков KAtrd, KAlngd и KAS, на наш взгляд, можно объяснить тем, что характер и процесс течения сколиотического процесса, несомненно, влияет на анатомо-антропометрические параметры и пространственные взаимоотношения костных структур позвонков, входящих в основную дугу искривления. В свою очередь, отличия анализируемых параметров костных структур позвонков в дуге искривления при I и V типах идиопатического сколиоза по Lenke обусловлены различной локализацией основной дуги деформации и особенностями в анатомическом строении позвонков грудного и поясничного отделов, входящих в нее.

Заключение

Проведенный анализ особенностей анатомо-антропометрических параметров позвонков у детей с идиопатическим левосторонним сколиозом груднопоясничной/поясничной локализации при помощи 3D-КТ-навигации позволил выявить определенные закономерности и установить

корреляционные связи между абсолютными и относительными значениями параметров позвонков при V типе идиопатического сколиоза по Lenke. Отмечена разная степень асимметрии костных структур апикальных позвонков при локализации основной дуги сколиотической деформации в грудном и груднопоясничном/поясничном отделах позвоночника.

Анатомические размеры поперечных и продольных диаметров корней дуг с вогнутой и выпуклой стороны на вершине основной дуги деформации превышали 4,0 мм, что позволяет у данной категории пациентов осуществить тотальную транспедикулярную фиксацию на протяжении дуги искривления с обеих сторон.

Литература/References

1. **Васюра А.С., Новиков В.В., Михайловский М.В., Долотин Д.Н., Суздалов 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, Udaloa 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. **Ветрилэ С.Т., Кулешов А.А., Ветрилэ М.С., Кисель А.А.** Хирургическое лечение груднопоясничного и поясничного сколиоза // Хирургия позвоночника. 2004. № 2. С. 12–18. [Vetrile ST, Kuleshov AA, Vetrile MS, Kisel' AA. Surgical treatment of thoracolumbar and lumbar scoliosis. Hir. Pozvonoc. 2004;(2):12–18. In Russian].
3. **Виссарионов С.В., Кокушин Д.Н., Белянчиков С.М., Мурашко В.В., Надилов Н.Н.** Хирургическое лечение деформаций позвоночника у детей с идиопатическим сколиозом транспедикулярными спинальными системами: Пособие для врачей. СПб., 2014. [Vissarionov SV, Kokushin DN, Belyanchikov SM, Murashko VV, Nadirov NN. Surgical Treatment of Spinal Deformities in Children with Idiopathic Scoliosis Using Transpedicular Spinal Systems: A Guide for Physicians. SPb., 2014. In Russian].
4. **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. [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>.
5. Математический энциклопедический словарь / Под ред. Ю.В. Прохорова. М., 1988. С. 178. [Mathematical Encyclopedic Dictionary, ed. by Yu.V. Prokhorov. Moscow, 1988:178. In Russian].
6. **Михайловский М.В., Фомичев Н.Г.** Хирургия деформаций позвоночника. Новосибирск, 2011. [Mikhailovsky MV, Fomichev NG. Surgery of Spinal Deformities. Novosibirsk, 2011. In Russian].
7. **Привалов И.И.** Аналитическая геометрия. СПб., 2008. [Privalov II. Analytical Geometry. St. Petersburg, 2008. In Russian].
8. **Bennett JT, Hoashi JS, Ames RJ, Kimball JS, Pahys JM, Samdani AF.** The posterior pedicle screw construct: 5-year results for thoracolumbar and lumbar curves. J Neurosurg Spine. 2013;19:658–663. DOI: [10.3171/2013.8.spine.12816](https://doi.org/10.3171/2013.8.spine.12816).
9. **Dong Y, Weng X, Zhao H, Zhang J, Shen J, Qiu G.** Lenke 5C curves in adolescent idiopathic scoliosis. Neurosurgery. 2016;78:324–331. DOI: [10.1227/neu.0000000000001055](https://doi.org/10.1227/neu.0000000000001055).
10. **Geck MJ, Rinella A, Hawthorne D, Macagno A, Koester L, Sides B, Bridwell K, Lenke L, Shuffelbarger H.** Comparison of surgical treatment in Lenke 5C adolescent idiopathic scoliosis: anterior dual rod versus posterior pedicle fixation surgery: a comparison of two practices. Spine. 2009;34:1942–1951. DOI: [10.1097/brs.0b013e3181a3c777](https://doi.org/10.1097/brs.0b013e3181a3c777).
11. **Kim YJ, Lenke LG, Cho SK, Bridwell KH, Sides B, Blanke K.** Comparative analysis of pedicle screw versus hook instrumentation in posterior spinal fusion of adolescent idiopathic scoliosis. Spine. 2004;29:2040–2048. DOI: [10.1097/01.brs.0000138268.12324.1a](https://doi.org/10.1097/01.brs.0000138268.12324.1a).
12. **Shuffelbarger HL, Geck MJ, Clark CE.** The posterior approach for lumbar and thoracolumbar adolescent idiopathic scoliosis: posterior shortening and pedicle screws. Spine. 2004;29:269–276. DOI: [10.1097/01.brs.0000109881.63411.48](https://doi.org/10.1097/01.brs.0000109881.63411.48).
13. **Yilmaz G, Borkhuu B, Dhawale AA, Oto M, Littleton AG, Mason DE, Gabos PG, Shah SA.** Comparative analysis of hook, hybrid, and pedicle screw instrumentation in the posterior treatment of adolescent idiopathic scoliosis. J Pediatr Orthop. 2012;32:490–499. DOI: [10.1097/bpo.0b013e318250c629](https://doi.org/10.1097/bpo.0b013e318250c629).

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 18.05.2016

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; Тимур Багаудинович Богатырев, аспирант отделения патологии позвоночника и нейрохирургии; Научно-исследовательский детский ортопедический институт им. Г.И. Турнера, Санкт-Петербург; Виктор Александрович Барт, доцент кафедры общей математики и информатики, канд. физ.-мат. наук, Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия.

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 Baindurashvili, MD, DMSc, Prof., Director; Timur Bagaudinovich Bogatyrev, postgraduate fellow in the department of spinal pathology and neurosurgery, 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.