

УДК 616.711-007.55-089-053.2

## ОЦЕНКА АНАТОМО-АНТРОПОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КОСТНЫХ СТРУКТУР ПОЗВОНКОВ У ДЕТЕЙ С ИДИОПАТИЧЕСКИМ СКОЛИОЗОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАВИГАЦИИ

<sup>1</sup>Кокушин Д.Н., <sup>1</sup>Виссарионов С.В., <sup>2</sup>Барт В.А.

<sup>1</sup>ФГБУ НИДОИ им. Г.И. Турнера Минздрава России, Санкт-Петербург,  
e-mail: turner01@mail.ru;

<sup>2</sup>СПбГУ, Санкт-Петербург, e-mail: vbartvit@mail.ru

Проведена оценка анатомо-антропометрических параметров позвонков у детей с идиопатическим сколиозом грудной локализации с применением навигационной установки. Определяли угол основной дуги сколиотической деформации, ротацию апикального и периапикальных позвонков, внешний поперечный и продольный диаметр корней дуг позвонков с уровня Th2 до L5 позвонка и коэффициенты асимметрии костных структур позвонков. Обнаружена сильная корреляционная связь между величиной ротацией апикального позвонка, основным углом сколиотической деформации и коэффициентом асимметрии продольных диаметров корней дуг вершинного позвонка. Впервые выявлена закономерность, заключающаяся в значительной асимметрии правых и левых поперечных диаметров корней дуг позвонков верхнегрудного отдела позвоночника на уровне Th3-Th4 позвонков, вне зоны основной дуги искривления.

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

## EVALUATION OF ANATOMICAL AND ANTHROPOMETRIC PARAMETERS OF BONE STRUCTURES OF THE VERTEBRAE IN CHILDREN WITH IDIOPATHIC SCOLIOSIS USING NAVIGATION

<sup>1</sup>Kokushin D.N., <sup>1</sup>Vissarionov S.V., <sup>2</sup>Bart V.A.

<sup>1</sup>The Turner Scientific and Research Institute for Children's Orthopedics of Ministry of Health of the Russian Federation, Saint-Petersburg, e-mail: turner01@mail.ru;

<sup>2</sup>St. Petersburg State University, Saint-Petersburg, e-mail: vbartvit@mail.ru

Assessment of anatomical and anthropometric parameters of vertebrae in children with idiopathic scoliosis thoracic localization using a navigation installation. Determined the angle of the main scoliotic arc deformation, rotation of apical and periapical vertebrae, external transverse and longitudinal diameter of the arcs roots vertebrae the level of Th2 to L5 vertebra and asymmetry of bone structures of the vertebrae. Found a strong correlation between the amount of rotation of apical vertebra, the angle of the main scoliotic deformation and the coefficient of skewness of the longitudinal diameters of the roots of the arcs of the apical vertebra. For the first time identified a pattern consisting in a significant asymmetry of left and right transverse diameters of the arcs roots vertebrae thoracic spine at the level of Th3-Th4 vertebrae, outside the primary arc of curvature.

**Keywords:** idiopathic scoliosis, anatomic and anthropometric parameters, rotation of the apical vertebrae, transpedicular fixation, children

Оперативное лечение детей с идиопатическим сколиозом остается актуальной проблемой до настоящего времени. В последние годы отмечено активное развитие и совершенствование технологий хирургической коррекции деформации позвоночника у пациентов с идиопатическим сколиозом. С целью исправления деформации позвоночника у детей с идиопатическим сколиозом все чаще используются металлоконструкции с транспедикулярными опорными элементами по сравнению с другими спинальными системами. Преимущества применения металлоконструкций с транспедикулярными винтами обусловлены возможностью воздействия на все три колонны позвоночного столба при проведении корригирующих манипуляций во время исправления деформации позвоночника, достижением полноценной, практически радикальной, коррекции,

истинной деротации апикального позвонка и сохранением надежной стабилизации достигнутого результата в отдаленный период наблюдения [1, 2, 3, 4, 5, 7, 10]. После начала активного использования транспедикулярной фиксации у пациентов с деформациями позвоночника, встал вопрос о возможности проведения транспедикулярных опорных элементов в тела позвонков, обусловленных анатомо-антропометрическими особенностями корней дуг. В литературе имеются исследования, посвященные нормальной анатомии позвонков и оценке их анатомо-антропометрических параметров с точки зрения применения транспедикулярной фиксации [11, 12]. В последние годы появились работы, в которых авторы проводили оценку анатомо-антропометрических параметров деформированных позвонков при идиопатическом сколиозе на кадаверном

материале, а также на основании данных компьютерной и магнитно-резонансной томографии позвоночника [6, 8, 9].

Целью исследования явилась оценка анатомо-антропометрических особенностей позвонков в основной дуге деформации, а также анализу взаимосвязей этих параметров с величиной сколиотической дуги и ротации апикального позвонка у детей с идиопатическим сколиозом грудной локализации на основании данных компьютерной томографии позвоночника в навигационной станции.

### Материалы и методы исследования

Проведено исследование у 20 пациентов (18 девочек и 2 мальчика) в возрасте от 14 до 18 лет с правосторонним идиопатическим сколиозом грудной локализации 3 и 4 степени. Оценка анатомо-антропометрических особенностей позвонков грудного и поясничного отделов позвоночника осуществляли на основании данных, полученных при КТ-сканировании. Исследование выполняли на компьютерном томографе «Brilliance CT64» (Philips-USA). КТ-сканы осуществляли с толщиной среза 1 мм, которые затем импортировали при помощи носителя в навигационную систему, в которой выполняли все измерения [2]. Определяли угол основной дуги сколиотической деформации, ротацию апикального позвонка (РАП), ротацию проксимального (РПП) и дистального (РДПП) периапикальных позвонков, внешний поперечный (trd) и продольный диаметр (lngd) правых (R) и левых (L) корней дуг позвонков с уровня Th2 до L5 позвонка. Рассчитывали площади правого (SR)

и левого корня дуги (SL) как произведение поперечного диаметра корня дуги на его продольный диаметр. В ходе исследования рассчитывали KAtrd – коэффициент асимметрии поперечных диаметров корней дуг позвонка, определяемый как отношение trdR к trdL; KAIng – коэффициент асимметрии продольных диаметров корней дуг позвонка, определяемый как отношение lngdR к lngdL и KAS – коэффициент асимметрии площадей корней дуг позвонка, определяемый как отношение SR к SL.

Описательные статистики были вычислены для сопоставления всех исследуемых анатомо-антропометрических характеристик позвонков и различных коэффициентов асимметрии. Для проверки нормальности маргинальных распределений применялся критерий Колмогорова-Смирнова. Корреляционный анализ и метод корреляционных плеяд В.П. Терентьева были применены для выявления закономерностей связей между характеристиками.

### Результаты исследования и их обсуждение

Согласно данным исследования угол сколиотической деформации определенный по вышеописанной методике, составил от 33,7° до 107,9° (среднее – 61,4°). Угол РАП колебался от 9,3° до 40,2° (среднее – 21,09°), угол РПП – от 2,1° до 36,6° (среднее – 17,69°), угол РДПП находился в пределах от 6,3° до 30,0° (среднее – 17,13°). Абсолютные значения поперечных и продольных диаметров корней дуг позвонков, площадей корней дуг и их коэффициентов асимметрии представлены в табл. 1, 2 и 3.

Таблица 1

Размеры поперечных диаметров корней дуг и коэффициент их асимметрии

	trdR, мм	trdL, мм	KAtrd
Th2	5,3 ± 0,9	6,5 ± 0,9	0,82 (0,54 – 0,98)
Th3	3,3 ± 1,0	5,3 ± 1,1	0,63 (0,25 – 1,00)
Th4	2,9 ± 0,8	4,6 ± 0,8	0,60 (0,30 – 1,30)
Th5	3,5 ± 1,0	4,5 ± 1,1	0,76 (0,33 – 2,55)
Th6	4,4 ± 1,1	4,2 ± 1,2	0,98 (0,57 – 2,22)
Th7	4,8 ± 1,0	3,6 ± 1,2	1,31 (0,72 – 3,11)
Th8	5,1 ± 0,7	3,6 ± 1,0	1,38 (0,93 – 2,45)
Th9	5,6 ± 0,9	4,3 ± 1,2	1,33 (0,86 – 2,30)
Th10	6,4 ± 1,3	5,1 ± 1,3	1,27 (0,84 – 1,69)
Th11	7,3 ± 1,2	6,8 ± 1,4	1,06 (0,82 – 1,97)
Th12	7,0 ± 1,0	7,4 ± 1,0	0,91 (0,79 – 1,27)
L1	6,1 ± 1,6	6,2 ± 1,4	0,96 (0,59 – 1,50)
L2	6,2 ± 1,7	6,3 ± 1,2	0,95 (0,59 – 1,41)
L3	8,5 ± 1,7	7,9 ± 1,2	1,11 (0,79 – 1,33)
L4	10,4 ± 1,9	10,3 ± 1,5	0,97 (0,76 – 1,73)
L5	14,5 ± 2,0	15,6 ± 2,1	0,93 (0,74 – 1,38)

**Таблица 2**

Размеры продольных диаметров корней дуг и коэффициент их асимметрии

	lngdR, мм	lngdL, мм	KAlngd
Th2	10,6 ± 1,6	11,5 ± 1,6	0,91 (0,80 – 1,04)
Th3	10,7 ± 1,3	12,0 ± 1,7	0,90 (0,66 – 1,17)
Th4	10,9 ± 1,3	10,8 ± 1,5	0,98 (0,85 – 1,31)
Th5	11,6 ± 1,2	10,1 ± 1,3	1,11 (0,95 – 1,59)
Th6	12,6 ± 1,5	9,7 ± 1,3	1,30 (1,03 – 1,58)
Th7	12,7 ± 1,5	9,7 ± 1,8	1,31 (1,01 – 1,90)
Th8	13,3 ± 1,6	10,2 ± 1,4	1,32 (1,04 – 1,67)
Th9	13,8 ± 1,7	11,8 ± 1,6	1,12 (0,74 – 1,66)
Th10	15,6 ± 1,7	14,8 ± 1,9	1,02 (0,90 – 1,50)
Th11	16,7 ± 2,4	17,3 ± 1,7	0,96 (0,73 – 1,24)
Th12	15,7 ± 1,9	16,8 ± 2,1	0,92 (0,87 – 1,04)
L1	14,3 ± 1,3	14,8 ± 2,0	0,96 (0,84 – 1,38)
L2	13,5 ± 1,1	14,6 ± 1,0	0,94 (0,79 – 1,04)
L3	13,9 ± 1,0	14,3 ± 1,0	0,97 (0,91 – 1,15)
L4	13,3 ± 0,9	13,3 ± 1,2	1,00 (0,86 – 1,16)
L5	12,9 ± 2,4	12,7 ± 2,1	1,02 (0,90 – 1,25)

**Таблица 3**

Произведение поперечных и продольных диаметров корней дуг и коэффициент их асимметрии

	SR, мм <sup>2</sup>	SL, мм <sup>2</sup>	KAS
Th2	56,2 ± 15,2	75,6 ± 17,0	0,76 (0,44 – 1,02)
Th3	36,4 ± 12,9	64,7 ± 18,5	0,57 (0,21 – 1,07)
Th4	31,8 ± 10,5	50,5 ± 13,2	0,59 (0,29 – 1,70)
Th5	41,1 ± 13,1	46,2 ± 14,4	0,77 (0,32 – 3,92)
Th6	55,1 ± 15,7	41,3 ± 15,8	1,29 (0,67 – 3,08)
Th7	60,7 ± 15,9	36,6 ± 16,9	1,76 (0,80 – 4,73)
Th8	68,0 ± 13,7	37,1 ± 12,8	1,94 (1,15 – 3,88)
Th9	78,0 ± 17,0	51,8 ± 19,0	1,55 (0,73 – 3,09)
Th10	100,0 ± 26,2	76,3 ± 29,0	1,28 (0,78 – 2,53)
Th11	121,3 ± 27,8	118,1 ± 31,0	0,97 (0,68 – 2,21)
Th12	110,2 ± 26,9	125,3 ± 27,9	0,88 (0,73 – 1,18)
L1	87,0 ± 27,5	93,0 ± 28,2	0,93 (0,50 – 2,06)
L2	83,8 ± 25,1	92,0 ± 20,8	0,87 (0,61 – 1,36)
L3	118,6 ± 24,9	112,9 ± 21,7	1,08 (0,76 – 1,29)
L4	138,9 ± 27,6	136,8 ± 23,7	0,99 (0,72 – 1,48)
L5	187,8 ± 46,3	199,2 ± 41,4	0,94 (0,67 – 1,27)

Для значений поперечных и продольных диаметров корней дуг, их площадей данные в таблицах представлены в виде – среднее ± стандартное отклонение; для значений коэффициентов асимметрии данные представлены в виде – медиана, минимум – максимум.

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-

нио-каудальном направлении, достигавшее своего максимума на уровне позвонка Th11 (16,7 ± 2,4 мм). Далее происходило небольшое уменьшение значения до уровня позвонка L1 (6,1 ± 1,6 мм). Для значений trdL отмечалось более плавное уменьшение размеров с уровня позвонка Th2 (6,5±0,9 мм) с достижением минимальных значений на уровне позвонка Th7 (3,6±1,2 мм). Далее trdL увеличивался по направлению к позвонку Th12, достигая значения 7,4±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 кранио-каудальном направлении с достижением максимальных значений на уровне позвонка L5. Значение  $lngdR$  в грудном отделе позвоночника плавно увеличивалось в кранио-каудальном 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). 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 кранио-каудальном направлении, достигая своего максимального значения на уровне позвонка Th11 ( $17,3 \pm 1,7$  мм). Зависимости продольных диаметров правых и левых корней дуг от положения позвонка в поясничном отделе позвоночника были схожими и характеризовались уменьшением своих значений в кранио-каудальном направлении с достижением минимальных значений на уровне позвонка L5.  $KAtrd$  имел максимальные отклонения от единицы на уровне позвонка Th4 – 0,60 (0,30-1,30) и Th8 – 1,38 (0,93-2,45).  $KAlngd$  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, характеризуются тем самым отсутствием выраженных структуральных изменений. Значение  $SR$  уменьшалось с уровня позвонка Th2 ( $56,2 \pm 15,2$  мм<sup>2</sup>), достигая минимума на уровне позвонка Th4 ( $31,8 \pm 10,5$  мм<sup>2</sup>), затем происходило его увеличение в кранио-каудальном направлении, достигавшее своего максимума на уровне позвонка Th11 ( $121,3 \pm 27,8$  мм<sup>2</sup>). Далее происходило уменьшение значения  $SR$  до уровня позвонка L2 ( $83,8 \pm 25,1$  мм<sup>2</sup>), с последующим увеличением в каудальных сегментах поясничного отдела позвоночника. Значение  $SL$  плавно уменьшалось с уровня позвонка Th2 ( $75,6 \pm 17,0$  мм<sup>2</sup>), достигая минимального на уровне позвонка Th7 ( $36,6 \pm 16,9$  мм<sup>2</sup>), в последующем происходило его увеличение в кранио-каудальном направлении, достигавшее своего максимума на уровне позвонка Th12 ( $125,3 \pm 27,9$  мм<sup>2</sup>). Далее происходило уменьшение значения  $SL$  до уровня позвонка L2 ( $92,0 \pm 20,2$  мм<sup>2</sup>), с последующим увеличением в каудальных сегментах поясничного отдела позвоночника. 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.

Корреляционный анализ методом корреляционных плеяд В.П.Терентьева был проведен для десяти признаков: угла сколиоза и еще девяти анатомо-антропометрических характеристик апикального позвонка (рис. 1).

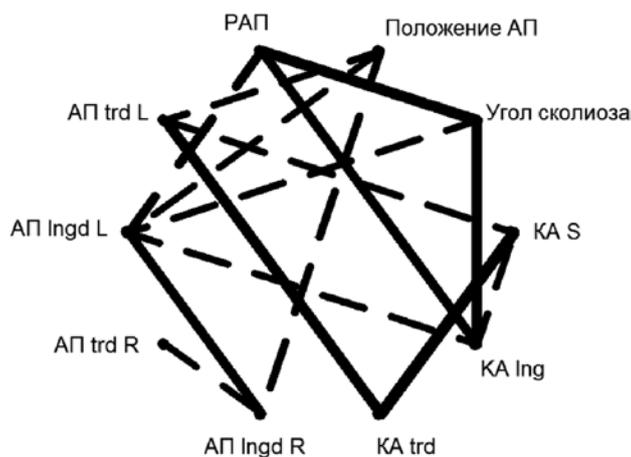


Рис. 1. Диаграмма корреляционных плеяд по Терентьеву. Сплошная линия соответствует значениям коэффициента корреляции Пирсона  $r$ , по модулю превышающим 0,7:  $|r| > 0,7$ . Пунктир соответствует диапазону:  $0,5 < |r| < 0,7$ . Толщина линий пропорциональна соответствующим значениям модуля  $r$

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. 1), состоящая из признаков РАП, угол сколиоза и  $KA_{\text{Ing}}$ . Это подчеркивает клиническую значимость связи между ротацией АП как локальной характеристикой пространственного положения позвонка, углом сколиоза по Cobb как глобальной характеристикой и соотношением продольных диаметров корней дуг АП как отражением структуральной деформации самого АП. Спускаясь до уровня плеяд  $|r| > 0,5$  (пунктир на рис. 1), к указанной плеяде прибавляется признак АП  $\text{Ingd L}$ . 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.

Необходимо подчеркнуть выявленную нами 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, подтверждавшееся их коэффициентом асимметрии, медиана которого для уровня Th3 и Th4 позвонков составила 0,60-0,63. Согласно полученным результатам отмечено, чем больше угол сколиотической дуги деформации, тем больше величина ротации и более выраженный 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 структуральных изменений, происходящих в позвонках, в результате сколиотического процесса.

## Заключение

В ходе исследования выявлена сильная корреляционная связь между значением основной сколиотической дуги деформации и коэффициентом асимметрии продольных диаметров корней дуг апикального позвонка у детей с правосторонним идиопатическим сколиозом грудной локализации. Вместе с этим, наблюдается отсутствие корреляции между углом сколиотического искривления и коэффициентом асимметрии поперечных диаметров корней дуг апикального позвонка. Впервые 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 пациентов с данным типом деформации. Эти изменения встречались у пациентов во всех наблюдениях, несмотря на отсутствие структуральной компенсаторной противодуги и торсионных изменений позвонков верхнегрудного отдела.

## Список литературы

1. Виссарионов С.В., Кокушин Д.Н., Дроздецкий А.П., Беляничков 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.
2. Виссарионов С.В., Дроздецкий А.П., Кокушин Д.Н., Беляничков С.М. Коррекция идиопатического сколиоза у детей под контролем 3D-КТ-навигации // Хирургия позвоночника. – 2012. – № 2. – С. 30–36.
3. Виссарионов С.В. Технологии коррекции деформаций позвоночника транспедикулярными спинальными системами у детей с идиопатическим сколиозом // Хирургия позвоночника. – 2013. – № 1. – С. 21–27.
4. Виссарионов С.В., Беляничков 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.
5. Виссарионов С.В., Кокушин Д.Н., Беляничков С.М., Мурашко В.В., Надиров Н.Н. Хирургическое лечение деформаций позвоночника у детей с идиопатическим сколиозом транспедикулярными спинальными системами // Пособие для врачей. – СПб.: 2014. – 40с.
6. Catan H, Buluc L, Anik Y, et al. Pedicle morphology of the thoracic spine in preadolescent idiopathic scoliosis: magnetic resonance supported analysis // Eur Spine J. – 2007. – Vol. 16. – P.1203 – 1208.
7. Liljenqvist U, Halm H, Link Th. Pedicle screw instrumentation of the thoracic spine in idiopathic scoliosis // Spine. – 1997. Vol.22. – P.2239–2245.
8. Liljenqvist U.R., Link T.M., Halm H.F. Morphometric analysis of thoracic and lumbar vertebrae in idiopathic scoliosis // Spine. – 2000. – Vol. 25. – №10. – P.1247-1253.
9. Parent S., Labelle H., Skalli W., Latimer B., de Guise J. Morphometric analysis of anatomic scoliotic specimens // Spine. – 2002. – Vol. 27. – № 21. – P.2305-2311.
10. Suk S. I., Lee C.K., Kim W.J., et al. Segmental pedicle screw fixation in the treatment of thoracic idiopathic scoliosis // Spine. – 1995. – Vol. 20. – № 12. – P.1399 – 1405.
11. Vaccaro A, Rizzolo S, Allardyce T, et al. Placement of pedicle screws in the thoracic spine. Part I: Morphometric analysis of the thoracic vertebrae // J BoneJoint Surg [Am]. – 1995. – Vol. 77. – P.1193–1199.
12. Zindrick MR, Wiltse LL, Doornik A, et al. Analysis of the morphometric characteristics of the thoracic and lumbar pedicles // Spine. – 1987. – Vol. 12. – P.160–166.