

Гений ортопедии. 2022. Т. 28, № 3. С. 400-409.
Genij Ortopedii. 2022. Vol. 28, no. 3. P. 400-409.

Научная статья

УДК 616.711.1-001-007-071.3-073.756.8

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2022-28-3-400-409>



Измерение деформации поврежденных сегментов в грудном и поясничном отделах позвоночника по данным спиральной компьютерной томографии для расчета необходимой коррекции

Владимир Дмитриевич Усиков¹, Владимир Сергеевич Куфтов^{2✉}, Дмитрий Николаевич Монашенко³

¹ Медико-техническая фирма "Синтез", Пенза, Россия

² Городская больница № 1, Брянск, Россия

³ Городская больница № 26, Санкт-Петербург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Владимир Сергеевич Куфтов, kuftov@mail.ru

Аннотация

Введение. Чем точнее будут рассчитаны параметры для коррекции деформации поврежденного сегмента позвоночника, тем точнее будет восстановлен сагиттальный профиль и исходная анатомия позвоночника. **Цель.** Обоснование расчетных показателей для коррекции деформации одного или двух поврежденных позвоночно-двигательных сегментов в грудном и поясничном отделах по данным спиральной компьютерной томографии. **Материалы и методы.** Материалом для исследования послужили результаты спиральной компьютерной томографии (СКТ) анатомически неизмененного грудного и поясничного отделов позвоночника у 25 пациентов (12 женщин и 13 мужчин в возрасте от 18 до 60 лет). Модель для изучения состояла из трех тел позвонков и четырех смежных дисков в разных вариантах в диапазоне от ThIV до LIV. Производились замеры передних и задних размеров тел позвонков, межпозвонковых дисков, угла сегментарной деформации α (образован нижней замыкательной пластинкой вышележащего позвонка и верхней замыкательной пластинкой нижележащего позвонка) с помощью компьютерного программного обеспечения RadiAnt по срединной сагиттальной проекции. Моделировалось повреждение тела среднего позвонка со смежными дисками, размеры которых рассчитывались по соседним телам позвонков и прилегающим к ним дискам. Статистическая обработка материала проводилась с помощью компьютерной программы SPSS Statistics. **Результаты.** Погрешность измерения передних межтеловых промежутков составила $1,4 \pm 0,4$ мм, задних – $1,3 \pm 0,5$ мм, погрешность в расчетах угла сегментарной деформации α составила $2,5 \pm 0,6$ градуса, что свидетельствует о высокой точности предложенного способа. **Обсуждение.** Использование при лечении переломов позвоночника абсолютных величин деформации в качестве эталона для хирургического вмешательства осложняется широким разнообразием нормальной анатомии. **Заключение.** Предложенные расчеты по восстановлению передних и задних межтеловых расстояний, а также угла сегментарной деформации α после позвоночно-спинномозговой травмы грудного и поясничного отделов позволили приблизиться к целевым индивидуализированным анатомическим размерам.

Ключевые слова: морфометрия позвоночника, моделирование, анатомические размеры, тела позвонков, межпозвонковые диски, сегментарная деформация

Для цитирования: Усиков В.Д., Куфтов В.С., Монашенко Д.Н. Измерение деформации поврежденных сегментов в грудном и поясничном отделах позвоночника по данным спиральной компьютерной томографии для расчета необходимой коррекции // Гений ортопедии. 2022. Т. 28, № 3. С. 400-409. <https://doi.org/10.18019/1028-4427-2022-28-3-400-409>. EDN QIEHTH.

Original article

Measurement of damaged segment deformity in the thoracic and lumbar spine with spiral computed tomography to calculate the required correction

Vladimir D. Usikov¹, Vladimir S. Kuftov^{2✉}, Dmitry N. Monashenko³

¹ MTF "Sintez", Penza, Russian Federation

² City hospital No. 1, Bryansk, Russian Federation

³ City hospital No. 26, Saint Petersburg, Russian Federation

Corresponding author: Vladimir S. Kuftov, kuftov@mail.ru

Abstract

Introduction The more accurate is the measurement of the parameters for correcting the deformity of damaged spinal segments the more accurate will be the restoration of the sagittal profile and original anatomy of the spine. **Purpose** Substantiation of calculated indicators for deformity correction in one or two damaged spinal motion segments in the thoracic and lumbar spine according to spiral computed tomography. **Material and methods** The material for the study was the results of spiral computed tomography (SCT) of an anatomically unchanged thoracic and lumbar spine in 25 patients (12 women and 13 men aged 18 to 60 years). The study model consisted of three vertebral bodies and four adjacent discs from T4 to L4. Anterior and posterior dimensions of the vertebral bodies, intervertebral discs, and segmental deformity angle α (formed by the lower endplate of the overlying vertebra and the upper endplate of the underlying vertebra) were measured using RadiAnt computer software in the midsagittal projection. Damage to the body of the middle vertebra with adjacent discs was modeled, the dimensions of which were calculated from the adjacent vertebral bodies and adjacent discs. Statistical processing of the material was carried out using the computer software SPSS Statistics. **Results** The measurement error of the anterior interbody spaces was 1.4 ± 0.4 mm, the posterior interbody spaces were 1.3 ± 0.5 mm, the error in calculating the segmental deformation angle α was 2.5 ± 0.6 degrees, what indicates the high accuracy of the proposed method. **Discussion** The use of absolute deformity values as a standard for surgical intervention in the treatment of vertebral fractures is complicated by varieties of normal anatomy. **Conclusion** The proposed calculations for the restoration of the anterior and posterior interbody distances, as well as the angle of segmental deformity α after a spinal cord injury of the thoracic and lumbar spine provide an approach to the target individualized anatomical dimensions.

Keywords: spine morphometry, modeling, anatomical dimensions, vertebral bodies, intervertebral discs, segmental deformity

For citation: Usikov V.D., Kuftov V.S., Monashenko D.N. Measurement of damaged segment deformity in the thoracic and lumbar spine with spiral computed tomography to calculate the required correction. *Genij Ortopedii*, 2022, vol. 28, no 3, pp. 400-409. <https://doi.org/10.18019/1028-4427-2022-28-3-400-409>

ВВЕДЕНИЕ

Хорошие знания анатомии, морфологии и биомеханики позвоночника являются незаменимыми при лечении переломов позвонков. Важным этапом хирургического лечения посттравматических деформаций грудного и поясничного отделов является репозиция позвоночника с коррекцией деформации, на что акцентируют внимание многие авторы [1–3].

Перед операцией, в послеоперационном периоде и при динамическом наблюдении для оценки рентгенологических результатов используется множество параметров, таких как передняя и задняя высота тела позвонка, местный сагиттальный угол, региональный сагиттальный угол, угол диска и т.д. [4–7]. При этом акцент делается на устранение угловой деформации после операции либо потерю коррекции деформации без учета индивидуальной анатомии. К каким параметрам нам нужно стремиться при устранении сегментарной деформации помогают знания по изучению морфологии позвонков и межпозвонковых дисков [8–10]. При устранении сегментарной деформации недостаточно внимания уделяется восстановлению высоты межтелового промежутка, а за основу берется восстановление задних размеров тела поврежденного позвонка, как показатель эффективности интраоперационной дистракции, без учета размеров смежных дисков [11].

Данные литературы показывают, что хороший отдаленный исход с минимальными осложнениями может быть достигнут только при соблюдении биомеханических принципов по восстановлению сагиттального профиля позвоночника [12–16]. Чрезмерная или недостаточная коррекция деформации позвоночника способствует развитию синдрома смежного уровня [17].

Спорным остается вопрос, по каким размерам нужно ориентироваться и к каким размерам должны стремиться в процессе репозиции позвоночника. Достаточность репозиции позвоночника определяют “на глаз”, “по степени натяжения капсул позвоночных суставов”

или когда “экстензия достигает пределов физиологического разгибания”. Множество предложенных для измерения углов кифотической деформации позвоночника вносит путаницу при оценке результатов исследований, а предлагаемые авторами расчеты углов исправления деформации являются приблизительными, исходя из большого индивидуального разнообразия [18, 19]. Рассчитать до операции точные размеры сагиттального профиля травмированного отдела позвоночника возможно только после спондилографии позвоночника с тазом, выполненной накануне перед операцией в положении стоя, и с использованием множества позвоночно-тазовых параметров, что трудно выполнимо у больных с позвоночно-спинномозговой травмой [20].

В вертикальном положении, по отношению к положению лежа, уменьшается поясничный лордоз, изменяются тазовые параметры в виде увеличения наклона таза и уменьшения наклона крестца [21], и рентгенологическое исследование в положении лежа не отображает истинный сагиттальный профиль пациента, как в положении стоя [22]. В отличие от дегенеративных деформаций позвоночника, посттравматические деформации представляют собой локальную сегментарную проблему [23]. Использование при лечении переломов абсолютных величин деформации в качестве эталона для хирургического вмешательства осложняется широким разнообразием нормальной анатомии позвоночника [24]. Чем точнее будут рассчитаны параметры для коррекции деформации поврежденного сегмента позвоночника, тем точнее будет восстановлен сагиттальный профиль и исходная анатомия позвоночника.

Цель исследования – обоснование расчетных показателей для коррекции деформации одного или двух поврежденных позвоночно-двигательных сегментов в грудном и поясничном отделах по данным спиральной компьютерной томографии.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалом для исследования послужили результаты исследования спиральной компьютерной томографии (СКТ) 25 пациентов (12 женщин и 13 мужчин в возрасте от 18 до 60 лет). СКТ выполнялась пациентам при подозрении на травму грудного или поясничного отделов позвоночника. Критерием отбора для нашего исследования были пациенты с отсутствием врожденных аномалий позвоночника; отсутствием указаний на травму и оперативное вмешательство на изучаемом отделе позвоночника; отсутствием деформации позвоночно-двигательных сегментов вследствие спондилеза, сколиоза, спондилолистеза; без признаков повреждения изучаемого отдела позвоночника по данным СКТ; при условии, что изучаемый сегмент отстоял от места повреждения на 2 и более позвонков. Модель для изучения состояла из трех позвонков со смежными межпозвонковыми дисками (рис. 1). Замеры производились с помощью компьютерного программного обеспечения RadiAnt после мультипланарной реконструкции в формате DICOM по срединной сагиттальной проекции. Для измерения

брались крайние точки оцениваемых тел позвонков (рис. 1, 2).

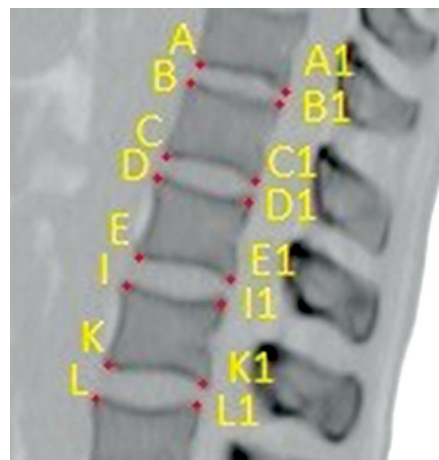
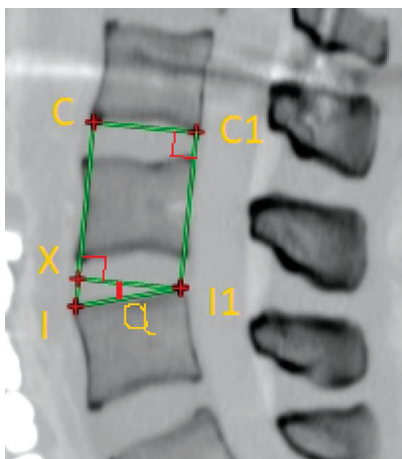


Рис. 1. Точки для измерения передних и задних размеров тел позвонков и межпозвонковых дисков по срединной сагиттальной проекции после мультипланарной реконструкции изучаемого отдела позвоночника

Рис. 2. Схема измерения угла сегментарной деформации α

Например (рис. 1), при моделировании повреждения тела L1 позвонка использовались измерения от диска ThXI-ThXII до диска LII-LIII (расстояние от A до L по передней поверхности и от A1 до L1 по задней поверхности позвоночника). Для изучения угла сегментарной деформации (рис. 2) использовали линию |X-I1|, параллельную нижней замыкательной

пластинке вышележащего позвонка |C-I|, и пересечение с линией проекции верхней замыкательной пластинки нижележащего позвонка |I-I1|. Выполнено измерение 44 моделей от ThIV до LIV позвонков. Для уменьшения погрешности измерений изображение выделяемого сегмента позвоночника увеличивали до размеров экрана. Погрешность измерения составила $0,15 \pm 0,07$ мм. В моделях рассчитывались передние и задние размеры тел позвонков и межпозвонковых дисков, размеры тел позвонков со смежными дисками, угол сегментарной деформации, образованный нижней замыкательной пластинкой вышележащего позвонка и верхней замыкательной пластинкой нижележащего позвонка. Ошибку в измерениях рассчитывали по формуле: $X = \Delta x \pm t \times m$, где Δx – средняя разность измерений, t – табличное значение (для доверительной вероятности 95 % при $p = 0,05$, t -критерий равен 2), m – стандартная ошибка среднего значения. Статистическая обработка материала проводилась с помощью компьютерной программы SPSS Statistics с использованием описательной статистики, сравнения средних величин с 95 % доверительным интервалом, определением t -критерия для парных сравнений, коэффициента корреляции Пирсона.

РЕЗУЛЬТАТЫ

I. На первом этапе сравнили измеряемые и рассчитанные передние и задние размеры тел позвонков, для чего сформированы 2 группы: I группа – фактические измерения передней |D-E| и задней |D1-E1| поверхности 44 позвонков от ThIV до LIV (в среднем по 4 измерения на позвонок) у 25 пациентов (12 женщин и 13 мужчин в возрасте от 18 до 60 лет); II группа – рассчитанные размеры передней, как полусумма размера передней поверхности выше- и нижележащих позвонков – $(|B-C| + |I-K|)/2$, и задней, как полусумма размера задней поверхности выше- и нижележащих позвонков – $(|B1-C1| + |I1-K1|)/2$ у тех же пациентов. Средние размеры передней поверхности в I группе – 25,65 мм со стандартной ошибкой 0,62 мм, во второй группе – 25,58 мм и 0,60 мм соответственно. При округлении статистических расчетов до десятых получали допустимую ошибку в расчетах передней поверхности позвонка при 95 % доверительном интервале: $0,7 \pm 0,2$ мм. При сравнении двух групп

t -критерий Стьюдента – 0,403, $p = 0,689$. Между группами была выявлена сильная корреляционная связь. Коэффициент корреляции Пирсона – $r = 0,973$ (рис. 3).

Допустимая ошибка в расчетах задней поверхности позвонка составила $0,7 \pm 0,2$ мм, t -критерий Стьюдента – 1,534 при $p = 0,132$. Коэффициент корреляции r равнялся 0,959. Рассчитанные передние и задние размеры тел позвонков были близки к анатомическим размерам.

II. Для сравнения передних и задних размеров межпозвонковых дисков сформированы 3 группы.

I группа – фактические размеры 44 дисков от ThIV-ThV до LIV-LV у 25 пациентов (12 женщин и 13 мужчин в возрасте от 18 до 60 лет).

II группа – размер дисков составлял полусумму размеров двух смежных дисков у этих же пациентов;

III группа – размеры дисков, взятые из табличных данных (J.G. Fletcher [25] по грудному и K. Bach [26] по поясничному отделу), сопоставимые по полу и возрасту.

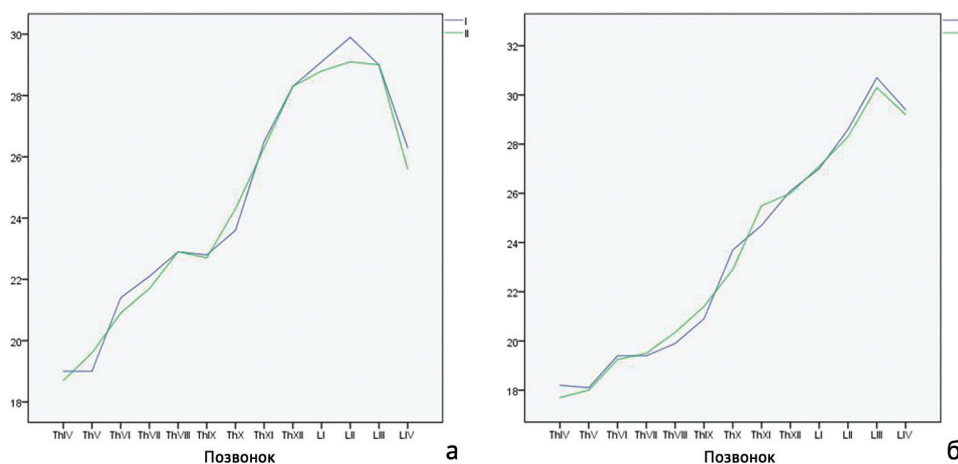


Рис. 3. Средние размеры передней (а) и задней (б) поверхности тел позвонков в двух группах по локализации

III группу мы сформировали для того, чтобы сравнить, насколько индивидуальные размеры межпозвонковых дисков отличаются от средних размеров дисков выбранной локализации у лиц указанного пола и возраста.

Средние размеры диска спереди в I группе – 6,08 мм со стандартной ошибкой – 0,52 мм; во второй группе средние размеры диска спереди – 6,02 мм, стандартная ошибка – 0,48 мм; в третьей группе – 5,88 мм и 0,27 мм соответственно (рис. 4, а). Коэффициент корреляции Пирсона между I и II группами – 0,982; между I и III группами – 0,87. Средняя разность по модулю при расчетах в I и II группах – 0,7 мм, в I и III группах – 1,6 мм. Погрешность в расчетах при сравнении I и II группы – $0,7 \pm 0,2$ мм, I и III группы – $1,6 \pm 0,36$ мм.

Средние размеры диска сзади: в I группе – 4,07 мм, стандартная ошибка – 0,32 мм; во второй группе средние размеры диска – 3,9 мм, стандартная ошибка – 0,28 мм; в третьей группе – 4,29 мм и 0,25 мм соответственно (рис. 4, б). Коэффициент корреляции Пирсона между I и II группами равен – 0,939; между I и III группами – 0,73. Средняя разность в размерах задней части диска между группами 1 и 2 равна – 0,1 мм (по модулю 0,6 мм); между группами I и III средняя разность – 0,2 мм (по модулю 1,2 мм). Погрешность в расчетах при сравнении I и II группы – $0,6 \pm 0,2$ мм, I и III группы – $1,2 \pm 0,3$ мм.

III. Расчеты по моделированию размеров тела позвонка с вышележащим диском. Сформированы три группы (табл. 1).

Средние размеры |C-E| в I группе – 31,9 мм, стандартная ошибка среднего значения – 1,4 мм; во

II группе средние размеры |C-I| – 31,7 мм, стандартная ошибка среднего значения – 1,5 мм; в III группе – 31,3 мм со стандартной ошибкой среднего значения 1,3 мм. Корреляция Пирсона между I и II группами равна 0,984; между I и III группами – 0,947. Средняя разность между сравниваемыми размерами в I и II группах – 0,3 мм; в I и III группах – 0,6 мм. Средняя разность по модулю при расчетах в I и II группах – 1,0 мм, в I и III группах – 1,8 мм. Погрешность в расчетах при сравнении I и II группы – $1,0 \pm 0,4$ мм, I и III группы – $1,8 \pm 0,5$ мм.

Средние размеры |C1-E1| в I группе – 30,4 мм, стандартная ошибка среднего значения – 0,8 мм; во II группе средние размеры |C1-E1| – 30,6 мм, стандартная ошибка среднего значения – 0,7 мм; в III группе – средние размеры |C1-E1| – 30,1 мм и стандартная ошибка среднего значения – 0,7 мм. Корреляция Пирсона между I и II группами – 0,956, между I и III группами – 0,874. Средняя разность между сравниваемыми размерами в I и II группах – 0,9 мм; в I и III группах – 0,5 мм. Средняя разность измерений по модулю в группах I и II – 1,2 мм, стандартная ошибка среднего значения – 0,21 мм; в группах I и III – средняя разность измерений по модулю – 1,8 мм и стандартная ошибка среднего значения – 0,27 мм. Погрешность в расчетах между группами I и II составила $1,2 \pm 0,5$ мм и между группами I и III – $1,7 \pm 0,5$ мм.

IV. На следующем этапе исследования моделировали повреждение тела позвонка со смежными дисками. Формирование групп прежнее, отражено в таблице 2.

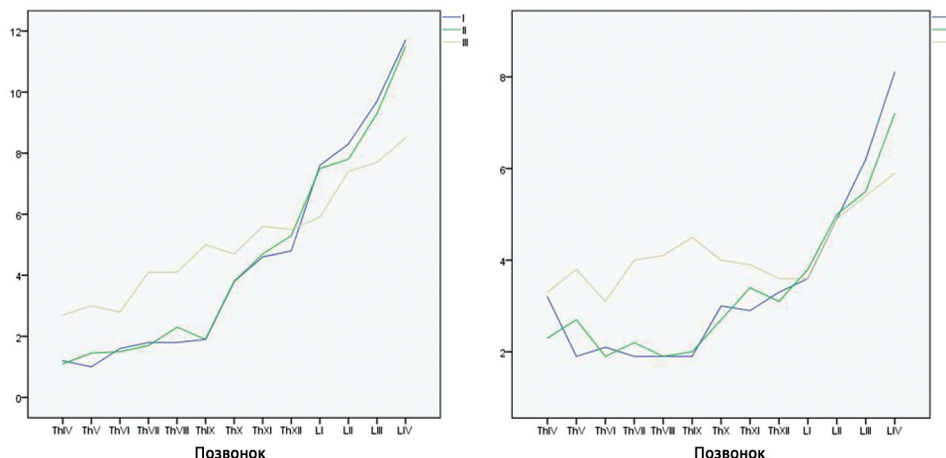


Рис. 4. Передние (а) и задние (б) размеры дисков в трех группах по локализации

Таблица 1

Формирование групп для расчетов размеров тела позвонка с вышележащим диском

I группа	Фактические 44 измерения передней C-E и задней C1-E1 поверхности тела позвонка с вышележащим диском от ThIV до LIV у 25 пациентов (12 женщин и 13 мужчин в возрасте от 18 до 60 лет)
II группа	Рассчитанные 44 размера передней $(B-C + I-K)/2 + (A-B + E-I)/2$ и задней $(B1-C1 + I1-K1)/2 + (A1-B1 + E1-I1)/2$ поверхности позвонков с вышележащим диском у тех же пациентов. Причем размеры передней и задней поверхности тел позвонков составляли полусумму от размеров смежных тел позвонков, а передние и задние размеры вышележащего диска составляли полусумму от размеров смежных дисков
III группа	Рассчитанные 44 размера передней $(B-C + I-K)/2 + C-D $ – из таблиц) и задней $(B1-C1 + I1-K1)/2 + C1-D1 $ – из таблиц) поверхности позвонков с вышележащим диском у тех же пациентов. Причем размеры передней и задней поверхности тел позвонков составляли полусумму от размеров смежных тел позвонков, а размер вышележащего диска – из табличных данных (J.G. Fletcher – по грудному [25] и K. Bach – по поясничному отделу [26])

Таблица 2

Формирование групп для расчетов размеров тела позвонка со смежными дисками

I группа	Фактические 44 измерения передней C-I и задней C1-I1 поверхности тел позвонков со смежными дисками от ThIV до LIV у 25 пациентов (12 женщин и 13 мужчин в возрасте от 18 до 60 лет)
II группа	Рассчитанные 44 размера передней $(B-C + I-K)/2 + (A-B + K-L)$ и задней $(B1-C1 + I1-K1)/2 + (A1-B1 + K1-L1)$ поверхности позвонков со смежными дисками. Причем размеры передней и задней поверхности тел позвонков составляли полусумму от размеров смежных тел позвонков, а размеры смежных дисков составляли передние и задние размеры дисков на уровень выше и ниже от поврежденных
III группа	Рассчитанные 44 размера передней $(B-C + I-K)/2 + (C-D + E-I)$ - из таблиц и задней $(B1-C1 + I1-K1)/2 + (C1-D1 + E1-I1)$ - из таблиц поверхности позвонков со смежными дисками у тех же пациентов. Причем размеры передней и задней поверхности тел позвонков составляли полусумму от размеров смежных тел позвонков, а размеры смежных дисков взяты из табличных данных (J.G. Fletcher – по грудному [25] и K. Bach – по поясничному отделу [26])

Средние размеры |C-I| в I группе – 38,9 мм, стандартная ошибка среднего значения – 1,6 мм; во II группе средние размеры – 38,7 мм, стандартная ошибка среднего значения – 1,5 мм; в III группе – 38,3 мм со стандартной ошибкой среднего значения 1,3 мм. Т-критерий парных выборок в группах I и II – 0,697, $P = 0,49$; в группах I и III: $t = 1,026$; $P = 0,311$. Корреляция Пирсона между I и II группами равна 0,986; между I и III группами – 0,957. Средняя разность между сравниваемыми размерами в I и II группах – 0,2 мм; в I и III группах – 0,6 мм. Средняя разность по модулю при расчетах в I и II группах – 1,37 мм, стандартная ошибка среднего значения – 0,17 мм; в группах I и III – средняя разность – 3,17 мм, стандартная ошибка среднего значения – 0,39 мм. Погрешность в расчетах при сравнении I и II группы – $1,4 \pm 0,4$ мм, I и III группы – $3,2 \pm 0,8$ мм.

Средние размеры |C1-I1| в I группе – 35,4 мм, стандартная ошибка среднего значения – 0,9 мм; во II группе средние размеры – 34,9 мм, стандартная ошибка среднего значения – 0,8 мм; в III группе средние размеры – 35,1 мм и стандартная ошибка среднего значения – 0,7 мм. Корреляция Пирсона между I и II группами – 0,953, между I и III группами – 0,864. Средняя разность измерений по модулю в группах I и II – 1,29 мм, стандартная ошибка среднего значения – 0,25 мм; в группах I и III – средняя разность измерений по модулю – 2,7 мм и стандартная ошибка среднего значения – 0,27 мм. Погрешность в расчетах между группами I и II составила $1,3 \pm 0,5$ мм и между группами I и III – $2,7 \pm 0,5$ мм.

V. Моделирование угла сегментарной деформации α . Угол образовывался между нижней замыкательной пластинкой вышележащего тела позвонка и верхней замыкательной пластинкой нижележащего от поврежденного тела позвонка (рис. 2). Исследования проводились в 3-х группах, принцип формирования групп (табл. 3).

Таблица 3

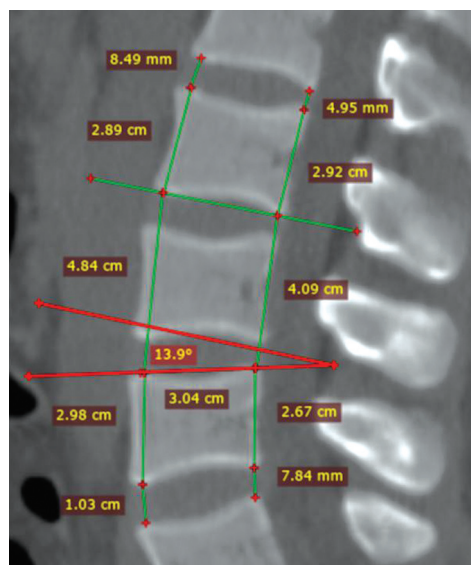
Формирование групп для расчетов угла сегментарной деформации α

I группа	Фактический угол α между кортикальными пластинками C-C1 и I-I1
II группа	Рассчитанный угол α по формуле: $\sin^{-1} \times (C-I - C1-I1)/ I-I1 $, где размеры C-I и C1-I1 брались из таблицы 2, II группы и фактические размеры I-I1
III группа	Рассчитанный угол α по формуле: $\sin^{-1} \times (C-I - C1-I1)/ I-I1 $, где размеры C-I и C1-I1 брались из таблицы 2, III группы и фактические размеры I-I1

Для измерения угла α в I группе проводили линию, параллельную C-C1, до её пересечения с линией I-I1 (рис. 2). Во II и III группах угол α рассчитывался по формуле: $\sin^{-1} \times (|C-I| - |C1-I1|)/|I-I1|$. Эту формулу использовали, потому что линии, соединяющие межтеловые промежутки |C-I| и |C1-I1|, как правило, перпендикулярны линии, проведенной вдоль нижней замыкательной пластинки вышележащего позвонка |C-C1|. Поэтому треугольник X-I1-I близок к прямоугольному с гипотенузой |I-I1|, что позволяет в расчетах угла использовать тригонометрические функции.

Средняя разность углов α между группами I и II по модулю – 2,48 градуса, стандартная ошибка среднего значения – 0,31 градуса; между группами I и III средняя разность углов α – 3,62 градуса, стандартная ошибка среднего значения – 0,56 градуса. Корреляция Пирсона для I и II группы – 0,95, при $p < 0,01$; для I и III группы – 0,83, при $p < 0,01$. Погрешность в расчетах угла α между группами I и II составила $2,5 \pm 0,6$ градуса, а между группами I и III – $3,6 \pm 1,1$ градуса.

Все этапы проводимых измерений демонстрируем на рисунке 5, куда включены тела LII, LIII, LIV позвонков со смежными дисками, как пример измерения указанных ранее показателей.

Рис. 5. Измерение межтеловых промежутков и угла α

Рассчитанное переднее межтеловое расстояние – 48,2 мм; рассчитанное заднее межтеловое расстояние – 40,7 мм. Фактические размеры переднего и заднего

межтеловых промежутков составили 48,4 мм и 40,9 мм. Рассчитанный угол α составил 14,3 градуса, измеренный – 13,9 градуса. На данном примере наши расчеты по размерам межтелового промежутка разнятся с факти-

ческими на 0,2 мм, а рассчитанный угол на 0,4 градуса. Полученные расчеты близки к фактическим размерам, что свидетельствует о высокой точности предложенного способа.

ОБСУЖДЕНИЕ

Высота позвонков зависит не только от расы, но также от пола и региона проживания [27]. Высота позвонков постепенно увеличивается от TIV до LIII, но затем уменьшается на уровне LIV и LV. У обоих полов соотношение размеров позвонков было одинаковым, но позвонки мужчин были статистически больше, чем у женщин (рис. 6).

Передние и задние размеры тел позвонков представлены на диаграммах у представителей США, материкового Китая и Гонконга, по данным L. Ning et al., 2017 [27], и Турции, по данным B. Abuzayed et al., 2010 [28] (рис. 7).

Размер позвонков населения материкового Китая был меньше, чем у населения США, но был на удивление больше, чем у гонконгских китайцев, несмотря на то, что это представители одной расы. У представителей Турции меньшие анатомические размеры тел позвонков можно объяснить тем, что измерения там проводили не по рентгенограммам, а по данным компьютерной томографии. Хотя результаты измерений по данным рентгенографии и компьютерной томогра-

фии могут быть вполне сопоставимы [29]. Данные, полученные от разных расовых популяций, показали сходные соотношения размеров во всех позвонках. Размеры тел грудных позвонков показали тенденцию к увеличению от ThI до ThXII, причем высота тела позвонка сзади была на 1–2 мм всегда больше [30], и размеры грудных позвонков всегда меньше, чем поясничных [31]. Полученные нами соотношения по размерам тел позвонков совпадают с литературными данными.

При расчете передних и задних размеров тела позвонка исходят из того, что их размеры составляют среднее значение от размеров соседних позвонков [32]. Получена статистически значимая корреляция между передней высотой тела позвонка и возрастом человека [33]. Так передняя и задняя высота тела позвонка бывает почти одинаковой для всех поясничных позвонков у новорожденных, затем передняя высота непрерывно увеличивается в детстве, подростковом возрасте и взрослой жизни и незначительно уменьшается у пожилых людей вследствие остеопении.

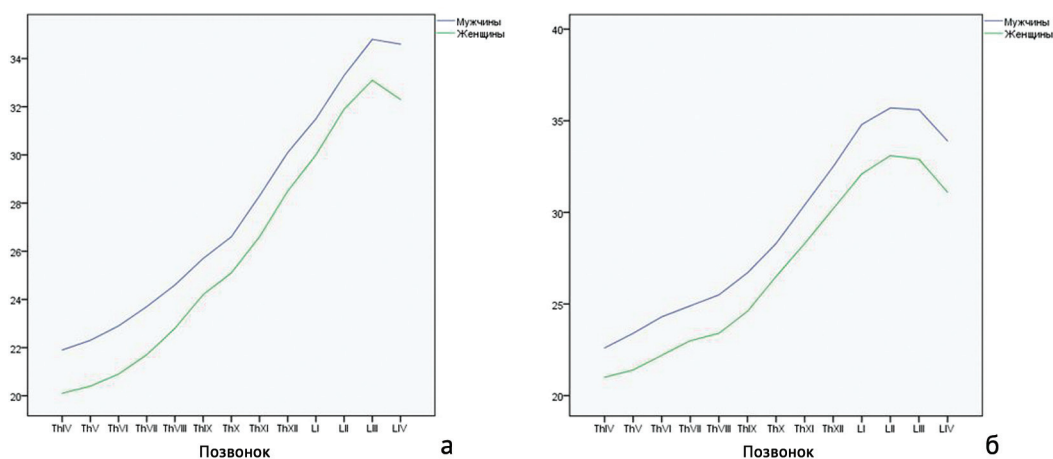


Рис. 6. Передние (а) и задние (б) размеры тел позвонков у мужчин и женщин (по L. Ning et al., 2017 [27])

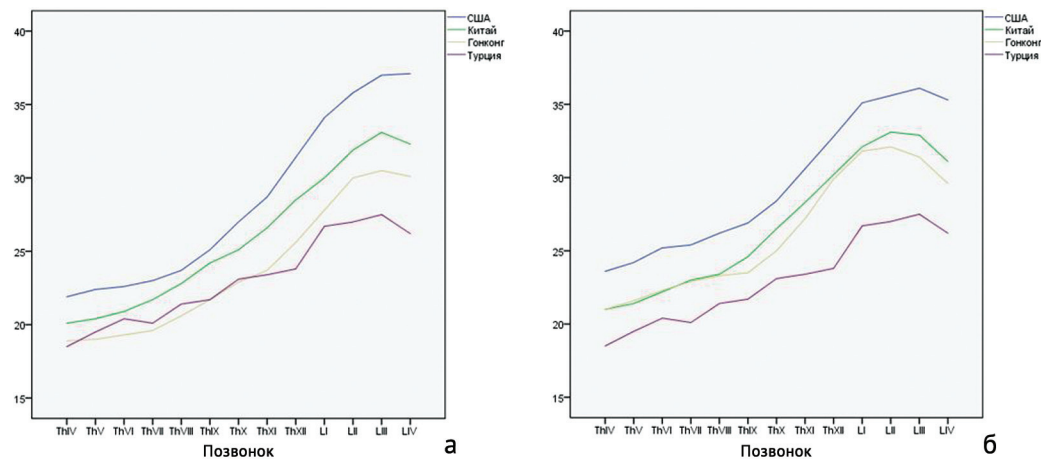


Рис. 7. Передние (а) и задние (б) размеры тел позвонков у представителей разных национальностей (США, материковый Китай и Гонконг – по данным L. Ning et al., 2017 [27]; Турция – по данным B. Abuzayed et al., 2010 [28])

Анатомические передние и задние размеры дисков на грудном и поясничном отделах варьируют в зависимости от уровня диска, пола и возраста [34, 35]. Самой низкой считается высота диска на уровне ThIV–ThV позвонков [36], затем их размеры каудально увеличиваются к сегменту LIV–LV у всех испытуемых [37]. Для расчета дискового пространства введен новый подход – выражение его смежного сегмента. Предложены расчеты высоты диска по высоте соседних тел позвонков [38]. Выведен индекс высоты диска, где учитываются по 3 размера межпозвонкового диска и соседних тел позвонков, а также фиксированный процентный коэффициент α [39]. Для каждого сегмента поясничного отдела авторами рассчитан диско-вертебральный индекс [40]. Выведены коэффициенты корреляции для расчета высоты диска в зависимости от пола и возраста [41]. Зная полученные морфометрические результаты по размерам межпозвонковых дисков, мы в своих расчетах подтвердили, что общий размер смежных дисков близок к общему размеру дисков на сегмент выше и ниже от поврежденного позвонка. Причем индивидуальные размеры дисков при расчетах точнее, чем средние размеры дисков данной локализации соответствующего пола и возраста.

За счет разницы передней и задней высоты диска формируется дисковый или межпозвоночный угол. Так же как и размеры дисков, углы дисков у пациентов без симптомов патологии были хорошо изучены многочисленными исследованиями [42–44]. Теоретически подтверждено различное распределение физиологических углов в грудном и поясничном отделах позвоночника в соответствии с 4-мя типами осанки [45, 46].

При анализе сегментарной деформации позвоночника разными авторами предлагается учитывать угол клиновидности позвонка или местный сагиттальный угол [47]; сагиттальный индекс и деформацию Гарднера [48]; местный сегментарный угол и сегментарный лордоз [49]. Все это затрудняет сопоставление перечисленных критериев. Так, например, сегментарный кифоз, по данным одних авторов, – это угол между нижней замыкательной пластинкой тела вышележащего позвонка и верхней замыкательной пластинкой тела позвонка, расположенного каудальнее от травмированного позвонка [50]; по другим данным, – это угол, ограниченный линиями, параллельными верхней замыкательной пластинке тела вышележащего позвонка и нижней замыкательной пластинке тела нижележащего позвонка [51].

Сегментарные углы позвоночника равномерно изменяются при движении. Так сегментарный объем движений в грудном отделе при сгибании-разгибании составляет от 1,9 до 3,8 градусов [52], причем он минимальный в сегменте ThIV–ThV. Суммарный объем движений в грудном отделе, сложенный из сегментарных углов, составил $31,7 \pm 11,3$ градуса [53]. При вдохе и выдохе общий объем движений в грудном отделе позвоночника составляет $15,9 \pm 4,6$ градуса [54].

Во время коррекции деформации позвоночника, по мнению L. Y. Dai [55], происходит воздействие на тело позвонка, а не на диски. По данным А.Б. Томилова с соавт., при переломах страдает как тело позвонка, так

и смежные диски [56]. По нашим наблюдениям, при репозиции позвоночника изменяются как размеры поврежденного тела позвонка, так и углы смежных дисков, что указывает на необходимость учитывать их при коррекции деформации. Поскольку физиологическая форма позвоночника подвержена колебаниям, то для исправления посттравматической деформации необходим индивидуальный подход, и знание нормальных значений сегментарных углов в сагиттальной плоскости особенно важно при репозиции позвоночника по поводу перелома. На основе большого анализа рентгенограмм и компьютерных томограмм авторами представлены эталонные значения сегментарных углов в грудопоясничном переходе, которые сильно разнятся (табл. 4) [57].

Таблица 4

Эталонные значения сегментарных углов по данным авторов

Сегмент позвоночника	Kwon S.M. et all [57]	Verheyden A.P. et all [22]
ThIX–ThXI		-5
ThX–ThXII	$6,5 \pm 3,9$	-2
ThXI–LI	$5,5 \pm 4,1$	2
ThXII–LII	$2,2 \pm 4,7$	7
LI–LIII	$3,3 \pm 5,3$	10
LII–LIV		15
LIII–LV		25
LIV–SI		40

В данном случае угол измерялся от верхней кортикальной пластинки вышележащего позвонка до нижней кортикальной пластинки тела нижележащего от травмированного позвонка. Указанный угол (угол Kobb) при измерениях деформаций по поводу перелома позвонка был признан наиболее достоверным [58]. Сегментарный угол от нижней замыкательной пластинки тела вышележащего позвонка до верхней замыкательной пластинки нижележащего тела позвонка нами был выбран в связи с удобством расчета и измерения: на этапе планирования, во время операции и при контрольных исследованиях. Как угол Kobb, так и угол, выбранный нами, являются бисегментарными углами, которые захватывают поврежденный позвонок и два смежных диска.

Авторами предлагается расчет сагиттального индекса при переломах грудопоясничного отдела позвоночника, а именно, измерение кифотической деформации позвоночного сегмента (угол между нижней замыкающей пластинкой тела вышележащего позвонка и нижней замыкающей пластинкой тела поврежденного позвонка), скорректированное на нормальный сагиттальный контур на уровне деформированного сегмента [59]. Учитывая, что оцениваемый угол является моносегментарным, и при большом индивидуальном разнообразии сегментарных углов в зависимости от типов осанки по Rossoully получаем большие погрешности в расчетах.

Неустраненная деформация позвоночника может привести к неправильному положению соседних сегментов, к изменениям в общей статике позвоночника и хроническому болевому синдрому [60, 61].

Предложенная нами методика расчета таргетных показателей восстановления индивидуального сагиттального профиля позволяет снизить погрешность при оценке сагиттального контура усредненными целевыми значениями. При моделировании размеров межтеловых промежутков и угла сегментарной деформации рассчитанные по нашим моделям параметры близки к фактиче-

ским анатомическим размерам. При оценке посттравматической деформации грудного и поясничного отделов позвоночника рассчитанные передние и задние размеры межтеловых промежутков необходимо принимать за 100 %, а рассчитанный сегментарный угол – за 0 градусов. Это позволит наглядно оценивать исправленную деформацию поврежденного сегмента позвоночника.

ВЫВОДЫ

1. При моделировании повреждения одного или двух позвоночно-двигательных сегментов в грудном и поясничном отделах необходимо рассчитывать размер межтеловых промежутков вентральной и дорсальной поверхности и угол сегментарной деформации α по срединному сагиттальному срезу спиральной компьютерной томографии после мультипланарной реконструкции.

2. Предложенные расчеты по восстановлению передних и задних межтеловых расстояний, а также угла

сегментарной деформации α после позвоночно-спинномозговой травмы грудного и поясничного отделов позволили приблизиться к целевым индивидуализированным анатомическим размерам. Погрешность измерения передних межтеловых промежутков составила $1,4 \pm 0,4$ мм, задних – $1,3 \pm 0,5$ мм, погрешность в расчетах угла сегментарной деформации α составила $2,5 \pm 0,6$ градуса, что свидетельствует о высокой точности предложенного способа.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Хирургическое лечение посттравматических деформаций грудного и поясничного отделов позвоночника / А.А. Афаунов, Э.М. Полюхович, А.И. Афаунов, А.В. Мишагин, П.П. Васильченко // Хирургия позвоночника. 2007. № 3. С. 8-15.
2. Рерих В.В., Борзых К.О. Посттравматические деформации грудного и поясничного отделов позвоночника у пациентов в позднем периоде позвоночно-спинномозговой травмы после ранее проведенных оперативных вмешательств // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 12-4. С. 657-660. URL: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=7998> (дата обращения: 18.01.2021).
3. Preoperative and Postoperative Sagittal Alignment and Compensatory Mechanisms in Patients with Posttraumatic Thoracolumbar Deformities who Undergo Corrective Surgeries / O.B. Olivares, M.V. Carrasco, G.I. Pinto, F.N. Tonda, J.A. Riera Martínez, A.S. González // Int. J. Spine Surg. 2021. Vol. 15, No 3. P. 585-590. DOI: 10.14444/8079.
4. The Current Status of Spinal Posttraumatic Deformity: A Systematic Review / E.E.A. de Gendt, T.F.G. Vercoulen, A.F. Joaquim, W. Guo, E.N. Vialle, G.D. Schroeder, K.S. Schnake, A.R. Vaccaro, L.M. Benneker, S.P.J. Muijs, F.C. Oner // Global Spine J. 2021. Vol. 11, No 8. P. 1266-1280. DOI: 10.1177/2192568220969153.
5. Is cast an option in the treatment of thoracolumbar vertebral fractures? / A. Rava, F. Fusini, P. Cinnella, A. Massè, M. Girardo // J. Craniovertebr. Junction Spine. 2019. Vol. 10, No 1. P. 51-56. DOI: 10.4103/jcvjs.JCVJS_8_19.
6. Lokales Wirbelsäulenprofil nach operativer Behandlung thorakolumbalen und lumbalen frakturen: Einfluss von Repositionstechnik und Knochenqualität / B.W. Ullrich, M. Ottich, A. Lawson McLean, T. Mendel, G.O. Hofmann, P. Schenk // Unfallchirurg. 2022. Vol. 125, No 4. P. 295-304. DOI: 10.1007/s00113-021-01013-7.
7. Repositionsmöglichkeiten mittels perkutaner dorsaler Instrumentierung. Bei Berstungsfrakturen des thorakolumbalen Übergangs / T. Weiß, S. Hauck, V. Bühren, O. Gonschorek // Unfallchirurg. 2014. Vol. 117, No 5. P. 428-436. DOI: 10.1007/s00113-013-2364-7.
8. Evaluation of a new approach to compute intervertebral disc height measurements from lateral radiographic views of the spine / B.T. Allaire, M.C. DePaolis Kaluza, A.G. Bruno, E.J. Samelson, D.P. Kiel, D.E. Anderson, M.L. Bousse // Eur. Spine J. 2017. Vol. 26, No 1. P. 167-172. DOI: 10.1007/s00586-016-4817-5.
9. Kunkel M.E., Schmidt H., Wilke H.J. Prediction equations for human thoracic and lumbar vertebral morphometry // J. Anat. 2010. Vol. 216, No 3. P. 320-328. DOI: 10.1111/j.1469-7580.2009.01187.x.
10. Multi-functionality of computer-aided quantitative vertebral fracture morphometry analyses / L. Oei, F. Ly, S. El Saddy, A.A. Makurthou, A. Hofman, F.J. van Rooij, A.G. Uitterlinden, M.C. Zillikens, F. Rivadeneira, E.H. Oei // Quant. Imaging Med. Surg. 2013. Vol. 3, No 5. P. 249-255. DOI: 10.3978/j.issn.2223-4292.2013.09.03.
11. Рерих В.В., Борзых К.О., Рахматиллаев Ш.Н. Хирургическое лечение взрывных переломов грудных и поясничных позвонков, сопровождающихся сужением позвоночного канала // Хирургия позвоночника. 2007. № 2. С. 8-15.
12. Wiederherstellung der sagittalen Balance bei der Versorgung thorakaler und lumbaler Wirbelkörperfrakturen / A. Hempfing, J. Zenner, L. Ferraris, O. Meier, H. Koller // Orthopäde. 2011. Vol. 40, No 8. DOI: 10.1007/s00132-011-1796-4.
13. Impact of Sagittal Balance on Clinical Outcomes in Surgically Treated T12 and L1 Burst Fractures: Analysis of Long-Term Outcomes after Posterior-Only and Combined Posteroanterior Treatment / M. Mayer, R. Ortmaier, H. Koller, J. Koller, W. Hitzl, A. Auffarth, H. Resch, A. von Keudell // Biomed. Res. Int. 2017. Vol. 2017. P. 1568258. DOI: 10.1155/2017/1568258.
14. Клинические аспекты сагиттального баланса у взрослых / А.В. Бурцев, С.О. Рябых, А.О. Котельников, А.В. Губин // Гений ортопедии. 2017. Т. 23, № 2. С. 228-235. DOI: 10.18019/1028-4427-2017-23-2-228-235.
15. Preliminary results of anterior lumbar interbody fusion, anterior column realignment for the treatment of sagittal malalignment / P. Hosseini, G.M. Mundis Jr., R.K. Eastlack, R. Bagheri, E. Vargas, S. Tran, B.A. Akbarian // Neurosurg. Focus. 2017. Vol. 43, No 6. P. E6. DOI: 10.3171/2017.8.FOCUS17423.
16. Sagittal balance of the spine / J.C. Le Huec, W. Thompson, Y. Mohsinaly, C. Barrey, A. Faundez // Eur. Spine J. 2019. Vol. 28, No 9. P. 1889-1905. DOI: 10.1007/s00586-019-06083-1.
17. Lee J.C., Choi S.W. Adjacent Segment Pathology after Lumbar Spinal Fusion // Asian Spine J. 2015. Vol. 9, No 5. P. 807-817. DOI: 10.4184/asj.2015.9.5.807.
18. Posterior short segment pedicle screw fixation for the treatment of thoracolumbar fracture / M. Aoui, N. Sahnoun, M. Abid, M. Maatoug, M. Hsairi, Y. Hentati, H. Keskes // Pan Afr. Med. J. 2020. Vol. 35. P. 102. DOI: 10.11604/pamj.2020.35.102.21540.
19. Risk factors of recurrent kyphosis in thoracolumbar burst fracture patients treated by short segmental pedicle screw fixation / G.J. Hou, F. Zhou, Y. Tian, H.Q. Ji, Z.S. Zhang, Y. Gou, Y. Lv, Z.W. Yang, Y.W. Zhang // Beijing Da Xue Xue Bao Yi Xue Ban. 2020. Vol. 53, No 1. P. 167-174. DOI: 10.19723/j.issn.1671-167X.2021.01.025.
20. Long-term investigation of nonsurgical treatment for thoracolumbar and lumbar burst fractures: an outcome analysis in sight of spinopelvic balance / H. Koller, F. Acosta, A. Hempfing, D. Rohrmüller, M. Tauber, S. Lederer, H. Resch, J. Zenner, H. Klampfer, R. Schwaiger, R. Bogner, W. Hitzl // Eur. Spine J. 2008. Vol. 17, No 8. P. 1073-1095. DOI: 10.1007/s00586-008-0700-3.
21. Difference in whole spinal alignment between supine and standing positions in patients with adult spinal deformity using a new comparison method with slot-scanning three-dimensional X-ray imager and computed tomography through digital reconstructed radiography / K. Hasegawa,

- M. Okamoto, S. Hatsushikano, G. Caseiro, K. Watanabe // BMC Musculoskelet. Disord. 2018. Vol. 19, No 1. P. 437. DOI: 10.1186/s12891-018-2355-5.
22. Therapieempfehlungen zur Versorgung von Verletzungen der Brust- und Lendenwirbelsäule / A.P. Verheyden, A. Hölzl, H. Ekkerlein, E. Gercek, S. Hauck, C. Josten, F. Kandziora, S. Katscher, C. Knop, W. Lehmann, R. Meffert, C.W. Müller, A. Partenheimer, C. Schinkel, P. Schleicher, K.J. Schnake, M. Scholz, C. Ulrich // Unfallchirurg. 2011. Vol. 114, No 1. P. 9-16. DOI: 10.1007/s00113-010-1934-1.
 23. Preoperative and Postoperative Sagittal Alignment and Compensatory Mechanisms in Patients with Posttraumatic Thoracolumbar Deformities who Undergo Corrective Surgeries / O.B. Olivares, M.V. Carrasco, G.I. Pinto, F.N. Tonda, J.A. Riera Martínez, A.S. González // Int. J. Spine Surg. 2021. Vol. 15, No 3. P. 585-590. DOI: 10.14444/8079.
 24. Zappalá M., Lightbourne S., Heneghan N.R. The relationship between thoracic kyphosis and age, and normative values across age groups: a systematic review of healthy adults // J. Orthop. Surg. Res. 2021. Vol. 16, No 1. P. 447. DOI: 10.1186/s13018-021-02592-2.
 25. CT morphometry of adult thoracic intervertebral discs / J.G. Fletcher, M.D. Stringer, C.A. Briggs, T.M. Davies, S.J. Woodley // Eur. Spine J. 2015. Vol. 24, No 10. P. 2321-2329. DOI: 10.1007/s00586-015-3925-y.
 26. Morphometric Analysis of Lumbar Intervertebral Disc Height: An Imaging Study / K. Bach, J. Ford, R. Foley, J. Januszewski, R. Murtagh, S. Decker, J.S. Uribe // World Neurosurg. 2018. S1878-8750(18)32836-5. DOI: 10.1016/j.wneu.2018.12.014.
 27. Vertebral heights and ratios are not only race-specific, but also gender- and region-specific: establishment of reference values for mainland Chinese / L. Ning, L.J. Song, S.W. Fan, X. Zhao, Y.L. Chen, Z.Z. Li, Z.A. Hu // Arch. Osteoporos. 2017. Vol. 12, No 1. P. 88. DOI: 10.1007/s11657-017-0383-7.
 28. Anatomic basis of anterior and posterior instrumentation of the spine: morphometric study / B. Abuzayed, B. Tutunculer, B. Kucukyuruk, S. Tuzgen // Surg. Radiol. Anat. 2010. Vol. 32, No 1. P. 75-85. DOI: 10.1007/s00276-009-0545-4.
 29. Abdel M.P., Bodemer W.S., Anderson P.A. Supine thoracolumbar sagittal spine alignment: comparing computerized tomography and plain radiographs // Spine (Phila Pa 1976). 2012. Vol. 37, No 4. P. 340-345. DOI: 10.1097/BRS.0b013e31821946d1.
 30. Computed tomographic-based morphometric study of thoracic spine and its relevance to anaesthetic and spinal surgical procedures / K. Kaur, R. Singh, V. Prasath, S. Magu, M. Tanwar // J. Clin. Orthop. Trauma. 2016. Vol. 7, No 2. P. 101-108. DOI: 10.1016/j.jcot.2015.12.002.
 31. Waxenbaum J.A., Reddy V., Futterman B. Anatomy, Back, Thoracic Vertebrae // StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL) : StatPearls Publishing. 2022. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK459153/>
 32. Vertebral morphometry: current methods and recent advances / G. Guglielmi, D. Diacinti, C. van Kuijk, F. Aparisi, C. Krestan, J.E. Adams, T.M. Link // Eur. Radiol. 2008. Vol. 18, No 7. P. 1484-1496. DOI: 10.1007/s00330-008-0899-8.
 33. Age-Related Changes of Lumbar Vertebral Body Morphometry / V. Mavrych, O. Bolgova, P. Ganguly, S. Kashchenko // Austin. J. Anat. 2014. Vol. 1, No 3. P. 1014.
 34. Thoracolumbar Intervertebral Disc Area Morphometry in Elderly Chinese Men and Women: Radiographic Quantifications at Baseline and Changes at Year-4 Follow-up / J.Q. Wang, Z. Káplár, M. Deng, J.F. Griffith, J.C.S. Leung, A.W.L. Kwok, T. Kwok, P.C. Leung, Y.X.J. Wang // Spine (Phila Pa 1976). 2018. Vol. 43, No 10. P. E607-E614. DOI: 10.1097/BRS.0000000000002482.
 35. Ten-year Longitudinal Follow-up MRI Study of Age-related Changes in Thoracic Intervertebral Discs in Asymptomatic Subjects / E. Okada, K. Daimon, H. Fujiwara, Y. Nishiwaki, K. Nojiri, M. Watanabe, H. Katoh, H. Ishihama, N. Fujita, T. Tsuji, M. Nakamura, M. Matsumoto, K. Watanabe // Spine (Phila Pa 1976). 2019. Vol. 44, No 22. P. E1317-E1324. DOI: 10.1097/BRS.00000000000003145.
 36. Волков А.А., Белосельский Н.Н., Прибытков Ю.Н. Рентгеновская морфометрия межпозвонковых пространств позвоночного столба в норме и при дистрофических изменениях межпозвонковых дисков // Вестник рентгенологии и радиологии. 2015. № 3. С. 23-30. URL: <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2015-0-3-23-30> (дата обращения: 14.02.2021).
 37. Age-related degenerative changes and sex-specific differences in osseous anatomy and intervertebral disc height of the thoracolumbar spine / M. Machino, H. Nakashima, K. Ito, Y. Katayama, T. Matsumoto, M. Tsushima, K. Ando, K. Kobayashi, S. Imagama // J. Clin. Neurosci. 2021. Vol. 90. P. 317-324. DOI: 10.1016/j.jocn.2021.06.020.
 38. Morphometric analysis of the relationships between intervertebral disc and vertebral body heights: an anatomical and radiographic study of the human thoracic spine / M.E. Kunkel, A. Herkommer, M. Reinehr, T.M. Böckers, H.J. Wilke // J. Anat. 2011. Vol. 219, No 3. P. 375-387. DOI: 10.1111/j.1469-7580.2011.01397.x.
 39. Magnetic resonance morphometry of the adult normal lumbar intervertebral space / A.H. Fylos, D.L. Arvanitis, A.H. Karantanis, S.E. Varitimidis, M. Hantes, A.H. Zibis // Surg. Radiol. Anat. 2018. Vol. 40, No 9. P. 1055-1061. DOI: 10.1007/s00276-018-2048-7.
 40. Anatomic-Imaging Correlations of Lumbar Disk-Vertebral Morphometric Indices / D. Iliescu, P. Bordei, E.V. Ionescu, S. Albina, C. Oprea, B. Obada, A.A. Lupu, T.L. Hangan, M.G. Iliescu // Int. J. Morphol. 2017. Vol. 35, No 4. P. 1553-1559. DOI: 10.4067/S0717-95022017000401553.
 41. Lumbar model generator: a tool for the automated generation of a parametric scalable model of the lumbar spine / C.E. Lavecchia, D.M. Espino, K.M. Moerman, K.M. Tse, D. Robinson, P.V.S. Lee, D.E.T. Shepherd // J. R. Soc. Interface. 2018. Vol. 15, No 138. 20170829. DOI: 10.1098/rsif.2017.0829.
 42. Correlation between lumbar intervertebral disc height and lumbar spine sagittal alignment among asymptomatic Asian young adults / F. Zhang, K. Zhang, H.J. Tian, A.M. Wu, X.F. Cheng, T.J. Zhou, J. Zhao // J. Orthop. Surg. Res. 2018. Vol. 13, No 1. P. 54. DOI: 10.1186/s13018-018-0737-x.
 43. Chung N.S., Lee H.D., Jeon C.H. Differences in lumbar segment angle among Roussouly types of global sagittal alignment in asymptomatic adult subjects // Spine Deform. 2020. Vol. 8, No 2. P. 227-232. DOI: 10.1007/s43390-019-00010-6.
 44. A Longitudinal Study of Lumbar Sagittal Change in Middle-Aged Healthy Volunteers / K. Ito, K. Ando, K. Kobayashi, H. Nakashima, Y. Hasegawa, S. Imagama // Spine Surg. Relat. Res. 2020. Vol. 5, No 3. P. 160-164. DOI: 10.22603/ssr.2020-0123.
 45. Classification of the normal variation in the sagittal alignment of the human lumbar spine and pelvis in the standing position / P. Roussouly, S. Gollogly, E. Berthonnaud, J. Dimnet // Spine (Phila Pa 1976). 2005. Vol. 30, No 3. P. 346-353. DOI: 10.1097/01.brs.0000152379.54463.65.
 46. Celestre P.C., Dimar J.R. 2nd, Glassman S.D. Spinopelvic Parameters: Lumbar Lordosis, Pelvic Incidence, Pelvic Tilt, and Sacral Slope: What Does a Spine Surgeon Need to Know to Plan a Lumbar Deformity Correction? // Neurosurg. Clin. N. Am. 2018. Vol. 29, No 3. P. 323-329. DOI: 10.1016/j.nec.2018.03.003.
 47. Radiographic analysis of the sagittal alignment and balance of the spine in asymptomatic subjects / R. Vialle, N. Levassor, L. Rillardon, A. Templier, W. Skalli, P. Guigui // J. Bone Joint Surg. Am. 2005. Vol. 87, No 2. P. 260-267. DOI: 10.2106/JBJS.D.02043.
 48. Inter- and intraobserver reliability of the vertebral, local and segmental kyphosis in 120 traumatic lumbar and thoracic burst fractures: evaluation in lateral X-rays and sagittal computed tomographies / B. Ulmar, A. Brunner, M. Gühring, T. Schmälzle, K. Weise, A. Badke // Eur. Spine J. 2010. Vol. 19, No 4. P. 558-566. DOI: 10.1007/s00586-009-1231-2.
 49. The Association between Sagittal Plane Alignment and Disc Space Narrowing of Lumbar Spine in Farmers / K.H. Park, S. Baek, E.K. Kang, H.W. Park, G. Kim, S.H. Kim // Ann. Rehabil. Med. 2021. Vol. 45, No 4. P. 294-303. DOI: 10.5535/arm.21037.
 50. Vertebral body spread in thoracolumbar burst fractures can predict posterior construct failure / F. De Iure, G. Lofrese, P. De Bonis, F. Cultrera, M. Cappuccio, S. Battisti // Spine J. 2018. Vol. 18, No 6. P. 1005-1013. DOI: 10.1016/j.spinee.2017.10.064.
 51. Which patients risk segmental kyphosis after short segment thoracolumbar fracture fixation with intermediate screws? / M. Formica, L. Cavagnaro, M. Basso, A. Zanirato, L. Felli, C. Formica, A. Di Martino // Injury. 2016. Vol. 47, No Suppl. 4. P. S29-S34. DOI: 10.1016/j.injury.2016.07.048.
 52. Challenging the Conventional Standard for Thoracic Spine Range of Motion: A Systematic Review / S.L. Borkowski, E. Tamrazian, R.E. Bowen, A.A. Scaduto, E. Ebrahimzadeh, S.N. Sangiorgio // JBJS Rev. 2016. Vol. 4, No 4. P. e51-e511. DOI: 10.2106/JBJS.RVW.O.00048.
 53. Range of motion of thoracic spine in sagittal plane / D. Morita, Y. Yukawa, H. Nakashima, K. Ito, G. Yoshida, M. Machino, S. Kanbara, T. Iwase, F. Kato // Eur. Spine J. 2014. Vol. 23, No 3. P. 673-678. DOI: 10.1007/s00586-013-3088-7.
 54. Non-uniform Segmental Range of Motion of the Thoracic Spine during Maximal Inspiration and Exhalation in Healthy Subjects / J. Burgos, C. Barrios, G. Mariscal, A. Lorente, R. Lorente // Front. Med. (Lausanne). 2021. Vol. 8. 699357. DOI: 10.3389/fmed.2021.699357.

55. Dai L.Y., Jiang L.S., Jiang S.D. Conservative treatment of thoracolumbar burst fractures: a long-term follow-up results with special reference to the load sharing classification // *Spine (Phila Pa 1976)*. 2008. Vol. 33, No 23. P. 2536-2544. DOI: 10.1097/BRS.0b013e3181851bc2.
56. Томилов А.Б., Кузнецова Н.Л. Ортопедическая коррекция посттравматических деформаций позвоночника // *Гений ортопедии*. 2012. № 1. С. 60-63.
57. Computed Tomographic Assessment of Sagittal Plane Alignment of the Thoracolumbar Junction in a Young Adult Korean Population / S.M. Kwon, H.J. Chun, H.J. Yi, Y.S. Kim, K.D. Kim // *World Neurosurg*. 2019. Vol. 121. P. e351-e357. DOI: 10.1016/j.wneu.2018.09.105.
58. Measurement of thoracic and lumbar fracture kyphosis: evaluation of intraobserver, interobserver, and technique variability / T.R. Kuklo, D.W. Polly, B.D. Owens, S.M. Zeidman, A.S. Chang, W.R. Klemme // *Spine (Phila Pa 1976)*. 2001. Vol. 26, No 1. P. 61-65; discussion 66. DOI: 10.1097/00007632-200101010-00012.
59. Farcy J.P., Weidenbaum M., Glassman S.D. Sagittal index in management of thoracolumbar burst fractures // *Spine (Phila Pa 1976)*. 1990. Vol. 15, No 9. P. 958-965. DOI: 10.1097/00007632-199009000-00022.
60. Mattei T.A., Hanovnikian J., Dinh D.H. Progressive kyphotic deformity in comminuted burst fractures treated non-operatively: the Achilles tendon of the Thoracolumbar Injury Classification and Severity Score (TLICS) // *Eur. Spine J*. 2014. Vol. 23, No 11. P. 2255-2262. DOI: 10.1007/s00586-014-3312-0.
61. The complement of the load-sharing classification for the thoracolumbar injury classification system in managing thoracolumbar burst fractures / M. Machino, Y. Yukawa, K. Ito, S. Kanbara, F. Kato // *J. Orthop. Sci*. 2013. Vol. 18, No 1. P. 81-86. DOI: 10.1007/s00776-012-0319-4.

Статья поступила в редакцию 02.06.2021; одобрена после рецензирования 03.12.2021; принята к публикации 28.03.2022.

The article was submitted 02.06.2021; approved after reviewing 03.12.2021; accepted for publication 28.03.2022.

Информация об авторах:

1. Владимир Дмитриевич Усиков – доктор медицинских наук, профессор, usikov@list.ru, ORCID: 0000-0001-7350-6772;
2. Владимир Сергеевич Куфтов – кандидат медицинских наук, kufotov@mail.ru, ORCID: 0000-0002-0548-8944;
3. Дмитрий Николаевич Монашенко – кандидат медицинских наук, d.monashenko@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-8571-1447.

Information about the authors:

1. Vladimir D. Usikov – Doctor of Medical Sciences, Professor, usikov@list.ru, ORCID: 0000-0001-7350-6772;
2. Vladimir S. Kufotov – Candidate of Medical Sciences, kufotov@mail.ru, ORCID: 0000-0002-0548-8944;
3. Dmitry N. Monashenko – Candidate of Medical Sciences, d.monashenko@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-8571-144.