



DOI 10.56618/20712693_2022_14_4_98

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ПО МОДЕЛИРОВАНИЮ ПОВРЕЖДЕННОГО ТЕЛА ПОЗВОНКА СО СМЕЖНЫМИ ДИСКАМИ И САГИТТАЛЬНОГО УГЛА НА ГРУДНОМ И ПОЯСНИЧНОМ ОТДЕЛАХ

В. Д. Усиков, В. С. Куфтов, Д. Н. Монашенко, А. А. Долгушин

Санкт-Петербургское государственное бюджетное учреждение здравоохранения
«Городская Больница № 26», нейрохирургическое отделение № 1,
196247, Санкт-Петербург, Российская Федерация

ВВЕДЕНИЕ. По данным СКТ обследования грудного и поясничного отделов позвоночника проведена морфометрия и математические расчеты сегмента позвоночника из трех смежных позвонков и межпозвонковых дисков у 25 пациентов разного пола и возраста для моделирования восстановления поврежденного тела позвонка и смежных дисков. Измерения производились с помощью компьютерного программного обеспечения в просмотрщике RadiAnt по срединному сагиттальному срезу.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ: Для исследования взяты результаты спиральной компьютерной томографии (СКТ) 25 пациентов (12 женщин и 13 мужчин в возрасте от 18 до 60 лет), находящихся на лечении в нейрохирургическом отделении.

РЕЗУЛЬТАТЫ: По результатам статистической обработки с 95 % доверительным интервалом получена следующая погрешность в расчетах: при моделировании передних и задних размеров поврежденного тела позвонка — $0,7 \pm 0,2$ мм; передних и задних размеров поврежденного диска — $0,8 \pm 0,2$ мм и $0,65 \pm 0,2$ мм соответственно; передних и задних размеров тела позвонка и верхнего диска — $1,1 \pm 0,4$ мм и $1,2 \pm 0,5$ мм; передних и задних размеров тела позвонка со смежными дисками — $1,4 \pm 0,4$ мм и $1,3 \pm 0,5$ мм. При моделировании угла α : с нарушением передних и задних размеров тела позвонка и верхнего диска погрешность в расчетах — $2,7 \pm 0,8$ градуса; с нарушением передних и задних размеров тела позвонка и смежных дисков — $2,5 \pm 0,6$ градуса.

ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ: Полученные расчеты могут быть использованы при планировании оперативного вмешательства по восстановлению поврежденного позвоночно-двигательного сегмента на грудном и поясничном отделах и моделированию к исходному не поврежденному состоянию.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: морфометрия позвоночника, переломы позвоночника.

Для цитирования: Усиков В. Д., Куфтов В. С., Монашенко Д. Н., Долгушин А. А. Математические расчеты по моделированию поврежденного тела позвонка со смежными дисками и сагиттального угла на грудном и поясничном отделах. Российский нейрохирургический журнал им. проф. А. Л. Поленова. 2022;14(4):98–110. DOI 10.56618/20712693_2022_14_4_98

MATHEMATICAL CALCULATIONS FOR MODELING THE DAMAGED VERTEBRAL BODY WITH ADJACENT DISCS AND THE SAGITTAL ANGLE IN THE THORACIC AND LUMBAR REGIONS

V. D. Usikov, V. S. Kuflov, D. N. Monashenko, A. A. Dolgushin

St. Petersburg State Budgetary Healthcare Institution “City Hospital № 26”, neurosurgical department № 1,
196247, Saint Petersburg, Russian Federation

INTRODUCTION: Based on the CT examination of the thoracic and lumbar spine, morphometry and mathematical calculations of the spinal segment of three adjacent vertebrae and intervertebral discs were performed in 25 patients of different sex and age to simulate the recovery of the damaged vertebral body and adjacent discs. Measurements were made using computer software in the RadiAnt viewer on the mid-sagittal section.

MATERIALS AND METHODS: The results of spiral computed tomography (SCT) of 25 patients (12 women and 13 men aged 18 to 60 years) who were treated in the neurosurgical department were taken for the study.

RESULTS: According to the results of statistical processing with a 95 % confidence interval, the following calculation error was obtained: when modeling the anterior and posterior dimensions of the damaged vertebral body — 0.7 ± 0.2 mm; anterior and posterior dimensions of the damaged disc — 0.8 ± 0.2 mm and 0.65 ± 0.2 mm, respectively; anterior and posterior dimensions of the vertebral body and upper disc — 1.1 ± 0.4 mm and 1.2 ± 0.5 mm; anterior and posterior dimensions of the vertebral body with adjacent discs — 1.4 ± 0.4 mm and 1.3 ± 0.5 mm. When modeling the angle α : with violation of the anterior and posterior dimensions of the vertebral body and upper disc, the error in the calculations is 2.7 ± 0.8 degrees; with violation of the anterior and posterior dimensions of the vertebral body and adjacent discs — 2.5 ± 0.6 degrees.

DISCUSSION OF THE RESULTS: The obtained calculations can be used when planning a surgical intervention to restore the damaged spinal motion segment in the thoracic and lumbar regions and modeling to the original undamaged state.

For citation: Usikov V.D., Kuftov V.S., Monashenko D.N., Dolgushin A.A. Mathematical calculations for modeling the damaged vertebral body with adjacent discs and the sagittal angle in the thoracic and lumbar regions. *Rossiiskii neirokhirurgicheskii zhurnal imeni professora A. L. Polenova.* 2022;14(4):98–110. DOI 10.56618/20712693_2022_14_4_98

Актуальность.

Статистические корреляции между анатомическими образованиями позвоночника человека указывают на возможность прогнозирования морфометрии позвоночника, которая в перспективе может быть применена для создания упрощенных геометрических моделей позвоночника. Размеры позвонков и межпозвонковых дисков меняются в зависимости от локализации, пола и возраста пациентов [4, 5, 8]. У мужчин эти размеры достоверно больше, чем у женщин, а с возрастом уменьшаются передние размеры диска. Авторами выведен коэффициент корреляции между локализацией диска в грудном отделе, полом и возрастом [7]. Размеры позвонка коррелированы с высотой задней поверхности тела позвонка [9]. Благодаря гипотезам осевой симметрии и более полному описанию анатомических особенностей поясничных позвонков при реализации корреляционного анализа, предложенного Breglia [6], зная размеры задней поверхности позвонка можно рассчитать около 20 параметров позвонка используя рассчитанные коэффициенты размеров диска к размерам кортикальной поверхности позвонка.

Анатомо-топографические характеристики позвонков используются для подбора типоразмеров и ориентации введения металлоконструкций при хирургическом лечении позвоночника. При переломах тел позвонков в грудном и поясничном отделах их средние размеры составляют полусумму от размеров смежных позвонков [3, 10]. Травма позвоночника сопровождается повреждением не только тел позвонков, но и смежных межпозвонковых дисков, как правило, страдает вышележащий диск. В процессе оперативного лечения при репозиции позвоночника мы можем оценить расправление сломанного позвонка. Без учета размеров смежных межпозвонковых дисков невозможно точно оценить расправление поврежденного позвоночно-двигательного сегмента как по высоте, так и по углу. Зная передние и задние размеры межтелового промежутка и угол между ближайшими кортикальными пластинками позвонков, смежных с поврежденным, сможем моделировать поврежденные позвоночно-двигательные сегменты. Появление высокотехнологичных методов лучевой диагностики позволяет расширить и уточнить базы морфометрических параметров позвоночника [1, 2, 11].

Целью нашего исследования является проведение математических расчетов на сегменте позво-

ночника, состоящего из трех смежных позвонков и межпозвонковых дисков в грудном и поясничном отделах, которые могут быть использованы при планировании оперативного вмешательства по восстановлению поврежденного позвоночно-двигательного сегмента.

Материал и методы.

Для исследования взяты результаты спиральной компьютерной томографии (СКТ) 25 пациентов (12 женщин и 13 мужчин в возрасте от 18 до 60 лет), находящихся на лечении в нейрохирургическом отделении. При поступлении в стационар пациентам с подозрением на травму груднопоясничного отдела позвоночника проводилась компьютерная томография грудного и поясничного отделов.

Критерием отбора для нашего исследования были пациенты: без врожденных аномалий позвоночника, у которых в анамнезе не было указаний на травму и оперативное вмешательство на изучаемом отделе позвоночника, без грубых дегенеративных изменений тел позвонков и межпозвонковых дисков, у которых по данным СКТ нет признаков повреждения изучаемого сегмента позвоночника и изучаемый позвонок отстоит от места повреждения на 2 и более позвонков. Модель состоит из трех позвонков со смежными межпозвонковыми дисками. Замеры производились с помощью компьютерного программного обеспечения в просмотрщике RadiAnt по срединному сагитальному срезу. Для измерения брались крайние выступающие мысы тел позвонков (рис. 1, 2).

Например, на СКТ (рисунок 1) имитировали повреждение тела L1 позвонка. Для расчетов использовались измерения от диска ThXI-ThXII до диска LII-LIII. Измерения проводились при моделировании повреждения от ThIV до LIV позвонков, всего по 44 измерения. В процессе измерения изображенные выделяемого сегмента позвоночника увеличивали до размеров экрана для уменьшения погрешности измерений. Погрешность измерения составила $0,2 \pm 0,07$ мм. Статистическая обработка материала проводилась с помощью компьютерных программ SPSS Statistics с использованием описательной статистики, сравнении средних величин с 95 % доверительным интервалом, определением t-критерия для парных сравнений, корреляции Пирсона. Результаты наглядно представлены на графиках и ящичных диаграммах. Исследования по математическим расчетам разбиты на 10 подгрупп.

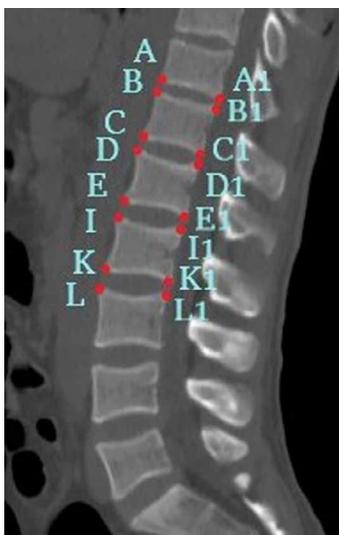


Рисунок 1. Picture 1.

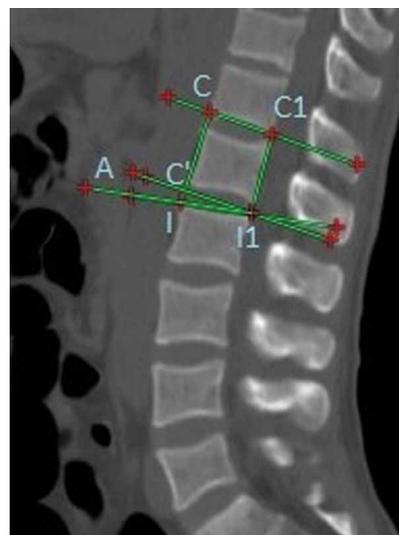


Рисунок 2. Picture 2.

I. По измерениям передней поверхности тела позвонка формировались 2 группы: группа I — заносились фактические данные о переднем размере тела позвонка [D-E]; группа II — средние размеры по 2 измерениям $(|B-C| + |I-K|) / 2$.

Как соотносятся передние размеры тела позвонка к средним размерам передней поверхности соседних позвонков. На СКТ скане измерялись передние размеры 3 смежных позвонков (расстояния $|B-C|$, $|D-E|$, $|I-K|$). Во всех группах было нормальное распределение по критериям Колмогорова-Смирнова и Шапиро-Уилка. Сравнивая результаты описательной статистики по двум группам, наблюдаем сходство средних значений: в I группе средний размер передней поверхности 25,65 мм, стандартная ошибка среднего значения — 0,624 мм, медиана — 26,3 мм; во II группе — 25,59 мм, 0,6 мм и 26,1 мм соответственно. Разность измерений в двух группах: среднее — 0,74 мм, стандартная ошибка среднего — 0,1 мм. Ошибку в измерении передней поверхности позвонка рассчитываем 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. При округлении статистических расчетов до десятых получаем 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 сильная корреляционная связь. Коэффициент корреляции Пирсона — $r=0,973$.

II. По измерениям задней поверхности тела позвонка формировались 2 группы. В первой группе отражен фактический анатомический размер [D1-E1]. Во второй группе — средние данные по 2 измерениям $(|B1-C1| + |I1-K1|) / 2$.

Как соотносятся задние размеры тела позвонка к средним размерам задней поверхности соседних

позвонков. Для измерения брали задние размеры тел смежных позвонков (расстояния $|B1-C1|$, $|D1-E1|$, $|I1-K1|$). Результаты описательной статистики по измерениям задней поверхности тел позвонков: в I группе средний размер задней поверхности составил 26,48 мм, стандартная ошибка среднего значения — 0,736 мм, медиана — 27,3 мм; во II группе — 26,25 мм, 0,68 мм и 27,0 мм соответственно. Разность измерений в двух группах: среднее — 0,70 мм, стандартная ошибка среднего — 0,11 мм.

Допустимая ошибка в расчетах задней поверхности позвонка при 95 % доверительном интервале составляет: $0,7 \pm 0,2$ мм. t -критерий Стьюдента — 1,534 при $P=0,132$. Коэффициент корреляции $r=0,959$. Рассчитанные передние и задние размеры позвонка близки к анатомическим размерам.

III. Передние размеры диска [C-D]. Сравнение в трёх группах: I группа — фактические размеры диска [C-D]; II группа — размеры диска [C-D] рассчитанные по измерениям $(|A-B| + |E-I|) / 2$; III группа — средние размеры диска [C-D] по данным авторов. (Во всех последующих расчетах средние размеры дисков грудного отдела брались из таблиц Fletcher [1], для поясничного отдела Kunkel [2], согласно изучаемому полу и возрасту).

Проводя измерения дисков мы прекрасно понимали, что нет пропорционального последовательного увеличения их размеров от грудного к поясничному отделу. У ряда пациентов встретились с непропорциональными выбросами. Учитывая, что в III группе брались средние размеры дисков, у которых уже доверительный интервал и дисперсия в этой группе была меньше. В наших расчетах между группами существует корреляционная связь. Коэффициент корреляции между I и II группами равен 0,984; I и III группами — 0,895. Не выявлены значимые различия в средних: t -критерий в I и II группах — 0,134 при $P=0,894$; t -критерий в I и III группах

— 1,065 при $P=0,293$. Рассчитанные размеры диска точнее к измеренным, чем средние табличные данные для каждого диска. Группы I и II близки друг к другу, что можно увидеть на графике и ящичной диаграмме. При сравнении в дальнейших расчетах

разности измерений между I и II группами формировалась группа А и разности измерений между I и III группами — группа В. Погрешность в расчетах в группе А составляет $0,8\pm 0,2$ мм, в группе В — $1,6\pm 0,3$ мм.

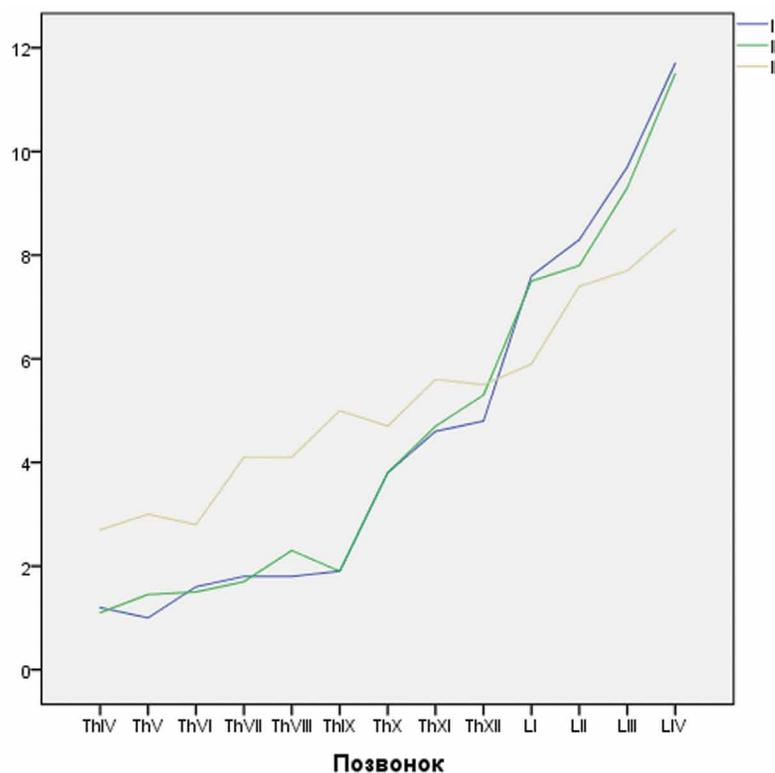


Рисунок 3. График: передние размеры диска по локализации в 3 группах.

Picture 3. Graph: anterior disc sizes by location in 3 groups.

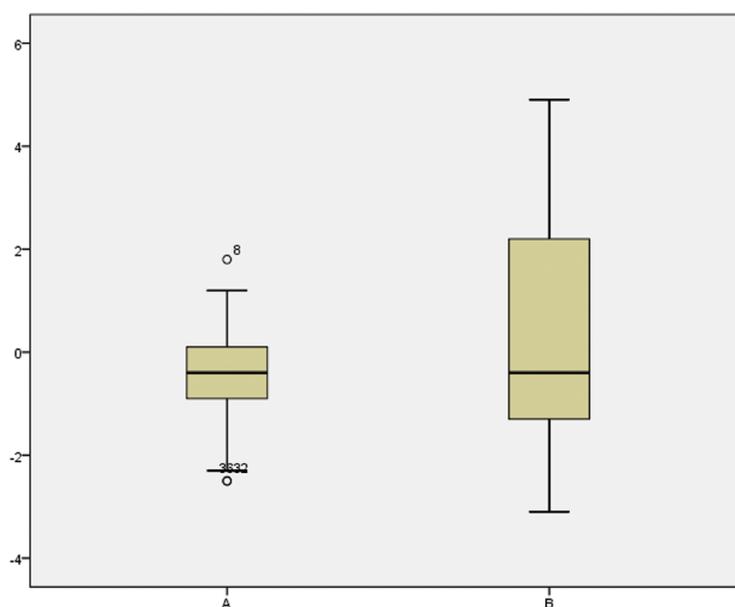


Рисунок 4. Ящичная диаграмма. Погрешность в расчетах передних размеров диска в группах А и В.

Picture 4. Box diagram. Error in the calculation of the anterior disc dimensions in groups A and B.

IV. Задние размеры диска |C1-D1|. Сравнение в трёх группах: I группа — фактические размеры диска |C1-D1|; II группа — размеры диска |C1-D1| рассчитанные $(|A1-B1|+|E1-I1|)/2$; III группа — средние размеры диска |C1-D1| по данным авторов.

Средняя разность в размерах задней части диска между I и II группами равна 0,1 мм (по модулю 0,6 мм); между группами I и III равна 0,2 мм (по модулю 1,2 мм). Коэффициент корреляции между I и II группами равен 0,939; между I и III группами — 0,730. Не выявлены значимые различия в средних:

t-критерий в I и II группах — 1,527 при $P=0,134$; t-критерий в I и III группах — 0,952 при $P=0,346$. Средняя разность измерений в группе А по модулю — 0,647 мм, стандартная ошибка среднего значения — 0,096 мм; в группе В — 1,179 мм и 0,149 мм соответственно. Погрешность в расчетах при 95 % доверительном интервале в группе А составляет $0,65 \pm 0,2$ мм, в группе В — $1,18 \pm 0,3$ мм. Группы I и II близки друг к другу, что можно увидеть на графике и ящичной диаграмме.

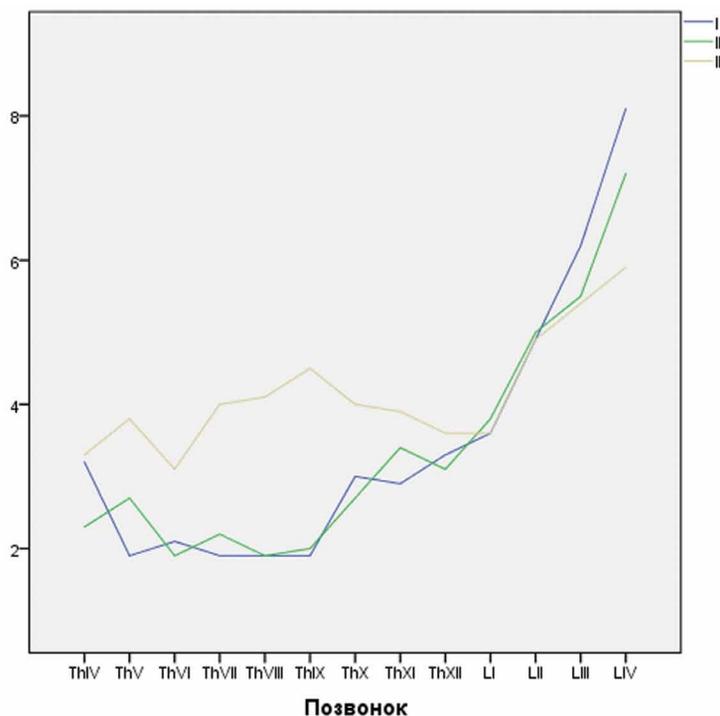


Рисунок 5. График: задние размеры диска по локализации в 3 группах.

Picture 5. Graph: posterior disc sizes by location in 3 groups.

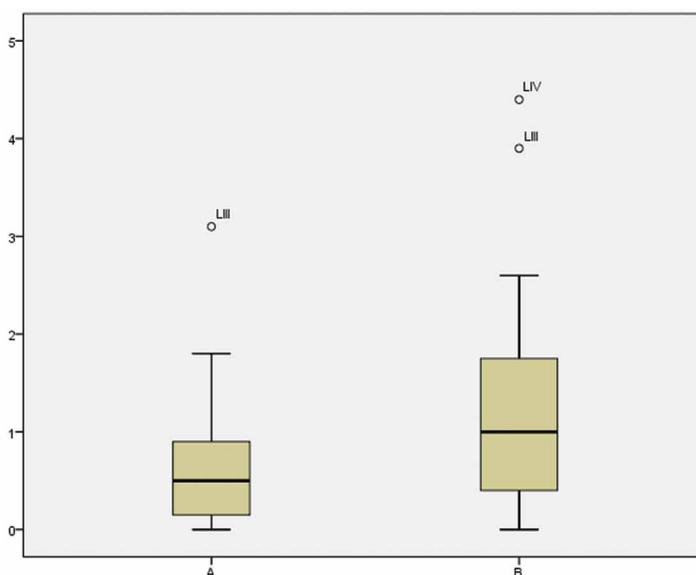


Рисунок 6. Ящичная диаграмма. Погрешность в расчетах задних размеров диска в группах А и В.

Picture 6. Box diagram. The error in the calculations of the rear dimensions of the disk in groups A and B.

V. Моделируется поражение тела и верхнего диска спереди. Сравнение в трёх группах: I группа — фактические размеры спереди [C-I]; II группа — рассчитанные размеры [C-D], как $(|A-B|+|E-I|)/2$ + рассчитанные размеры [D-E] + истинный размер [E-I]; III группа — средние размеры дисков [C-D] + [E-I] по данным авторов + рассчитанные размеры [D-E].

При сравнении I и II групп: t – критерий парных выборок равен 0,506, P=0,615; при сравнении

I и III групп: $t=1,322$, $P=0,218$. Средняя разность между измерениями в группе А — 0,3 мм, в группе В — 0,6 мм. Средняя разность измерений по модулю в группе А — 1,078 мм, стандартная ошибка среднего — 0,21мм; в группе В — средняя разность 1,86 мм, стандартная ошибка среднего — 0,27 мм. Погрешность в расчетах при 95 % доверительном интервале в группе А составляет $1,1\pm 0,4$ мм, в группе В — $1,9\pm 0,5$ мм.

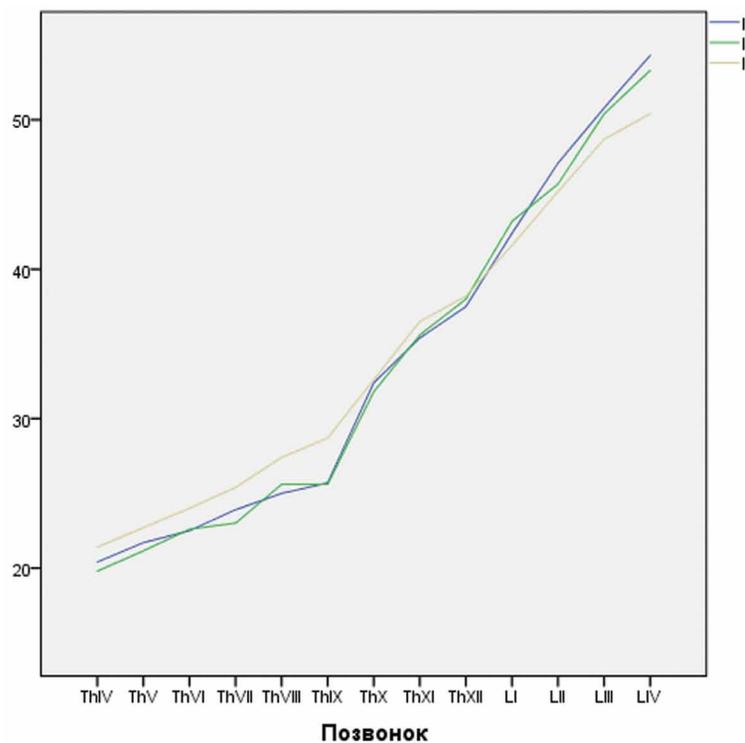


Рисунок 7. График: передние размеры тела позвонка и верхнего диска по локализации в 3 группах.

Picture 7. Graph: anterior dimensions of the vertebral body and upper disc by location in 3 groups.

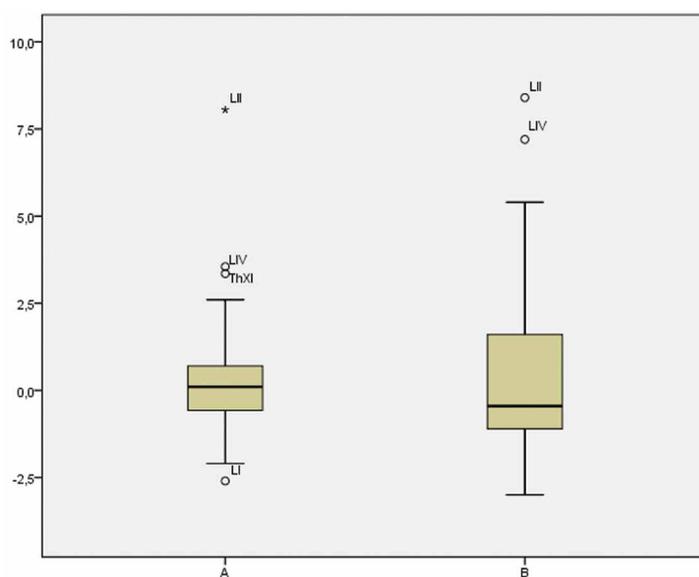


Рисунок 8. Ящичная диаграмма. Погрешность в расчетах передних размеров тела позвонка и верхнего диска в группах А и В.

Picture 8. Box diagram. Error in the calculation of the anterior dimensions of the vertebral body and upper disc in groups A and B.

VI. Моделируется поражение тела и верхнего диска сзади. Сравнение в трёх группах: I группа — фактические размеры |C1-D1|; II группа — рассчитанные размеры |C1-D1|, как $(|A1-B1|+|E1-I1|)/2$ + рассчитанные размеры |D1-E1| + размер |E1-I1|; III группа — средние размеры дисков |C1-D1| + |E1-I1| по данным авторов + рассчитанные размеры |D1-E1|.

T-критерий парных выборок в группах I и II — 1,631, P=0,291; в группах I и III: t= 0,050; P= 0,315.

Корреляция Пирсона между I и II группами равна 0,954; между I и III группами — 0,926. Средняя разность измерений в группе А — 0,9 мм, в группе В — 0,5 мм. Средняя разность измерений по модулю в группе А — 1,227 мм, стандартная ошибка среднего — 0,25 мм; в группе В — средняя разность по модулю — 1,764 мм, стандартная ошибка среднего — 0,26 мм. Погрешность в расчетах в группе А составляет $1,2\pm 0,5$ мм, в группе В — $1,8\pm 0,5$ мм.

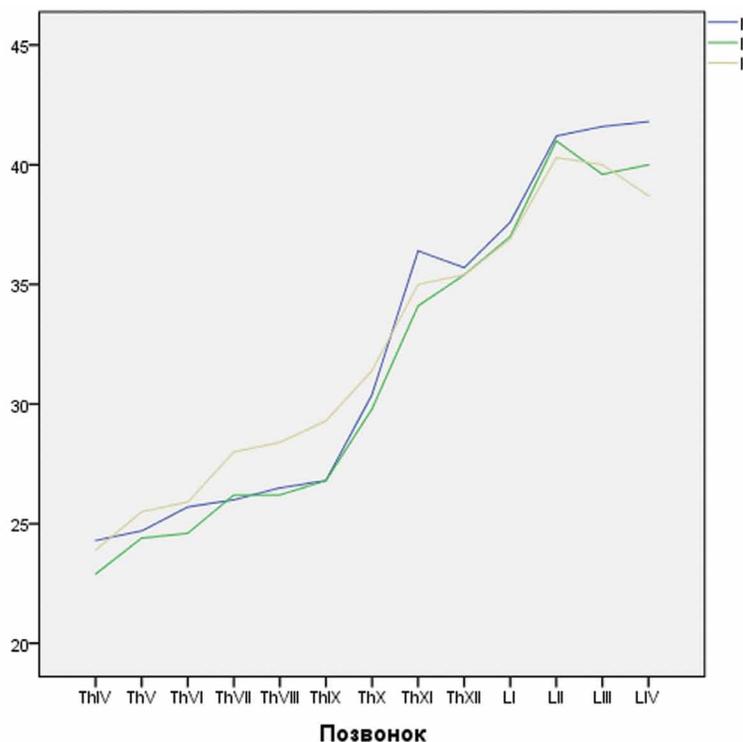


Рисунок 9. График: задние размеры тела позвонка и верхнего диска по локализации в 3 группах.

Picture 9. Graph: posterior dimensions of the vertebral body and upper disc by location in 3 groups.

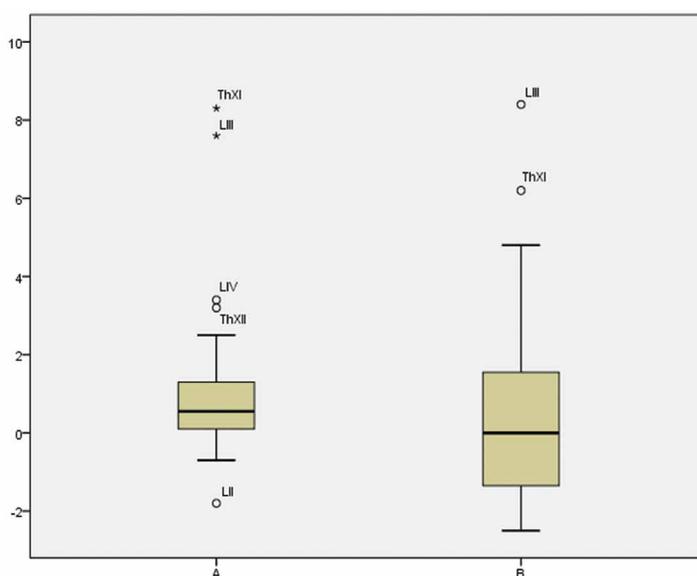


Рисунок 10. Ящичная диаграмма. Погрешность в расчетах задних размеров тела позвонка и верхнего диска в группах А и В.

Picture 10. Box diagram. Error in the calculation of the posterior dimensions of the vertebral body and upper disc in groups A and B.

VII. Моделируется поражение тела и двух смежных дисков спереди. Сравнение в трёх группах: I группа — фактические размеры [С-I]; II группа — размеры [С-D] + [Е-I], рассчитанные по сумме [А-В] + [К-L] + рассчитанные размеры [D-E]; III группа — средние размеры дисков [С-D] + [Е-I] по данным авторов + рассчитанные размеры [D-E].

Средние размеры [С-I] в I группе — 38,9 мм, стандартная ошибка среднего — 1,6 мм; во II группе средние размеры [С-I] — 38,7 мм, стандартная ошибка среднего — 1,5 мм; в III группе — 38,3 мм, 1,3 мм

соответственно. 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 группе А — 0,2; в группе В — 0,6 мм. Средняя разность по модулю при расчетах в группе А — 1,37 мм, стандартная ошибка среднего значения — 0,17 мм; в группе В — средняя разность — 3,17 мм, стандартная ошибка среднего значения — 0,39 мм. Погрешность в расчетах в группе А — $1,4 \pm 0,4$ мм, в группе В — $3,2 \pm 0,8$ мм.

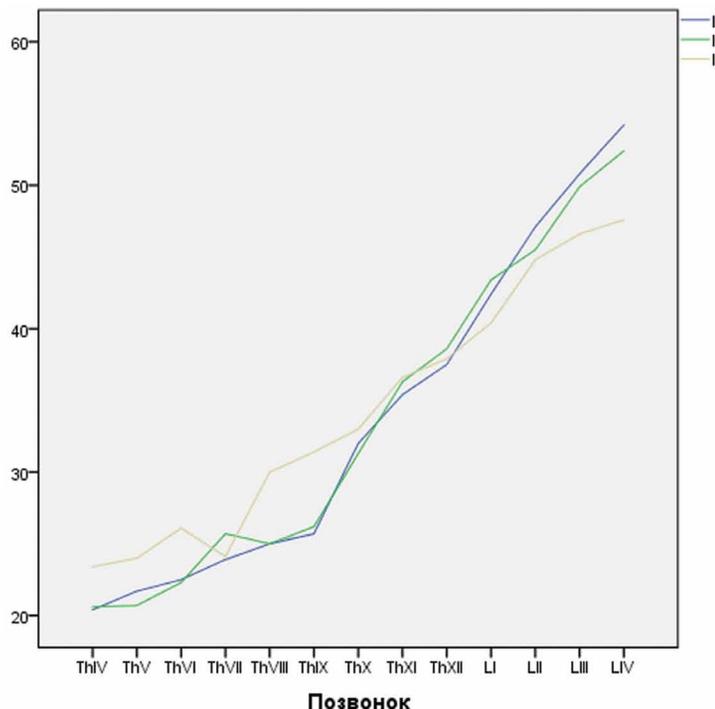


Рисунок 11. График: передние размеры тела позвонка и смежных дисков спереди по локализации в 3 группах.
Picture 11. Graph: anterior dimensions of the vertebral body and adjacent discs in front by location in 3 groups.

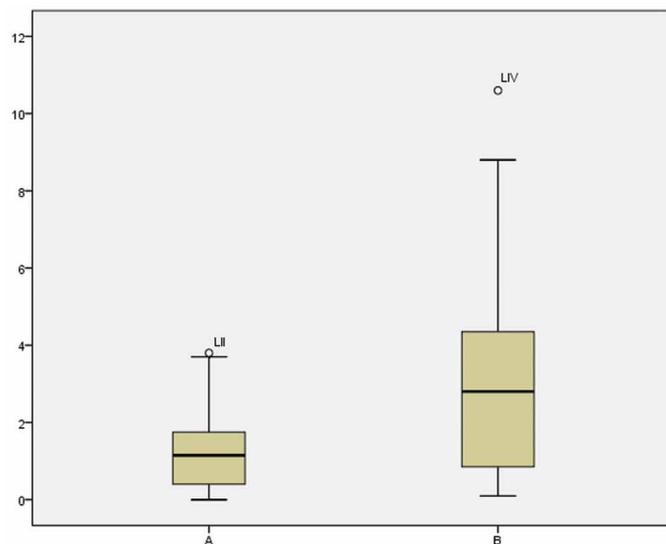


Рисунок 12. Ящичная диаграмма. Погрешность в расчетах передних размеров тела позвонка и смежных дисков в группах А и В.
Picture 12. Box diagram. Error in the calculation of the anterior dimensions of the vertebral body and adjacent discs in groups A and B.

VIII. Моделируется поражение тела и двух смежных дисков сзади. Сравнение в трёх группах: I группа — фактические размеры [C1-I1]; II группа — размеры [C1-D1]+[E1-I1], рассчитанные по сумме [A1-B1]+[K1-L1] + рассчитанные размеры [D1-E1]; III группа — средние размеры дисков [C1-D1]+[E1-I1] по данным авторов + рассчитанные размеры [D1-E1].

Средние размеры [C1-I1] в I группе — 35,4 мм, стандартная ошибка среднего — 0,9 мм; во II группе средние размеры [C1-I1] — 34,9 мм, стандартная ошибка среднего — 0,8 мм; в III группе — средние

размеры [C1-I1] — 35,1 мм, стандартная ошибка среднего — 0,7 мм. Корреляция Пирсона между I и II группами — 0,953, между I и III группами — 0,864. Средняя разность между измерениями в группе А — 0,9 мм; в группе В — 0,3 мм. По модулю средняя разность в группе А — 1,289 мм, стандартная ошибка среднего — 0,252 мм; в группе В — средняя разность — 2,7 мм, стандартная ошибка среднего — 0,275 мм. Погрешность в расчетах в группе А составляет $1,3 \pm 0,5$ мм, в группе В — $2,7 \pm 0,5$ мм. Разброс между группами представлен на рисунке. Первая и вторая группы расположены плотнее друг к другу.

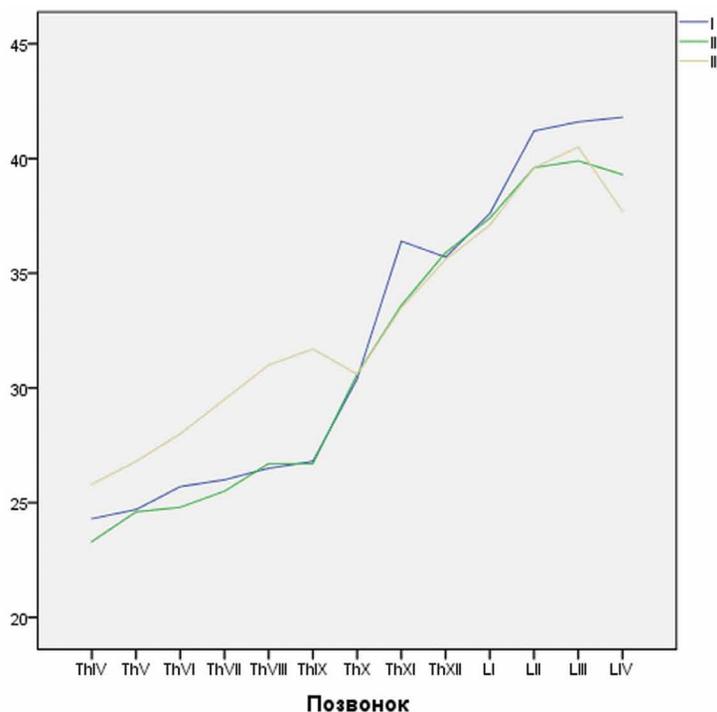


Рисунок 13. График: задние размеры тела позвонка и смежных дисков по локализации в 3 группах.

Picture 13. Graph: posterior dimensions of the vertebral body and adjacent discs by location in 3 groups.

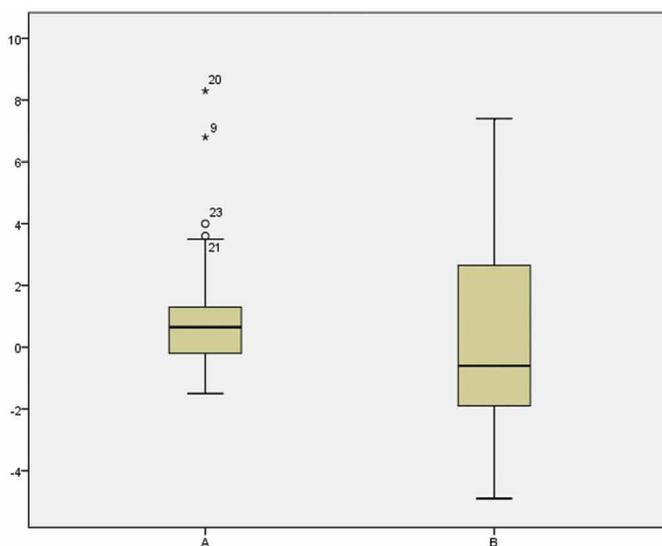


Рисунок 14. Ящичная диаграмма. Погрешность в расчетах задних размеров тела позвонка и смежных дисков в группах А и В.

Picture 14. Box diagram. Error in the calculation of the posterior dimensions of the vertebral body and adjacent discs in groups A and B.

IX. Моделирование угла при повреждении тела позвонка и верхнего диска. Сравнение в трех группах больных. I группа — фактический угол α измерен (образован кортикальными пластинками |C-I| и |I-I|); II группа — угол α рассчитанный по формуле $(\sin^{-1} x (|C-I| - |C1-I1|) / |I-I1|)$, причем передние и задние размеры тела позвонка и верхнего диска были рассчитаны; III группа — угол α , рассчитанный по формуле $(\sin^{-1} x (|C-I| - |C1-I1|) / |I-I1|)$, передние и задние размеры тела позвонка были рассчитаны, а средние размеры дисков |C-D|, |C1-D1| по данным авторов.

Средняя разность углов в группе А составила $-0,84$ градуса, t-критерий парных выборок $-1,4$, $P=0,159$. Средняя разность углов в группе В составила $-0,093$ градуса, t-критерий парных выборок $0,153$, $P=0,879$. Средняя разность углов по модулю в группе А — $2,706$ градуса, стандартная ошибка — $0,437$ градуса; в группе В средняя разность углов по модулю — $2,852$ градуса, стандартная ошибка $0,428$ градуса. Погрешность в расчетах угла α при 95 % доверительном интервале в группе А составляет $2,7 \pm 0,8$ градуса, в группе В — $2,8 \pm 0,8$ градуса.

Таблица 1. Средние размеры угла α в 3 группах по локализации.

Table 1. Average dimensions of the angle α in 3 groups by localization.

Позвонок	Группа I	Группа II	Группа III
ThIV	-7,9	-7,5	-6
ThV	-6,4	-7,2	-6,3
ThVI	-7,2	-4,1	-4,1
ThVII	-5,7	-6,7	-7,2
ThVIII	-2,7	-1	-2,2
ThIX	-2,8	-2,5	-1,3
ThX	1,1	2,3	0,5
ThXI	2,4	2,7	3,1
ThXII	3,5	5,2	5,2
LI	9	11,4	8,6
LII	8,4	8,4	8,6
LIII	16	19	15,7
LIV	22,3	24,5	21,3

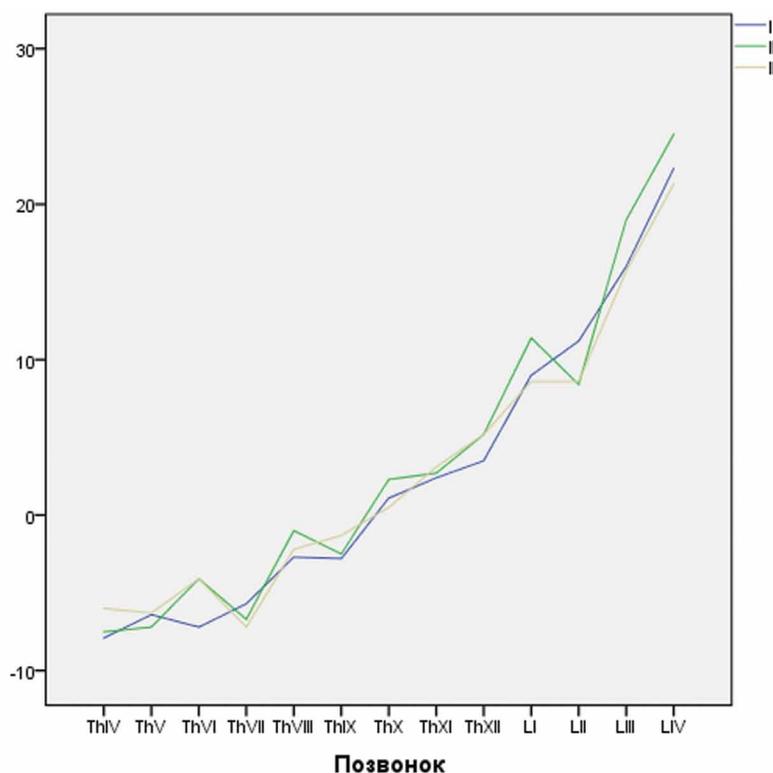


Рисунок 15. График: угол α при расчете передних и задних размеров тела позвонка и верхнего диска по локализации в 3 группах.
Picture 15. Graph: angle α when calculating the anterior and posterior dimensions of the vertebral body and upper disc by location in 3 groups.

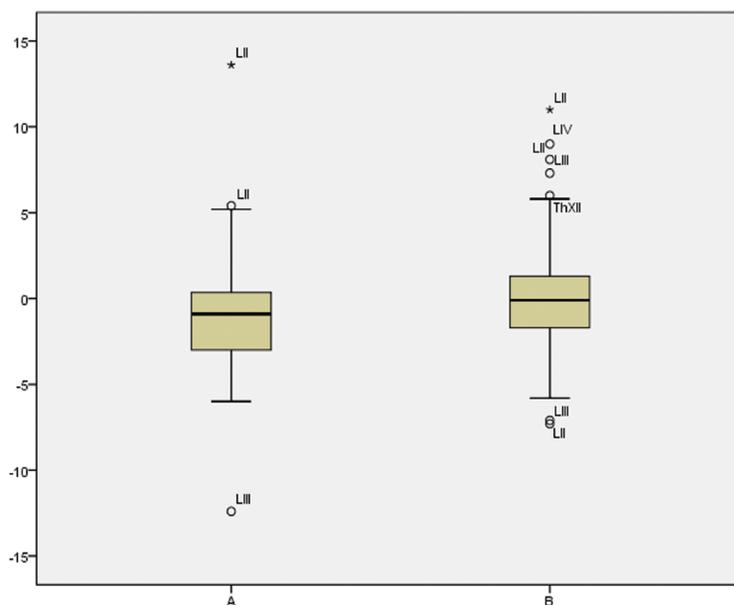


Рисунок 16. Ящичная диаграмма. Погрешность в расчетах угла α в группах А и В.
 Picture 16. Box diagram. Error in the calculation of the angle α in groups A and B.

Х. Моделирование угла α при повреждении тела позвонка и смежных дисков. I группа — фактический угол α измерен (образован кортикальными пластинками |C–C1| и |I–I1|); II группа — угол α рассчитанный по формуле $(\sin-1 \times (|C-I| - |C1-I1|) / |I-I1|)$, причем размеры дисков |C-D|, |C1-D1|, |E-I|, |E 1-I1|, передние и задние размеры тела позвонка были рассчитаны; III группа — угол α , рассчитанный по формуле $(\sin-1 \times (|C-I| - |C1-I1|) / |I-I1|)$, передние и задние размеры тела позвонка (|D-E|, |D 1-E 1|) были рассчитаны, а средние размеры дисков |C-D|, |C 1-D 1|, |E-I|, |E 1-I1| по данным авторов.

Средняя разность углов α в группе А — 1,059 градуса, среднеквадратичная ошибка среднего — 0,463 градуса, t-критерий парных выборок $-2,28$, $P=0,027$. Средняя разность углов в группе В — 0,888 градуса, среднеквадратичная ошибка среднего — 0,779 градуса, t-критерий парных выборок $-1,14$, $P=0,261$. Корреляция Пирсона для группы А — 0,946, при $P<0,01$; для группы В — 0,831, при $P<0,01$. Средняя разность углов по модулю в группе А — 2,486 градуса, стандартная ошибка среднего — 0,312 градуса; в группе В средняя разность углов по модулю — 3,625 градуса, стандартная ошибка среднего — 0,566 градуса. Погрешность в расчетах угла α в группе А составляет $2,5 \pm 0,6$ градуса, в группе В — $3,6 \pm 1,1$ градуса.

Таблица 2. Средние значения угла α в 3 группах по локализации.

Table 2. Average values of the angle α in 3 groups by localization.

Позвонок	Группа I	Группа II	Группа III
ThIV	-7,9	-6,6	-5,8
ThV	-6,4	-8,8	-6,3
ThVI	-7,2	-5,3	-4
ThVII	-5,7	-4,4	-5,4
ThVIII	-2,7	-3,5	-2,9
ThIX	-2,8	-1	-0,6
ThX	1,1	0,9	2,1
ThXI	2,4	5,3	4,9
ThXII	3,5	4,3	4,2
LI	9	11,1	6,3
LII	8,4	8,4	7,7
LIII	16	17,8	10,8
LIV	22,3	24	18,3

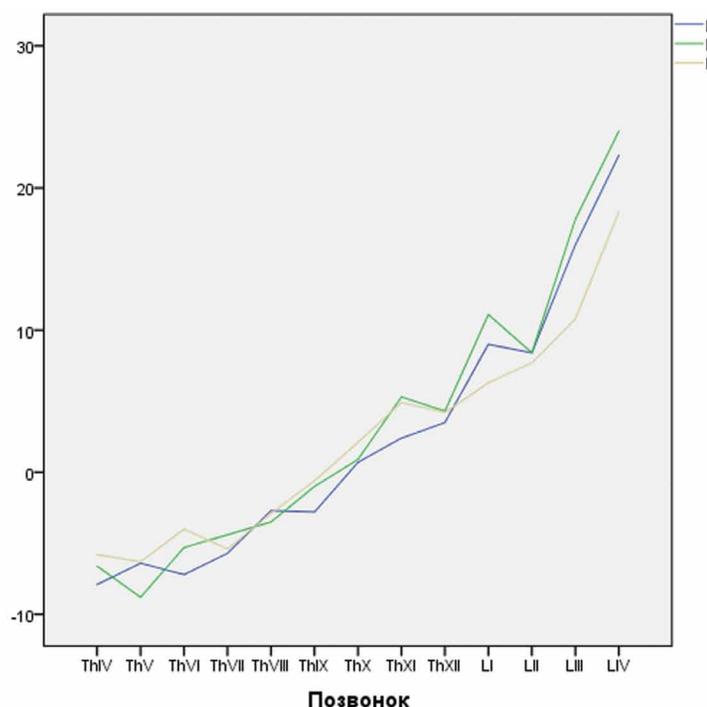


Рисунок 17. График: угол α при расчете передних и задних размеров тела позвонка и смежных дисков по локализации в 3 группах.
Picture 17. Graph: angle α when calculating the anterior and posterior dimensions of the vertebral body and adjacent discs by location in 3 groups.

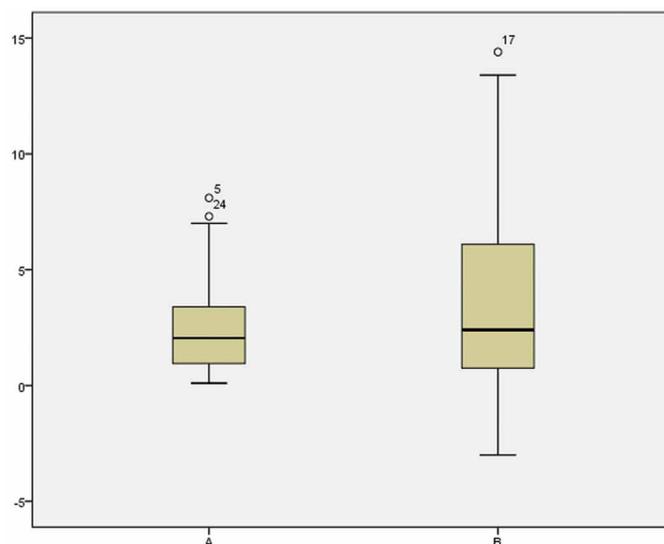


Рисунок 18. Ящичная диаграмма. Погрешность в расчетах угла α в группах А и В.
Picture 18. Box diagram. Error in the calculation of the angle α in groups A and B.

Заключение. В современной спинальной нейрохирургии нельзя обходиться без точных математических расчетов и предварительного планирования оперативного вмешательства по восстановлению поврежденного позвоночно-двигательного сегмента с использованием расчетов по моделированию позвоночника к исходному состоянию.

По результатам статистической обработки полученного материала по моделированию размеров тел смежных позвонков и межпозвонковых дисков мы можем утверждать, что с 95 % доверительным ин-

тервалом получена следующая погрешность: при моделировании передних и задних размеров поврежденного тела позвонка — $0,7 \pm 0,2$ мм; передних и задних размеров поврежденного диска — $0,8 \pm 0,2$ мм и $0,65 \pm 0,2$ мм соответственно; передних и задних размеров тела позвонка и верхнего диска — $1,1 \pm 0,4$ мм и $1,2 \pm 0,5$ мм; передних и задних размеров тела позвонка со смежными дисками — $1,4 \pm 0,4$ мм и $1,3 \pm 0,5$ мм. Полученные данные говорят о высоком уровне доказательности наших расчетов и можно внедрять в практику повсеместно.

При моделировании угла α получена незначительная погрешность в расчетах:

- с нарушением передних и задних размеров тела позвонка и верхнего диска — $2,7 \pm 0,8$ градуса;
- с нарушением передних и задних размеров тела позвонка и смежных дисков — $2,5 \pm 0,6$ градуса.

В заключении хочется добавить, что полученные нами результаты могут быть рекомендованы для повсеместного использования при планировании оперативного вмешательства по восстановлению поврежденного позвоночно-двигательного сегмента на грудном и поясничном отделах и моделированию позвоночника к исходному не поврежденному состоянию.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. **Conflict of interest.** The author declares no conflict of interest.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки. **Financing.** The study was performed without external funding.

Соблюдение прав пациентов и правил биоэтики. Все пациенты подписали информированное согласие на участие в исследовании. **Compliance with patient rights and principles of bioethics.** All patients gave written informed consent to participate in the study

ORCID авторов / ORCID of authors

Усиков Владимир Дмитриевич/Usikov Vladimir Dmitrievich
<https://orcid.org/0000-0002-0548-8944>

Куфтов Владимир Сергеевич/Kuftov Vladimir Sergeevich
<https://orcid.org/0000-0002-4125-3181>

Монашенко Дмитрий Николаевич/
Monashenko Dmitrii Nikolaevich
<https://orcid.org/0000-0002-8571-1447>

Долгушин Артем Андреевич/Dolgushin Artem Andreevich
<https://orcid.org/0000-0001-8974-1953>

Литература/References

1. Аксенова О.А., Чаплыгина Е.В., Бабаев М.В., Орлова С.В., Сикоренко Т.М., Самохина О.С. Возможности и перспективы использования методов лучевой диагностики при изучении анатомии позвоночного столба. Журнал анатомии и гистопатологии. 2017;6(3):111–116. [Aksenova O.A., Chaplygina E.V., Babaeva M.V., Orlova S.V., Sikorenko T.M., Samohina O.S. Opportunities and prospects of radiation diagnostic methods in the study of the anatomy of the spinal column. Journal of Anatomy and Histopathology. 2017;6(3):111–116. (In Russ.)] <https://doi.org/10.18499/2225-7357-2017-6-3-111-116>
2. Анисимов Д.И. Корреляции размеров позвоночного столба, его отделов и отдельных позвонков взрослых людей. Известия высших учебных заведений Поволжский регион. Медицинские науки. 2013; 1: 5–10. [Anisimov D.A. Correlations of the size of the spinal column, its divisions and individual vertebrae in adults. News of higher educational institutions Volga region. Medical Sciences. 2013; 1: 5–10. (In Russ.)]
3. Анисимова Е.А., Николенко В.Н., Островский В.В., Тома А.И. Морфометрическое обоснование выбора метода хирургической коррекции повреждений грудного отдела позвоночного столба // Саратовский научно-медицинский журнал. — 2009. — Т. 5. — № 2. — С. 254–260. [Anisimova E.A., Nikolenko V.N., Ostrovski V.V., Toma A.I. Morphometric substantiation of the choice of the method of surgical correction of injuries of the thoracic spine // Saratov Journal of Medical Scientific Research. — 2009. — V.5. — No. 2. — p. 254–260. (In Russ.)]
4. Бублик Л.А., Лихолетов А.Н. Экспериментальное биомеханическое обоснование транс-педикулярного спондилодеза с вертебропластикой на основе изучения конечноэлементной модели фрагмента позвоночного столба. Травма. 2014; 15 (1): 66–73. [Bublik L.A., Liholeto A.N. Experimental biomechanical substantiation of transpedicular fusion with vertebroplasty based on the study of a finite element model of a spinal column fragment. Injury. 2014; 15(1):66–73. (In Russ.)]
5. Волков А.А., Белосельский Н.Н., Прибытков Ю.Н. Рентгеновая морфометрия межпозвонковых пространств позвоночного столба в норме и при дистрофических изменениях межпозвонковых дисков. Вестник рентгенологии и радиологии. 2015;(3):23–30. [Volkov A.A., Beloselski N.N., Pribytkov Yu.N. X-ray morphometry of the intervertebral spaces of the spinal column in the norm and with degenerative changes in the intervertebral discs. Bulletin of radiology and radiology. 2015;(3):23–30.] <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2015-0-3-23-30>.
6. Давыдов Е.А., Назаров А.С., Тюлькин О.Н. Применение межостистого дистрактора из нитинола при хирургическом лечении сегментарной нестабильности в поясничном отделе позвоночника. Хирургия позвоночника. — 2015. — Т. 12. — № 1. — С. 76–82. — DOI 10.14531/ss2015.1.69–75. — EDN TODHXX. [Davidov E.A., Nazarov A.S., Tyulkin O.N. The use of an interspinous distractor made of nitinol in the surgical treatment of segmental instability in the lumbar spine. — 2015. — T. 12. — No. 1. — S. 76–82. — DOI 10.14531/ss2015.1.69–75. — EDN TODHXX.]
7. Breglia DP. Generation of a 3-D Parametric solid model of the human spine using anthropomorphic parameters. Master thesis, 2006, Ohio University, OH.
8. Fletcher, J. G. R., Stringer, M. D., Briggs, C. A., Davies, T. M., & Woodley, S. J. (2015). CT morphometry of adult thoracic intervertebral discs. European Spine Journal, 24(10), 2321–2329. doi:10.1007/s00586–015–3925-y.
9. Chou SH, Vokes T. Vertebral Morphometry. J Clin Densitom. 2016 Jan-Mar;19(1):48–53. doi: 10.1016/j.jocd.2015.08.005.
10. Kunk el ME, Schmidt H, Wilke H-J. 2010 Prediction equations for human thoracic and lumbar vertebral morphometry. J. Anat. 216, 320–328. doi:10.1111/j.1469–7580.2009.01187.x
11. Narloch J, Glinkowski W. Software-assisted morphometry and volumetry of the lumbar spine. Neurol Neurochir Pol (2016), <http://dx.doi.org/10.1016/j.pjnns.2016.01.010>
12. Turner JD, Akbarnia BA, Eastlack RK, Bagheri R, Nguyen S, Pimenta L, Marco R, Deviren V, Uribe J, Mundis GM Jr. Radiographic outcomes of anterior column realignment for adult sagittal plane deformity: a multicenter analysis. Eur Spine J. 2015 Apr;24 Suppl 3:427–32. doi: 10.1007/s00586-015-3842-0.