



МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ САГИТТАЛЬНОГО ПОЗВОНОЧНО-ТАЗОВОГО БАЛАНСА

С.К. Макиров, А.А. Юз, М.Т. Джахаф

Российская медицинская академия последипломного образования, Москва

Цель исследования. Анализ методики оценки параметров сагиттального позвоночно-крестцового баланса, основанной на геометрической оценке поясничного отдела позвоночника и крестца.

Материал и методы. В исследовании приняли участие 100 пациентов, разделенных на две группы. В основную группу вошли 54 пациента с диагнозом «поясничный спинальный стеноз» на уровне L₁–L₅ позвонков, в контрольную — 46 здоровых испытуемых. Все пациенты обследованы при помощи МРТ. Поясничный лордоз был принят за дугу окружности и описывался не только анатомическими (угол лордоза), но и геометрическими (длина хорды, высота сегмента окружности, центральный угол сегмента, радиус) параметрами. У пациентов измеряли два крестцовых параметра: угол наклона и угол отклонения крестца, характеризующие его расположение в горизонтальной и вертикальной плоскости соответственно.

Результаты. Выявлена значимая корреляция между анатомическими и геометрическими позвоночно-крестцовыми параметрами. При сравнении основной и контрольной групп выявлены значимые различия значений параметров длины хорды, высоты сегмента и угла отклонения таза. Предложены дополнительные параметры: поясничный коэффициент как отношение угла лордоза к центральному углу сегмента и крестцовый коэффициент как отношение угла наклона к углу отклонения крестца. Модуль математической разности между крестцовым и поясничным коэффициентами использовали для оценки позвоночно-крестцового баланса. Выявлены статистически значимые различия между группами для предложенных параметров.

Заключение. Предложенная методика показала высокую чувствительность при дегенеративных заболеваниях позвоночного столба и может обладать высокой прогностической ценностью.

Ключевые слова: позвоночно-тазовый сагиттальный баланс, поясничный лордоз, угол лордоза.

Для цитирования: Макиров С.К., Юз А.А., Джахаф М.Т. Методика оценки параметров сагиттального позвоночно-тазового баланса // Хирургия позвоночника. 2015. Т. 12. № 3. С. 55–63.
DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2015.3.55-63>.

METHOD OF ASSESSING THE PARAMETERS
OF THE SAGITTAL SPINAL PELVIC BALANCE
S.K. Makirov, A.A. Yuz, D.M. Jahaf

Objective. To analyze the method of assessing the parameters of the sagittal spinal sacral balance based on geometric evaluation of the lumbar spine and sacrum.

Material and Methods. The study included 100 patients divided into two groups. The study group included 54 patients with lumbar spinal stenosis at the L₁–L₅ level, and the control group — 46 healthy volunteers. All patients were examined by MRI. Lumbar lordosis was considered as a circular arc and described by both anatomical (lordosis angle) and geometrical (the chord length, the height of the circle segment, the central angle of the segment, and the circular radius) parameters. Two sacral parameters were measured: sacral slope and sacral inclination angles, characterizing the sacrum position in horizontal and vertical planes, respectively.

Results. The study revealed a significant correlation between anatomical and geometrical spinal sacrum parameters. The comparison of the study and control groups revealed significant differences in the parameters of the chord length, the height of the circle segment, and the sacral inclination angle. Two additional parameters were proposed: lumbar coefficient, as a ratio of the lordosis angle and the central angle of the segment; and sacral coefficient, as a ratio of the sacral slope and the sacral inclination angle. A modulus of the mathematical difference between sacral and lumbar coefficients was used to assess spinal sacral balance. Statistically significant differences for proposed coefficients were detected between groups.

Conclusion. The proposed method demonstrated a high sensitivity for degenerative diseases of the spine and may possess a high prognostic value.

Key Words: sagittal spinal pelvic balance, lumbar lordosis, lordosis angle.

Please cite this paper as: Makirov SK, Yuz AA, Jahaf DM. Method of assessing the parameters of the sagittal spinal pelvic balance. Hir. Pozvonoc. 2015;12(3):55–63. In Russian.
DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2015.3.55-63>.

Прямохождение позволило человеку достичь интеллектуального, технологического и социального развития. Однако переход к прямохождению оказался возможным только через морфологическую адаптацию скелета, в частности нижних конечностей, таза и позвоночника. Таз по сути является ключевым звеном всех преобразований, выступая в качестве свободного базиса и подвергаясь действию силы тяжести от позвоночного столба, а также силе реакции опоры, передаваемой через головки тазобедренных суставов. Параллельно с адаптацией таза появление изгибов позвоночного столба позволило достичь баланса для снижения стрессовых нагрузок на мышечно-связочные структуры и снизить силу мышечных сокращений, необходимых для его поддержания.

Поясничный лордоз – ключевой компонент в формировании позы человека, на протяжении многих лет интересующий как клиницистов, так и исследователей. Несмотря на широкое использование параметра для оценки постуральных нарушений, многие вопросы, касающиеся изменений поясничного лордоза, до сих пор остаются без ответов. В научных исследованиях продемонстрирован рост признания функционального и клинического значения поясничного лордоза [1, 8, 10, 12, 22], который является ключевым элементом в поддержании сагиттального баланса.

Сагиттальный баланс, или нейтральное вертикальное выравнивание позвоночника в сагиттальной плоскости, – это основная цель хирургических, эргономических и физиотерапевтических процедур. В положении стоя сагиттальный баланс весьма хрупок: все стрессовые нагрузки от действия силы тяжести сохраняются во всех компонентах данной вертикальной системы. Динамическое управление центром тяжести является крайне важным, поскольку в положении стоя любое нарушение баланса вызывает негативные эффекты, включая болевой синдром и анатомические нарушения.

Принятым критериям сагиттального баланса соответствует большой диапазон значений грудного и поясничного изгибов (50 мм разброс для C₇–S₁ у здоровых пациентов) [18, 28]. Этот факт сильно усложняет изучение позвоночника или достижение хирургами, исследователями, клиницистами и пациентами схожих целей в формировании оптимальной осанки [15].

Цель исследования – анализ методики оценки параметров сагиттального позвоночно-тазового баланса, основанной на геометрических параметрах поясничного отдела позвоночника и крестца.

Материал и методы

В исследовании приняли участие 100 пациентов (71 % женщин, 29 % мужчины). Средний возраст пациентов 53,5 года. Пациенты были разделены на две группы. В основную группу вошли 54 пациента (средний возраст 58,2 года) с диагнозом «поясничный спинальный стеноз» на уровне L₁–L₅ позвонков, в контрольную – 46 здоровых испытуемых (средний возраст 48 лет) без каких-либо жалоб, характерных для патологии позвоночного столба. Всем пациентам выполняли МРТ в положении лежа на спине.



Рис. 1

Сагиттальные позвоночно-тазовые параметры: L – длина дуги окружности; C – длина хорды; h – высота сегмента; r – радиус окружности; α – центральный угол; β – угол лордоза; SS – угол наклона крестца; SD – угол отклонения крестца

Предположим, что поясничный лордоз есть длина дуги окружности (L), проходящей через верхний передний угол L₁ позвонка (точка А) и верхний передний угол S₁ позвонка (точка В). Построим прямую, проходящую через точки А и В. Для дуги окружности данная прямая есть хорда (С) окружности, отделяющая от окружности дугу, находящуюся между двумя крайними точками хорды. Часть круга, ограниченная дугой (L) и хордой (С) есть круговой сегмент. Разделим хорду на два равных отрезка, построив из данной точки перпендикуляр h от хорды к дуге окружности. Перпендикуляр h есть высота кругового сегмента. Зная высоту сегмента (h) и длину хорды (С), радиус окружности рассчитываем по формуле:

$$r = h/2 + C^2 / 8h,$$

где r – радиус окружности, h – высота сегмента, С – длина хорды.

Далее находим угол сегмента окружности по формуле:

$$\alpha = 2\arcsin(C / 2r).$$

Длину дуги окружности определяем по формуле:

$$L = \alpha r,$$

где L – длина дуги окружности, α – угол сегмента, r – радиус окружности.

Все угловые величины выражали в градусах. Помимо геометрических параметров, у всех пациентов определяли анатомические параметры позвоночно-тазового сагиттального баланса: угол лордоза, угол наклона крестца, угол отклонения крестца.

Угол лордоза определяли как угол между верхней замыкательной пластинкой тела L₁ и верхней замыкательной пластинкой тела S₁ позвонка.

Угол наклона крестца (SS, от англ. Sacral Slope) – угол между горизонтальной плоскостью и верхней замыкательной пластинкой S₁ позвонка.

Угол отклонения крестца (SD, от англ. Sacral Deviation) – угол между перпендикуляром, опущенным

от верхней замыкательной пластинки S₁ позвонка к вентральному краю диска S₁–S₂ сегмента, и вертикальной плоскостью. Данный параметр впервые предложен в настоящей работе.

Графическое отображение измеряемых параметров представлено на рис. 1.

У всех пациентов измеряли следующие параметры: угол лордоза, длину хорды, высоту сегмента, угол наклона крестца, угол отклонения крестца. Измерения производили при помощи программы «RadiAnt DICOM Viewer» (Польша). Данные измерений вносили в программу «Microsoft Excel 2007», где по приведенным формулам автоматически рассчитывали остальные параметры. Статистическую обработку данных выполняли в программе «IBM SPSS Statistics Version 19».

Результаты

Результаты описательного статистического анализа позвоночно-тазовых сагиттальных параметров представлены в табл. 1.

Распределение анатомических и геометрических позвоночно-тазовых параметров представлено на рис. 2. Для всех рассчитанных параметров определяли коэффициенты линейной парной корреляции Пирсона (табл. 2).

Так как распределение геометрических и анатомических параметров не всегда подчиняется нормально-

му (гауссовскому) распределению, для оценки значимости различий между двумя группами по измеряемым параметрам мы использовали U-критерий Манна – Уитни – непараметрический статистический тест для оценки различий между двумя независимыми выборками по уровню какого-либо признака, измеренного количественно (табл. 3).

Как видно из полученных данных, различия для параметров «длина хорды», «высота сегмента» и «отклонение крестца» являются статистически значимыми между основной и контрольной группами с уровнем значимости p < 0,05.

Отмечается значимая корреляция между анатомическими и геометрическими параметрами позвоночного столба, а также между тазовыми и позвоночными параметрами с уровнем значимости p > 0,0001 (выделено цветом). Однако основная и контрольная группы не различаются между собой по абсолютным значениям угловых величин позвоночно-тазового комплекса. Для уменьшения разброса значений и упрощения интерпретации результатов мы использовали коэффициенты отношения углов, взятых в пределах одной анатомической области:

1) отношение угла лордоза к центральному углу (поясничный коэффициент; K₁ = β / α);

Таблица 1

Описательные статистики позвоночно-тазовых сагиттальных параметров (n = 100)

| Параметры | Min | Max | Среднее | Стандартное отклонение |
|-----------------------|--------|--------|---------|------------------------|
| Геометрические | | | | |
| Длина дуги | 149,48 | 219,03 | 187,47 | 12,47 |
| Хорда | 146,70 | 214,90 | 180,40 | 12,79 |
| Высота сегмента | 5,30 | 37,20 | 20,62 | 7,52 |
| Радиус окружности | 110,40 | 711,00 | 243,80 | 107,80 |
| Центральный угол | 14,00 | 95,65 | 51,54 | 19,14 |
| Анатомические | | | | |
| Угол лордоза | 17,40 | 75,50 | 48,07 | 12,31 |
| Наклон крестца | 4,30 | 65,30 | 37,95 | 12,99 |
| Отклонение крестца | 16,70 | 72,20 | 46,47 | 16,48 |

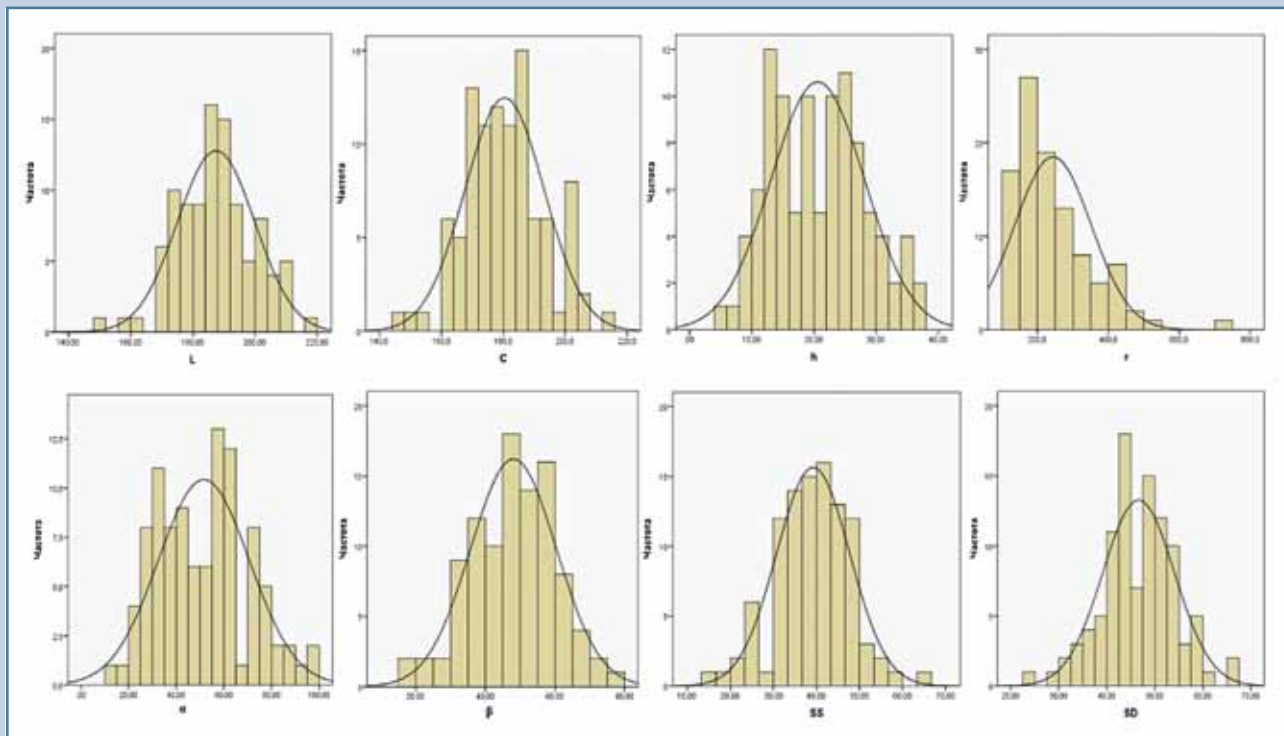


Рис. 2

Распределение анатомических и геометрических позвоночно-тазовых параметров: L – длина дуги окружности; C – длина хорды; h – высота сегмента; r – радиус окружности; α – центральный угол; β – угол лордоза; SS – угол наклона крестца; SD – угол отклонения крестца

Таблица 2

Матрица коэффициентов линейной парной корреляции позвоночно-тазовых сагиттальных параметров

| Параметры | | L | C | h | r | α | β | SS | SD |
|-----------|-----------------|--------|--------|--------|-------|----------|---------|--------|--------|
| L | Корреляция | 1 | 0,088 | -0,049 | 0,012 | 0,044 | 0,056 | -0,046 | -0,026 |
| | Знч. (2-сторон) | | 0,384 | 0,627 | 0,906 | 0,665 | 0,582 | 0,652 | 0,797 |
| C | Корреляция | 0,088 | 1 | -0,88 | -0,34 | -0,710 | -0,671 | -0,64 | -0,332 |
| | Знч. (2-сторон) | 0,384 | | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,001 |
| h | Корреляция | -0,049 | -0,882 | 1 | 0,116 | 0,69 | 0,66 | 0,686 | 0,365 |
| | Знч. (2-сторон) | 0,627 | 0,000 | | 0,249 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| r | Корреляция | 0,012 | -0,343 | 0,116 | 1 | 0,537 | 0,484 | 0,26 | 0,068 |
| | Знч. (2-сторон) | 0,906 | 0,000 | 0,249 | | 0,000 | 0,000 | 0,010 | 0,499 |
| α | Корреляция | 0,044 | -0,710 | 0,694 | 0,537 | 1 | 0,991 | 0,812 | 0,562 |
| | Знч. (2-сторон) | 0,665 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| β | Корреляция | 0,056 | -0,671 | 0,658 | 0,484 | 0,991 | 1 | 0,817 | 0,606 |
| | Знч. (2-сторон) | 0,582 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | | 0,000 | 0,000 |
| SS | Корреляция | -0,046 | -0,639 | 0,686 | 0,256 | 0,812 | 0,817 | 1 | 0,613 |
| | Знч. (2-сторон) | 0,652 | 0,000 | 0,000 | 0,010 | 0,000 | 0,000 | | 0,000 |
| SD | Корреляция | -0,026 | -0,332 | 0,365 | 0,068 | 0,562 | 0,606 | 0,613 | 1 |
| | Знч. (2-сторон) | 0,797 | 0,001 | 0,000 | 0,499 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | |

L – длина дуги окружности; C – длина хорды; h – высота сегмента; r – радиус окружности; α – центральный угол; β – угол лордоза; SS – угол наклона крестца; SD – угол отклонения крестца.

Таблица 3

Ранги и статистика U-критерия Манна – Уитни для основной (n = 54) и контрольной (n = 46) групп

| Параметры | Группа | Средний ранг | Сумма рангов | U-критерий | W-критерий | Z | Уровень значимости |
|-------------------------|-------------|--------------|--------------|------------|------------|--------|--------------------|
| Длина хорды | Основная | 43,89 | 2370,00 | 885,00 | 2370,00 | -2,469 | 0,014 |
| | Контрольная | 58,26 | 2680,00 | | | | |
| Высота сегмента | Основная | 57,21 | 3089,50 | 879,50 | 1960,50 | -2,507 | 0,012 |
| | Контрольная | 42,62 | 1960,50 | | | | |
| Радиус окружности | Основная | 47,10 | 2543,50 | 1058,50 | 2543,50 | -1,269 | 0,204 |
| | Контрольная | 54,40 | 2506,50 | | | | |
| Угол лордоза | Основная | 47,18 | 2547,50 | 1062,50 | 2547,50 | -1,242 | 0,214 |
| | Контрольная | 54,40 | 2502,50 | | | | |
| Центральный угол | Основная | 45,92 | 2479,50 | 994,50 | 2479,50 | -1,712 | 0,087 |
| | Контрольная | 55,88 | 2570,50 | | | | |
| Длина дуги окружности | Основная | 49,69 | 2683,50 | 1198,50 | 2683,50 | -0,301 | 0,764 |
| | Контрольная | 51,45 | 2366,50 | | | | |
| Угол наклона крестца | Основная | 49,55 | 2675,50 | 1190,50 | 2675,50 | -0,356 | 0,722 |
| | Контрольная | 51,62 | 2347,50 | | | | |
| Угол отклонения крестца | Основная | 40,09 | 2165,00 | 680,00 | 2165,00 | -3,887 | 0,000 |
| | Контрольная | 62,72 | 2885,00 | | | | |

2) отношение угла наклона крестца к углу отклонения крестца (крестцовый коэффициент; $K_s = SS / SD$);

3) для сравнения двух групп использовался параметр «позвоночно-крестцовый баланс», представляющий собой модуль математической

разности крестцового и поясничного коэффициентов ($LSB = |K_s - K_l|$).

Средние значения описанных коэффициентов для основной и контрольной групп представлены в табл. 4.

Для сравнения основной и контрольной групп по предложенным

параметрам также использовали U-критерий Манна – Уитни (табл. 5).

Как видно из приведенных данных, основная и контрольная группы статистически достоверно различаются по значениям крестцового и поясничного коэффициентов, а также по значению параметра «позвоночно-крестцовый баланс». При этом для основной группы пациентов среднее значение параметра составляет 0,19, а для контрольной – 0,36.

Обсуждение

Поясничный лордоз – это вентрально ориентированный изгиб поясничного

Таблица 4

Сравнение средних величин коэффициентов K_s , K_l , LSB для основной и контрольной групп

| Группа | | K_s | K_l | LSB |
|-------------|------------------------|-------|-------|------|
| Основная | Среднее | 0,87 | 0,88 | 0,19 |
| | Стандартное отклонение | 0,17 | 0,22 | 0,16 |
| Контрольная | Среднее | 0,81 | 1,15 | 0,36 |
| | Стандартное отклонение | 0,11 | 0,24 | 0,28 |

Таблица 5.

Ранги и статистика U-критерия Манна – Уитни величин K_s , K_l , LSB для основной (n = 54) и контрольной (n = 46) групп

| Коэффициент | Группа | Средний ранг | Сумма рангов | U-критерий | W-критерий | Z | Уровень значимости |
|-------------|-------------|--------------|--------------|------------|------------|--------|--------------------|
| K_s | Основная | 57,17 | 3087,0 | 882,00 | 1963,00 | -2,491 | 0,013 |
| | Контрольная | 42,67 | 1963,0 | | | | |
| K_l | Основная | 36,67 | 1980,0 | 495,00 | 1980,00 | -5,168 | 0,0001 |
| | Контрольная | 66,74 | 3070,0 | | | | |
| LSB | Основная | 41,69 | 2251,0 | 766,50 | 2251,50 | -3,289 | 0,001 |
| | Контрольная | 60,84 | 2798,0 | | | | |

отдела позвоночника, сформированный благодаря клиновидной форме межпозвонковых дисков и тел позвонков [38, 39]. На форму поясничного лордоза в равной степени влияет форма тел позвонков и межпозвонковых дисков; на каждую из этих структур приходится около 50 % вариативности угла лордоза у взрослых [5, 13]. Другими словами, каждый из пяти позвоночных поясничных сегментов (тело позвонка и смежный межпозвонковый диск) обуславливает форму лордоза, причем наибольший вклад (около 40 %) оказывает сегмент L₅, а сегмент L₁ – только 5 % [4]. Угол лордоза имеет значимую корреляцию с ориентацией нижних суставных отростков: чем больше угол лордоза, тем более горизонтально расположены нижние суставные фасетки по отношению к телам позвонков [7].

Поясничный лордоз, как правило, описывается анатомическим параметром «угол лордоза». В литературе отмечена значимая корреляция между углом лордоза и другими постуральными величинами. Существует серьезная терминологическая путаница в отношении обозначения геометрических параметров таза и грудной клетки [29, 33, 35].

В большом количестве исследований оценивалась связь между поясничным лордозом и дегенеративными изменениями позвоночника [8, 12, 20, 26, 27, 30, 32, 34]. Большинство исследователей сошлось во мнении, что угол поясничного лордоза ассоциирован со спондилолизом и истмическим спондилолистезом [3, 6, 12, 21, 25, 34]. Увеличенный угол лордоза рассматривается как фактор риска прогрессирования спондилолиза и вентрального смещения пораженного позвонка.

Ряд исследователей сообщает, что изменение позвоночного баланса и кривизны лордоза приводит к раннему развитию остеоартроза и дегенерации межпозвонковых дисков [23, 37]. Однако данный вопрос спорный. Так, в двух исследованиях изучалась связь между углом лордоза и остеоартрозом фасеточных суставов в популяции греков и американцев [24, 30]. Статистиче-

ски значимых различий между углом лордоза и остеоартрозом не выявлено. Схожие результаты были получены Lin et al. [27] в китайской популяции. Эти данные доказывают, что величина поясничного лордоза не является ни последствием, ни причиной развития артроза фасеточных суставов.

Одним из фундаментальных вопросов, посвященных оценке поясничного лордоза, является число измеряемых позвоночных поясничных сегментов. Наиболее часто измеряются все поясничные сегменты (L₁–L₅), при этом верхней границей угла является верхняя замыкательная пластинка тела L₁, нижней – замыкательная пластинка тела S₁. Тем не менее некоторые исследователи описывают методику измерения, начиная от Th₁₀ сегмента. Другие авторы называют конечной точкой измерения L₃ позвонок. Ряд авторов не включает в измерение нижний поясничный сегмент или позвонковый диск L₅–S₁. Подобные различия в трактовке понятия обуславливают появление существенной разницы в литературных данных, посвященных измерению поясничного лордоза. В работе мы использовали стандартный метод измерения сегментов L₁–L₅ как анатомически обоснованный и наиболее часто используемый [2, 14, 24, 34, 36]. Кроме того, с функциональной точки зрения, пять поясничных сегментов играют фундаментальную роль в поддержании позы при прямохождении [19].

Предложено множество методик измерения угла лордоза на стандартных рентгенограммах. Метод Cobb и его модификации на сегодняшний день являются золотым стандартом [40]. Методика заключается в том, что ориентирами для измерения угла на сагиттальных рентгенограммах являются линии замыкательных пластинок позвонков. Метод очень прост в исполнении и показал высокую достоверность. Одним из ограничений для использования методики является ситуация, когда угол лордоза остается одинаковым, несмотря на различия в величине изгиба у разных индивидов. В таких случаях используются методы, основанные

на измерении угла лордоза через различные анатомические ориентиры на телах позвонков. Более детальное описание подобных методик приводят Vrtovec et al. [40].

Рядом авторов предлагались геометрические модели поясничного отдела позвоночника, основанные на предположении, что поясничный лордоз является сегментом дуги окружности. Так, Vaz et al. [38] предложили метод моделирования сагиттальных изгибов позвоночного столба при помощи двух касательных к дуге окружности. Позвоночные изгибы (поясничный лордоз и грудной кифоз) авторы представили как две дуги окружности, касательными к которым являлись вершины грудного кифоза и поясничного лордоза соответственно. Авторы пришли к выводу, что метод является полезным для оценки общей геометрии позвоночника, особенно в случае ограниченного обзора на рентгенограммах. Pinel-Giroux et al. [31] подтвердили, что метод является хорошей альтернативой углу Cobb, выявив сильную корреляцию между методами. Аналогичное предположение о том, что поясничный лордоз является дугой окружности, высказывали Berthonnaud et al. [9].

Дуга окружности, с точки зрения геометрии, есть одно из двух подмножеств окружности, на которые ее разбивают любые две различные принадлежащие ей точки. В нашем случае такими точками являются верхний передний угол тел L₁ и S₁ позвонков. Секущая линия, проведенная через эти точки, будет являться хордой для данного сегмента окружности, а фигура, заключенная между кривой и хордой, – сегментом окружности. Дуга окружности описывается рядом геометрических параметров: центральным углом сегмента, радиусом окружности, высотой сегмента и длиной хорды. Для расчета всех параметров достаточно двух: длины хорды и высоты сегмента. Все остальные параметры рассчитываются по математическим формулам, приведенным в разделе «Материал и методы». После расчета центрального угла сегмента и угла лордоза проведен корреляционный анализ,

результаты которого представлены в табл. 2. Из приведенных данных видно, что угол лордоза и угол сегмента показывают сильную корреляцию как между собой, так и с другими анатомическими и геометрическими позвоночно-тазовыми параметрами.

Отсутствие корреляционных связей между длиной дуги окружности и позвоночно-тазовыми параметрами, по нашему мнению, объясняется наличием геометрических закономерностей между указанными параметрами, которые не всегда отражаются на корреляционном анализе. Тем не менее при сравнении двух групп значимые различия выявлены между позвоночными параметрами «длина хорды» и «высота сегмента», которые являются ключевыми для расчета длины дуги окружности. Однако ни по длине дуги окружности, ни по значениям углов группы не различаются. Отсутствие корреляции между дегенеративными изменениями позвоночного столба и углом лордоза хорошо соотносится с данными, полученными другими исследователями.

Не менее важным условием нормальной статики у человека является положение крестца, так как угол его наклона по отношению как к горизонтальной плоскости, так и к поясничным позвонкам определяет форму дуги поясничного лордоза. Первое точное описание геометрических параметров таза было представлено Duval-Beaupere et al. [11, 16, 17]. Эти исследования позволили описать геометрию таза и связь геометрических параметров таза с его расположением в пространстве. В литературе существует серьезная терминологическая путаница в отношении параметров наименования геометрических параметров таза, так как для разных параметров используются синонимичные термины, идентичные при переводе на русский язык.

Ключевым параметром таза является угол наклона таза (PI, от англ. Pelvic Incidence) – угол между перпендикуляром, проведенным к замыкательной пластинке крестца, и линией, соединяющей центр замыкательной пла-

стинки S_1 с центром головок бедренных костей. Для описания положения крестца в горизонтальной плоскости используется параметр «угол наклона крестца» (SS, от англ. Sacral Slope) – угол между замыкательной пластиной тела S_1 и горизонтальной плоскостью.

На наш взгляд, параметр PI является не совсем удачным для описания положения таза в пространстве по ряду причин. Во-первых, стандартные рентгенограммы пояснично-крестцового отдела позвоночника не позволяют визуализировать головки тазобедренных суставов, что делает затруднительным определение параметра без использования специальных укладок. Во-вторых, что гораздо важнее, данный параметр определяет отношение крестца к головкам тазобедренных суставов, являющихся, по сути, частью той же биологической системы, в которой расположен сам крестец. Другими словами, параметр описывает расположение костных структур таза относительно друг друга, но не описывает положение таза в пространстве. Кроме того, не ясным остается вопрос измерения данного параметра при ассиметричном расположении головок тазобедренных суставов.

Чтобы описать положение тела в пространстве, в первую очередь, необходимо привязать это тело к прямоугольной (декартовой) системе координат с взаимно перпендикулярными осями на плоскости или в пространстве. Она является наиболее часто используемой, поскольку очень легко и прямо обобщается для пространств любой размерности. Для горизонтальной оси расположение крестца определяется параметром SS. Для описания расположения крестца по вертикальной оси использовали параметр, названный нами углом отклонения крестца (SD), – угол между осью крестца и вертикальной плоскостью. Под термином «ось крестца» понимаем линию, проведенную от центра замыкательной пластинки S_1 до вентральной поверхности диска S_2-S_3 . Этот анатомический ориентир хорошо визуализируется на рентгенограммах и на МРТ и является постоян-

ным. Данный параметр использовали в работе как геометрический тазовый параметр.

По данным статистического анализа, параметр SD показал хорошую корреляцию с анатомическими и геометрическими позвоночно-тазовыми параметрами (табл. 2). Кроме того, что более важно, между основной и контрольной группами отмечены статистически значимые различия в значении данного параметра, что не только доказывает его диагностическую, но и прогностическую ценность в развитии дегенеративных изменений поясничного отдела позвоночника (табл. 5).

Последнее время в литературе активно обсуждается понятие сагиттального позвоночно-тазового баланса. Термин впервые был предложен Duval-Beaupere et al. [17]. Авторы пришли к выводу, что в вертикальном положении тела парциальные центры тяжести располагаются таким образом, чтобы координаты общего центра массы были константными, а ось гравитации постоянно располагается несколько кзади (35 мм) от бикоксофеморальной оси. Неоднократно предпринимались попытки создания способа количественной оценки позвоночно-тазового баланса для прогностического анализа и улучшения результатов оперативного лечения пациентов с патологией поясничного отдела позвоночника. Тем не менее данные авторов в значительной степени разнятся, отсутствуют четкие формулировки и валидные методики.

Целью нашего исследования явилась разработка простого, понятного и надежного способа количественной оценки позвоночно-тазового баланса. В основе способа лежат данные методов медицинской визуализации и оценка их геометрических и статистических закономерностей. Для основных компонентов позвоночно-тазового комплекса в сагиттальной плоскости получены пары угловых величин: для поясничного отдела позвоночника это угол лордоза и центральный угол сегмента, для крестца – угол наклона и угол

отклонения крестца. Для каждой анатомической области рассчитан коэффициент отношения угловых величин: для поясничного отдела позвоночника коэффициент отношения угла лордоза к углу сегмента (поясничный коэффициент), для крестцового отдела – отношение угла наклона к углу отклонения крестца (крестцовый коэффициент). Для количественной оценки параметров сагиттально-позвоночно-тазового баланса мы предложили модуль математической разности между значением тазового и крестцового коэффициентов.

Для основной и контрольной групп были определены средние значения всех рассчитываемых коэффициентов, а также выполнен статистический анализ на предмет значимости различий между группами по определяемым параметрам. Средние значения между группами существенно различаются, о чем свидетельствуют данные табл. 4. Результаты, представленные в табл. 5, свидетельствуют о статистической значимости различий с высоким уровнем значимости.

Основываясь на данных статистического анализа, можно полагать, что при значении параметра

LSB менее 0,19 имеется значительное нарушение сагиттально-позвоночно-тазового баланса. При значении LSB от 0,20 и выше можно говорить о нормальном позвоночно-тазовом балансе. Следует отметить, что для основной группы встречаемость значений в патологическом диапазоне (от 0,20 и ниже) составляет 67 % (18 из 54 испытуемых). В то же время для контрольной группы встречаемость значений нормального диапазона составляет 71,1 % (13 из 45 испытуемых). Отсюда можно сделать вывод, что не всегда нарушение позвоночно-тазового баланса приводит к формированию выраженных дегенеративных изменений позвоночного столба. Однако, что гораздо важнее, не у всех людей с отсутствием жалоб позвоночно-тазовый баланс следует расценивать как нормальный. Данный факт может иметь существенное прогностическое значение для развития заболеваний позвоночного столба и оценке результатов оперативного лечения.

Заключение

Изучение геометрических аспектов поясничного лордоза является необ-

ходимым этапом оценки статики человека. Геометрические параметры не только определяют распределение нагрузок на поясничный отдел позвоночника, но и имеют сильную связь с анатомическими параметрами позвоночно-тазового комплекса.

На основании оценки геометрических и анатомических параметров позвоночно-тазового комплекса разработана методика оценки сагиттально-позвоночно-крестцового баланса, позволяющая получить простое математическое отражение как взаимоотношения структур данной биологической системы, так и анатомических и геометрических позвоночно-крестцовых параметров.

Применение методики в рамках проведенного исследования показало обнадеживающие результаты, наглядно демонстрирующие различие между нормальным и патологически измененным позвоночно-крестцовым комплексом. Тем не менее требуется проведение дополнительных исследований, направленных на оценку чувствительности и специфичности предложенной методики. Этому будут посвящены дальнейшие исследования.

Литература/References

- Adams MA, Mannion AF, Dolan P. Personal risk factors for first time low back pain. *Spine*. 1999;24:2497–2505. DOI: 10.1097/00007632-199912010-00012.
- Andreasen ML, Langhoff L, Jensen TS, Albert HB. Reproduction of the lumbar lordosis: a comparison of standing radiographs versus supine magnetic resonance imaging obtained with straightened lower extremities. *J Manipulative Physiol Ther*. 2007;30:26–30. DOI:10.1016/j.jmpt.2006.11.009.
- Antoniades SB, Hammerberg KW, DeWald RL. Sagittal plane configuration of the sacrum in spondylolisthesis. *Spine*. 2000;25:1085–1091.
- Been E, Barash A, Marom A, Kramer PA. Vertebral bodies or discs: which contributes more to human-like lumbar lordosis? *Clin Orthop Relat Res*. 2010;468:1822–1829. DOI: 10.1007/s11999-009-1153-7.
- Been E, Barash A, Pessah H, Peleg S. A new look at the geometry of the lumbar spine. *Spine*. 2010;35:E1014–E1017. DOI: 10.1097/BRS.0b013e3181dd4433.
- Been E, Li L, Hunter DJ, Kalichman L. Geometry of the vertebral bodies and the intervertebral discs in lumbar segments adjacent to spondylolysis and spondylolisthesis: pilot study. *Eur Spine J*. 2011;20:1159–1165. DOI: 10.1007/s00586-010-1660-y.
- Been E, Pessah H, Been L, Tawil A, Peleg S. New method for predicting the lumbar lordosis angle in skeletal material. *Anat Rec (Hoboken)*. 2007;290:1568–1573.
- Berlemann U, Jeszenszky DJ, Buhler DW, Harms J. The role of lumbar lordosis, vertebral endplate inclination, disc height, and facet orientation in degenerative spondylolisthesis. *J Spinal Disord*. 1999;12:68–73.
- Berthounaud E, Dimnet J. Analysis of structural features of deformed spines in frontal and sagittal projections. *Comput Med Imaging Graph*. 2007;31:9–16. DOI: 10.1016/j.compmedimag.2006.09.016.
- Booth KC, Bridwell KH, Lenke LG, Baldus CR, Blanke KM. Complications and predictive factors for the successful treatment of flatback deformity (fixed sagittal imbalance). *Spine*. 1999;24:1712–1720. DOI: 10.1097/00007632-199908150-00013.
- Boulay C, Tardieu C, Hecquet J, Benaim C, Mouilleseaux B, Marty C, Prat-Pradal D, Legaye J, Duval-Beaupere G, Pelissier J. Sagittal alignment of spine and pelvis regulated by pelvic incidence: standard values and prediction of lordosis. *Eur Spine J*. 2006;15:415–422. DOI: 10.1007/s00586-005-0984-5.
- Chen IR, Wei TS. Disc height and lumbar index as independent predictors of degenerative spondylolisthesis in middle-aged women with low back pain. *Spine*. 2009;34:1402–1409. DOI: 10.1097/BRS.0b013e31817b8fbd.
- Cheng XG, Sun Y, Boonen S, Nicholson PH, Brys P, Dequeker J, Felsenberg D. Measurements of vertebral shape by radiographic morphometry: sex differences and relationships with vertebral level and lumbar lordosis. *Skeletal Radiol*. 1998;27:380–384. DOI: 10.1007/s002560050402.

14. **Cil A, Yazici M, Uzumcugil A, Kandemir U, Alanay A, Alanay Y, Acaroglu RE, Surat A.** The evolution of sagittal segmental alignment of the spine during childhood. *Spine*. 2005;30:93–100.
15. **Claus AP, Hides JA, Moseley GL, Hodges PW.** Different ways to balance the spine: subtle changes in sagittal spinal curves affect regional muscle activity. *Spine*. 2009;34:E208–E214. DOI: 10.1097/BRS.0b013e3181908ead.
16. **Duval-Beaupere G, Legaye J.** Composante sagittale de la statique rachidienne. *Rev Rhum*. 2004;71:105–119. DOI: 10.1016/j.rhum.2003.09.018.
17. **Duval-Beaupere G, Schmidt C, Cosson P.** A Barycentremetric study of the sagittal shape of spine and pelvis: the conditions required for an economic standing position. *Ann Biomed Eng*. 1992;20:451–462. DOI: 10.1007/BF02368136.
18. **Giglio CA, Volpon JB.** Development and evaluation of thoracic kyphosis and lumbar lordosis during growth. *J Child Orthop*. 2007;1:187–193. DOI: 10.1007/s11832-007-0033-5.
19. **Gracovetsky SA, Zeman V, Carbone AR.** Relationship between lordosis and the position of the centre of reaction of the spinal disc. *J Biomed Eng*. 1987;9:237–248. DOI: 10.1016/0141-5425(87)90008-2.
20. **Harrison DD, Cailliet R, Janik TJ, Troyanovich SJ, Harrison DE, Holland B.** Elliptical modeling of the sagittal lumbar lordosis and segmental rotation angles as a method to discriminate between normal and low back pain subjects. *J Spinal Disord*. 1998;11:430–439.
21. **Huang KY, Lin RM, Lee YL, Li JD.** Factors affecting disability and physical function in degenerative lumbar spondylolisthesis of L4-5: evaluation with axially loaded MRI. *Eur Spine J*. 2009;18:1851–1857. DOI: 10.1007/s00586-009-1059-9.
22. **Jang JS, Lee SH, Min JH, Maeng DH.** Influence of lumbar lordosis restoration on thoracic curve and sagittal position in lumbar degenerative kyphosis patients. *Spine*. 2009;34:280–284. DOI: 10.1097/BRS.0b013e318191e792.
23. **Kumar MN, Baklanov A, Chopin D.** Correlation between sagittal plane changes and adjacent segment degeneration following lumbar spine fusion. *Eur Spine J*. 2001;10:314–319. DOI: 10.1007/s005860000239.
24. **Kalichman L, Li L, Hunter DJ, Been E.** Association between computed tomography–evaluated lumbar lordosis and features of spinal degeneration, evaluated in supine position. *Spine J*. 2011;11:308–315. DOI: 10.1016/j.spinee.2011.02.010.
25. **Labelle H, Roussouly P, Chopin D, Berthonnaud E, Hresko T, O'Brien M.** Spino-pelvic alignment after surgical correction for developmental spondylolisthesis. *Eur Spine J*. 2008;17:1170–1176. DOI: 10.1007/s00586-008-0713-y.
26. **Lebkowski WJ, Lebkowska U, Niedzwiecka M, Dzieciol J.** The radiological symptoms of lumbar disc herniation and degenerative changes of the lumbar intervertebral discs. *Med Sci Monit*. 2004;10(Suppl 3):112–114.
27. **Lin RM, Jou IM, Yu CY.** Lumbar lordosis: normal adults. *J Formos Med Assoc*. 1992;91:329–333.
28. **Mac-Thiong JM, Labelle H, Berthonnaud E, Betz RR, Roussouly P.** Sagittal spinopelvic balance in normal children and adolescents. *Eur Spine J*. 2007;16:227–234. DOI: 10.1007/s00586-005-0013-8.
29. **Ostrowska B, Rozek-Mroz K, Gienza C.** Body posture in elderly, physically active males. *Aging Male*. 2003;6:222–229. DOI: 10.1080/13685530312331309762.
30. **Papadakis M, Papadokostakis G, Kampanis N, Sappas G, Papadakis SA, Katonis P.** The association of spinal osteoarthritis with lumbar lordosis. *BMC Musculoskelet Disord*. 2010;11:1. DOI:10.1186/1471-2474-11-1.
31. **Pinel-Giroux FM, Mac-Thiong JM, de Guise JA, Berthonnaud E, Labelle H.** Computerized assessment of sagittal curvatures of the spine: comparison between Cobb and tangent circles techniques. *J Spinal Disord Tech*. 2006;19:507–512. DOI: 10.1097/01.bsd.0000211206.15997.dd.
32. **Rosenberg NJ.** Degenerative spondylolisthesis. Predisposing factors. *J Bone Joint Surg Am*. 1975;57:467–474.
33. **Roussouly P, Nnadi C.** Sagittal plane deformity: an overview of interpretation and management. *Eur Spine J*. 2010;19:1824–1836. DOI: 10.1007/s00586-010-1476-9.
34. **Schuller S, Charles YP, Steib JP.** Sagittal spinopelvic alignment and body mass index in patients with degenerative spondylolisthesis. *Eur Spine J*. 2011;20:713–719. DOI: 10.1007/s00586-010-1640-2.
35. **Schwab F, Patel A, Ungar B, Farcy JP, Lafage V.** Adult spinal deformity postoperative standing imbalance: how much can you tolerate? An overview of key parameters in assessing alignment and planning corrective surgery. *Spine*. 2010;35:2224–2231. DOI: 10.1097/BRS.0b013e3181ee6bd4.
36. **Suzuki H, Endo K, Kobayashi H, Tanaka H, Yamamoto K.** Total sagittal spinal alignment in patients with lumbar canal stenosis accompanied by intermittent claudication. *Spine*. 2010;35:E344–E346. DOI: 10.1097/BRS.0b013e3181c91121.
37. **Umehara S, Zindrick MR, Patwardhan AG, Havey RM, Vrbos LA, Knight GW, Miyano S, Kirincic M, Kaneda K, Lorenz MA.** The biomechanical effect of postoperative hypolordosis in instrumented lumbar fusion on instrumented and adjacent spinal segments. *Spine*. 2000;25:1617–1624. DOI: 10.1097/00007632-200007010-00004.
38. **Vaz G, Roussouly P, Berthonnaud E, Dimnet J.** Sagittal morphology and equilibrium of pelvis and spine. *Eur Spine J*. 2002;11:80–87.
39. **Vialle R, Levassor N, Rillardon L, Tempplier A, Skalli W, Guigui P.** Radiographic analysis of the sagittal alignment and balance of the spine in asymptomatic subjects. *J Bone Joint Surg Am*. 2005;87:260–267.
40. **Vrtovec T, Pernus F, Likar B.** A review of methods for quantitative evaluation of spinal curvature. *Eur Spine J*. 2009;18:593–607. DOI: 10.1007/s00586-009-0913-0.

Адрес для переписки:

Макиров Серик Калиулович
125993, Москва,
ул. Баррикадная, 2/1,
makirovsk@mail.ru

Address correspondence to:

Makirov Serik Kaliulovich
Barrikadnaya str., 2/1,
Moscow, 125993, Russia,
makirovsk@mail.ru

Статья поступила в редакцию 18.02.2015

Серик Калиулович Макиров, д-р мед. наук, проф.; Андрей Анатольевич Юз, аспирант; Мохаммед Тахер Джахаф, аспирант, Российская медицинская академия последипломного образования, Москва.
Serik Kaliulovich Makirov, MD, DMSc, Prof.; Andrey Anatolyevich Yuz, MD; Mohammed Taber Jabaf, MD, fellow, Russian Medical Academy of Postgraduate Education, Moscow, Russia.