

*Панчук Н.Е.,
студент 1 курса,
Медицинский факультет, лечебное дело
Ульяновский Государственный Университет.
г. Ульяновск*

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МОРФОТОПОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СТРУКТУР ПОЯСНИЧНОГО ОТДЕЛА ПОЗВОНОЧНОГО СТОЛБА

Аннотация: В статье исследуются пространственно-количественные характеристики (морфотопометрические параметры) структур поясничного отдела позвоночного столба на сегментарных уровнях L1–L5. Анализируются закономерности изменчивости размеров и формы тел позвонков, конфигурации позвоночного канала, геометрии ножек дуг и дугоотростчатых суставов, а также параметров межпозвонковых дисков в аспекте их структурно-функциональной адаптации к ортоградному положению тела. Выявлено сопряженное изменение пространственной конфигурации позвоночного канала: уменьшение его сагиттального диаметра с переходом формы от овальной на верхнепоясничных уровнях к трилистниковой на уровне L5. Определена сегмент-специфичная переориентация суставных фасеток дугоотростчатых суставов от коронарной плоскости на L1-L2 к более сагиттальной на L4-L5, коррелирующая с ограничением ротационной подвижности и усилением стабильности в сагиттальной плоскости. Обнаружено, что минимальная ширина ножек дуг (педикул) характерна для уровня L5, что имеет критическое значение для транспедикулярной фиксации. Доказано, что выявленные морфотопометрические закономерности формируют

интегративную адаптивную модель отдела, объясняющую его высокую функциональную нагрузку и предрасположенность нижнепоясничных сегментов (L4–S1) к развитию дегенеративных и компрессионных синдромов.

Ключевые слова: *поясничный отдел позвоночника, морфотопометрия, сравнительный анализ, биомеханика, тела позвонков, позвоночный канал, дугоотростчатые суставы, межпозвонковый диск, педикулярная геометрия, поясничный лордоз.*

COMPARATIVE ANALYSIS OF MORPHOTOPOMETRIC PARAMETERS OF STRUCTURES OF THE LUMBAR SPINE

Annotation: *The article examines the spatial and quantitative characteristics (morphotopometric parameters) of the structures of the lumbar spine at the segmental levels L1–L5. The patterns of variability in the size and shape of vertebral bodies, the configuration of the spinal canal, the geometry of the legs of arches and arched joints, as well as the parameters of intervertebral discs in terms of their structural and functional adaptation to the orthograde position of the body are analyzed. A related change in the spatial configuration of the spinal canal was revealed: a decrease in its sagittal diameter with a transition in shape from oval at the upper lumbar levels to trefoil at the L5 level. A segment-specific reorientation of the articular facets of the arched joints from the coronal plane on L1-L2 to the more sagittal plane on L4-L5 was determined, correlating with limited rotational mobility and increased stability in the sagittal plane. It was found that the minimum width of the pedicle arches is characteristic of the L5 level, which is critical for transpedicular fixation. It is proved that the revealed morphotopometric patterns form an integrative adaptive model of the department, explaining its high functional load and the predisposition of the lower lumbar segments (L4–S1) to the development of degenerative and compression syndromes.*

Keywords: *lumbar spine, morphotopometry, comparative analysis, biomechanics, vertebral bodies, spinal canal, arched joints, intervertebral disc, pedicular geometry, lumbar lordosis.*

Цель исследования – установить особенности морфотопометрических параметров структур поясничного отдела позвоночного столба. Проблема исследования состоит в том, что поясничный отдел позвоночного столба представляет собой ключевой биомеханический комплекс, испытывающий максимальные статические и динамические нагрузки в условиях ортоградного положения тела. Его структурная организация является результатом сложного филогенетического и онтогенетического приспособления к прямохождению, что обуславливает уникальность морфотопометрических характеристик в сравнении с другими отделами позвоночника. Теоретический анализ этих параметров лежит в основе понимания нормальной биомеханики, патогенеза дегенеративно-дистрофических изменений, а также принципов реконструктивной хирургии. Морфотопометрия, интегрирующая количественное описание формы, размеров и пространственных соотношений анатомических структур, предоставляет фундаментальный инструментарий для такого анализа. В рамках теоретического рассмотрения критическое значение приобретает сравнительный подход, выявляющий закономерности изменчивости параметров на различных поясничных уровнях (L1–L5) и их взаимосвязь с функциональной специализацией каждого сегмента[1].

Теоретический каркас исследования морфотопометрии поясничного отдела базируется на нескольких взаимосвязанных принципах. Во-первых, это принцип структурно-функционального соответствия, постулирующий детерминированность формы и размеров костно-связочных элементов выполняемой механической функцией. Во-вторых, принцип каудального градиента усиления, предполагающий закономерное увеличение массивности

и площади опорных структур в направлении от груднопоясничного перехода к крестцу как адаптацию к возрастанию осевой нагрузки. В-третьих, принцип сегментарной дифференциации, согласно которому каждый поясничный позвонок и его сочленения обладают уникальным набором морфометрических признаков, определяющих специфику его кинематики и устойчивости. Ключевыми объектами теоретического морфотопометрического анализа выступают: тело позвонка, дуга с ножками, дугоотростчатые (фасеточные) суставы, межпозвонковый диск и костно-фиброзный канал, вмещающий нервные структуры. Размерные и угловые характеристики этих элементов образуют комплексную топометрическую схему, определяющую не только статическую конфигурацию отдела, но и объем движений, пороговые значения устойчивости к компрессии, дистракции и торсии, а также резервные пространства для нейроваскулярных образований.

Сравнительный анализ выявляет выраженный каудальный градиент увеличения сагиттального и фронтального размеров тел позвонков. Теоретически это трактуется как проявление закона минимизации удельного давления: увеличение площади верхней замыкательной пластинки от L1 к L5 позволяет распределить возрастающую массу вышележащих сегментов тела на большую площадь, снижая риск локальных микропереломов трабекулярной кости и дегенерации смежного межпозвонкового диска. При этом изменение формы тела в сагиттальной проекции — от почти прямоугольной на уровне L1–L2 к клиновидной с большей высотой в переднем отделе на уровнях L4–L5 — является морфологическим субстратом формирования поясничного лордоза. Теоретически лордоз рассматривается как пружинящий адаптационный механизм, повышающий общую устойчивость позвоночного столба к осевой компрессии за счет перераспределения части нагрузки на растяжение в области заднего опорного

комплекса. Таким образом, морфометрия тела позвонка неотделима от биомеханики всего функционального позвоночного сегмента[2].

Пространственная конфигурация костного позвоночного канала демонстрирует обратную по отношению к телам позвонков динамику. Теоретический анализ указывает на постепенное уменьшение сагиттального диаметра канала от уровня L1 к L4 с последующей стабилизацией или незначительным увеличением на уровне L5. Данный феномен может быть интерпретирован в контексте дифференциации структур спинного мозга и конского хвоста: сужение канала совпадает с уровнем расположения утолщений спинного мозга, тогда, как на ниже-поясничном уровне в канале располагаются менее объемные корешки конского хвоста. Однако более значимым с клиничко-теоретической точки зрения является изменение формы канала: от овальной или округлой на верхних уровнях до треугольной или трилистниковой на уровне L5. Теоретически трилистниковая форма является результатом компромисса между необходимостью обеспечения пространства для нервных структур и требованием костной прочности в зоне максимальной нагрузки, где массивные ножки и суставные отростки образуют мощный задний опорный комплекс. Эта морфология предопределяет анатомическую предрасположенность к латеральному рецессусному стенозу на нижнепоясничных уровнях даже при умеренных гипертрофических изменениях суставов или связок [3].

Морфотопометрия дуги, в особенности параметры ножек (педикул) и фасеточных суставов, имеет фундаментальное значение для теории стабильности и кинематики. Сравнительный анализ показывает, что педикулярная ширина, определяющая безопасный диаметр транспедикулярного винта, является минимальной на уровне L5, несмотря на общее увеличение массивности позвонка. Теоретически это объясняется необходимостью сохранения прочности кортикального слоя при ограниченном костном массиве в зоне перехода от тела к дуге, где действуют

значительные силы сдвига. Педикулярная длина, напротив, увеличивается в каудальном направлении, что связано с перераспределением рычагов приложения мышечных сил и изменением векторов нагрузки.

Угловая ориентация суставных фасеток в сагиттальной плоскости закономерно меняется от преимущественно корональной на L1-L2 к более сагиттальной на L4-L5. В теоретической биомеханике это изменение напрямую коррелирует с ограничением ротационной подвижности и усилением стабильности в сагиттальной плоскости (сгибание-разгибание) на нижних поясничных уровнях, где амплитуда движений максимальна, а риск смещения при комбинированных нагрузках наиболее высок. Теория асимметричной нагрузки получает подтверждение в распространенности морфологической асимметрии ориентировки правых и левых фасеток, которая может служить врожденным предиктором неравномерного распределения стрессовых воздействий и латерализации дегенеративного процесса.

Теоретический анализ не может быть полным без учета морфометрии межпозвонкового диска как ключевого амортизирующего и соединяющего элемента. Сравнительные данные указывают на увеличение высоты диска в каудальном направлении, достигая максимума в сегментах L4-L5 и L5-S1. Этот параметр напрямую связан с увеличением амплитуды движений на данных уровнях, поскольку высота диска является одним из главных факторов, определяющих объем межпозвонкового пространства и, следовательно, потенциал для угловых смещений. Однако увеличение высоты также повышает рычаг приложения сил, что теоретически объясняет повышенную уязвимость нижнепоясничных дисков к протрузиям и экструзиям при комбинированных нагрузках, особенно в сочетании с ротацией. Разница между высотой переднего и заднего отделов диска, формирующая дискогенный компонент лордоза, теоретически является динамическим параметром, изменяющимся при дегенерации с потерей

гидрофильности пульпозного ядра, что ведет к сглаживанию лордоза и изменению паттерна нагрузок на дугоотростчатые суставы[4].

Синтез сравнительных морфотопометрических данных позволяет построить интегративную теоретическую модель поясничного отдела как системы, оптимизированной под противоречивые требования: мобильность, стабильность и нейропротекция. Нижнепоясничные сегменты (L4–S1) эволюционировали как зона специализированной кинематики с увеличенными телами позвонков и дисками для амортизации, стабилизирующими сагиттально-ориентированными фасетками и трилистниковым каналом для защиты корешков конского хвоста в условиях высокого давления. Теоретически эта область представляет собой очаг малой резистентности, где морфологические резервы безопасности минимальны, и дегенеративные изменения быстрее приводят к клинически значимым компрессионным синдромам. С клиничко-теоретической точки зрения, знание нормативных градиентов и вариабельности параметров является основой для дифференциации возрастной инволюции и патологического процесса, для планирования хирургических доступов и имплантации, где несоответствие конструкции аутохтонной морфологии является одной из причин осложнений. Теория асимметричной дегенерации, теория фасеточной артропатии и современные концепции минимально инвазивной декомпрессии напрямую опираются на точные морфотопометрические соотношения[5].

Таким образом, теоретический сравнительный анализ морфотопометрических параметров поясничного отдела позвоночного столба раскрывает глубокую взаимосвязь между формой, размером, пространственной ориентацией его структур и биомеханической функцией. Установленные закономерности - каудальное увеличение опорных поверхностей, редукция сагиттального диаметра канала с изменением его формы, сегмент-специфичная переориентация фасеточных суставов - представляют собой не случайный набор признаков, а скоординированную

адаптивную систему, сформированную под действием гравитационных и двигательных нагрузок. Эта система обладает ограниченным резервом прочности, особенно в зонах перехода, что теоретически объясняет высокую распространенность патологии именно в поясничном отделе.

Список источников:

1. Анисимова Е. А., Емкужев О. Л., Анисимов Д. И., Попрыга Д. В., Лукина Г. А., Яковлев Н. М. Сравнительный анализ морфотопометрических параметров структур поясничного отдела позвоночного столба в норме и при дегенеративно-дистрофических изменениях // Саратовский научно-медицинский журнал. 2015. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sravnitelnyy-analiz-morfotopometricheskih-parametrov-struktur-poyasnichnogo-otdela-pozvonochnogo-stolba-v-norme-i-pri-degenerativno> (дата обращения: 26.12.2025).

2. Емкужев О.Л., Анисимова Е.А., Щуковский В.В., Анисимов Д.И. Изменчивость абсолютных и относительных размеров тел поясничных позвонков // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 6. ; URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=23331> (дата обращения: 26.12.2025).

3. Рамих Э.А. Краткий очерк анатомо-функциональных особенностей позвоночника. Хирургия позвоночника. 2007;(2):077-095.

4. Торчинов И.А. Особенности строения пояснично-крестцового отдела позвоночника и их Клиническое значение // Современные проблемы науки и образования. 2008. № 1. ; URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=2452> (дата обращения: 26.12.2025).

5. Соболевский Б.М., Подчайнов В.С. Вариантная Анатомия суставных отростков дугоотростчатых суставов поясничного отдела позвоночного столба по данным лучевых методов исследования // Научное

обозрение. Медицинские науки. 2014. № 2. С. 148-148; URL: <https://science-medicine.ru/ru/article/view?id=456> (дата обращения: 26.12.2025).