

УДК 615.828:611.711
<https://doi.org/10.32885/2220-0975-2023-3-22-33>

© А. М. Орел, О. К. Семёнова, 2023

Новый взгляд на проблему поиска центра устойчивости позвоночника

А. М. Орел*, О. К. Семёнова

Московский научно-практический центр медицинской реабилитации, восстановительной и спортивной медицины Департамента здравоохранения города Москвы
105120, Москва, ул. Земляной Вал, д. 53



Введение. Осуществление всего разнообразия двигательной активности позвоночника человека нельзя оценивать только с позиций гравитационной концепции. Логичное объяснение его функционирования возможно с помощью модели напряженной целостности. Однако достоверных доказательств существования всех компонентов модели напряженной целостности (модель тенсегрити) в позвоночнике до сих пор не приведено. Отсутствует описание локализации наиболее стабильной зоны позвоночника, играющей роль центра устойчивости позвоночника и одновременно центра компрессии модели тенсегрити.

Цель исследования — определить локализацию зоны позвоночника, положение позвонков в которой имеет наименьшую вариативность, то есть наиболее устойчиво.

Материалы и методы. Были отобраны случайным образом цифровые рентгенограммы позвоночника 141 пациента 21–88 лет, 57 мужчин и 84 женщины, обращавшихся по поводу дорсопатии. Критериями включения было наличие цифровых рентгенограмм всех отделов позвоночника, сделанных одномоментно в соответствии с требуемыми стандартами рентгенографии. Критериями исключения служили грубые нарушения статики позвоночника в виде сколиоза III–IV степени, обусловленные врожденными аномалиями развития позвонков. На базе имеющихся рентгенограмм отделов позвоночника были сформированы единые цифровые рентгенологические изображения модели всего позвоночника в сагittalной проекции для каждого пациента, на которых были проведены затылочная вертикаль и переднезадние оси $rC_{III}rL_{VI}$ позвонков. В точку пересечения каждой оси r с затылочной вертикалью был восстановлен перпендикуляр и измерена величина угла между затылочной вертикалью и перпендикуляром. Измеренные углы характеризовали положение каждого позвонка относительно затылочной вертикали.

Результаты. При исследовании средних значений и средних отклонений углов переднезадних осей r было выявлено, что минимальная вариативность углового положения позвонков локализуется в зоне T_{XI} и T_{XII} . Исследование размаха значений углов переднезадних осей r показало, что минимальные величины определяются у позвонков T_{XI} , T_{XII} и L_1 . Было выявлено, что вершина физиологического грудного кифоза или поясничного лордоза никогда не обнаруживается на уровне T_{XI} и T_{XII} .

Заключение. Проведенное исследование показало, что в структуре позвоночника существует зона, пространственное положение позвонков в которой на протяжении жизни изменяется в наименьшей степени.

* Для корреспонденции:

Александр Михайлович Орел

Адрес: 105120 Москва, ул. Земляной Вал, д. 53,
Московский научно-практический центр
медицинской реабилитации, восстановительной
и спортивной медицины Департамента
здравоохранения города Москвы
E-mail: aorel@rambler.ru

* For correspondence:

Aleksander M. Orel

Address: Moscow Scientific and Practical
Center for Medical Rehabilitation, Restorative
and Sports Medicine, bld. 53 ul. Zemlyanoj Val,
Moscow, Russia 105120
E-mail: aorel@rambler.ru

Для цитирования: Орел А. М., Семёнова О. К. Новый взгляд на проблему поиска центра устойчивости позвоночника. Российский остеопатический журнал. 2023; 3: 22–33. <https://doi.org/10.32885/2220-0975-2023-3-22-33>

For citation: Orel A. M., Semenova O. K. A new view at the problem of finding the center of stability of the spine. Russian Osteopathic Journal. 2023; 3: 22–33. <https://doi.org/10.32885/2220-0975-2023-3-22-33>

Центр этой зоны располагается на стыке T_{xi} и T_{xii} . Данная зона имеет особенное анатомическое строение, отражая механизмы самостабилизации позвоночника, обеспечивая устойчивость положения физиологического искривления грудопоясничного перехода. Наличие такой зоны доказывает функционирование в позвоночнике модели напряженной целостности, центром устойчивости которой является соединение T_{xi} и T_{xii} .

Ключевые слова: позвоночник, рентгенография, центр устойчивости позвоночника, модель тенсегрити, позвонки

Источник финансирования. Исследование не финансировалось каким-либо источником.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Статья поступила: 09.01.2023

Статья принята в печать: 30.06.2023

Статья опубликована: 30.09.2023

UDC 615.828:611.711

© Aleksander M. Orel, Olga K. Semenova, 2023

<https://doi.org/10.32885/2220-0975-2023-3-22-33>

A new view at the problem of finding the center of stability of the spine

Aleksander M. Orel*, Olga K. Semenova

Moscow Scientific and Practical Center for Medical Rehabilitation, Restorative and Sports Medicine

bld. 53 ul. Zemlyanoi Val, Moscow, Russia 105120

Introduction. The realization of the whole variety of spine motor activity cannot be explained from the standpoint of the gravitational concept only. A reliable explanation of spine functioning is possible in the frame of tensegrity model. However, evidence for all components of the spine tensegrity model has not yet been provided. There is no description of the most stable spine zone and its center localization. In spine tensegrity model the stability center also plays the role of compression center.

The purpose of the work — to determine the localization of spine zone, with the least angular variability for vertebrae, that is, the most stable spine zone.

Materials and methods. Digital spine radiographs of 141 patients aged from 21 to 88 years (57 male and 84 female) applied for dorsopathies were randomly selected. The inclusion criteria in the study cohort were the availability of digital radiographs for all spine parts made simultaneously in accordance with required radiography standards. The exclusion criteria were gross violations of spinal statics in the scoliosis form of the III–IV degree due to congenital anomalies in vertebral development. On the basis of the available spine radiographs, general digital radiological images were formed models of entire spine in sagittal projection for each patient. Then for each of 141 general images the occipital vertical and anteroposterior axes of the rC_{III} , $rL_v(rL_{VI})$ vertebrae were drawn. The perpendicular was restored from intersection point of each r axis with the occipital vertical, and the angle between occipital vertical and the perpendicular was measured. The measured angles characterized the angular position of each vertebra relative to occipital vertical.

Results. When studying the average values of anteroposterior axis angles r and their average deviations, it was found that minimal variations in angular position of vertebrae was located at zone of T_{xi} and T_{xii} vertebrae. A study of variation range of anteroposterior axis angles r showed that the minimum values were determined for the vertebrae T_{xi} , T_{xii} and L_1 . It was found that apex of physiological thoracic kyphosis as well as apex of lumbar lordosis was never detected at the level of T_{xi} and T_{xii} vertebrae.

Conclusion. The study showed that there was a zone in the spine, with minimal changes of vertebra angular positions throughout life. The center of the zone was located at the junction of T_{xi} and T_{xii} vertebrae. This zone has a special anatomical structure, reflecting the mechanisms of spine self-stabilization, ensuring the stability of physiological curvature in thoracolumbar junction. The presence of such a zone proves the functioning of a spine tensegrity model, with the center of stability located between T_{xi} and T_{xii} vertebrae.

Key words: spine, X-ray investigation, center of spine stability, spine, tensegrity model

Funding. The study was not funded by any source.

Conflict of interest. The authors declare no obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

The article was received 09.01.2023

The article was accepted for publication 30.06.2023

The article was published 30.09.2023

Введение

Большая часть деятельности человека осуществляется в вертикальном положении тела, что обеспечивается гармоничным сбалансированным положением позвоночника. На человека, стоящего вертикально, постоянно воздействуют гравитационные и противонаправленные им силы. Они действуют вдоль продольной оси и направлены сверху вниз — силы гравитации и, наоборот, снизу вверх действуют антигравитационные силы.

Инженерные расчеты действия рычага биомеханических сил показали, что в норме статическая нагрузка на межпозвонковый диск L_v-S_i составляет 9,5 кг/см². Когда же выпрямление туловища из согнутого положения происходит с поднятием какого-либо предмета при выпрямленных коленях, нагрузка возрастает в 10 раз за счет рычага с двумя неравными плечами и с соотношением 1:10 [1].

Линия гравитации, проходя сквозь организм вертикально стоящего человека, пересекает общий центр тяжести (ОЦТ) тела, где все моменты парциальных сил тяжести каждой части организма уравновешены. В зависимости от научных и практических приоритетов специалистов, локализация ОЦТ в организме человека описывается по-разному. При положении человека стоя из-за анатомической симметрии ОЦТ тела находится в среднесагittalной плоскости и на расстоянии 4 см перед позвонком S_i [2]. В остеопатии, согласно представлениям Д.М. Литтлджона, тело позвонка L_{III} и есть место расположения ОЦТ тела [3]. В биомеханике спорта равновесие и устойчивость определяются положением ОЦТ тела по отношению к опорной поверхности. Чем больше площадь опоры и чем ниже расположен ОЦТ, тем больше устойчивость тела. Чем ближе к краю опоры проходит вертикаль, опущенная из ОЦТ тела, тем легче нарушаются равновесие в эту сторону [4].

В практике постурологии нашел применение принцип перевернутого маятника. Каждая структура костного скелета рассматривается как перевернутый маятник, который действует в едином ансамбле всех структур, поддерживая вертикальную позу. Точка опоры, вокруг которой происходят постуральные колебания, — это голеностопные суставы у взрослых или тазобедренные суставы у детей и пожилых людей [5–7].

Нагляднее действие механизма, обеспечивающего перераспределение статических нагрузок, можно объяснить с позиций концепции напряженной целостности (модель тенсегрити) [8, 9]. Эта концепция декларирует, что сложно устроенный объект реагирует на любое воздействие извне целиком всеми своими элементами одновременно. Структура напряженной целостности включает длинные, протяженные эластично-прочные элементы, способные растягиваться и противостоять растяжению, и элементы сжатия, точки опоры — компрессии. Элементы растяжения и компрессии связаны между собой, а вся система должна находиться в условиях преднапряжения. Благодаря

ему структура принимает устойчивую геометрическую форму в пространстве. В позвоночнике существуют длинные протяженные элементы, выполняющие роль натягивающихся частей системы. К ним относятся фасции, связки, апоневрозы, мышцы, сухожилия, совокупность капсул суставов, твердая мозговая оболочка и другие структуры. К элементам, которые подвергаются сжатию и играют роль опорных точек, относятся жидкостные компоненты межпозвонковых дисков и суставов. Векторы сил, возникающие внутри позвоночника под воздействием сил гравитации, противонаправленных им сил и сил внешних нагрузок, в модели тенсегрити разделяются, рассеиваются на множество мелких векторов сил, а их влияние, при условии отсутствия локальных соматических дисфункций, минимизируется. Однако остаются вопросы: «Как строится иерархия взаимодействия этих элементов? Где находится зона устойчивости позвоночника?»

В идеале для ответа на эти вопросы необходимо исследовать весь позвоночник целиком, с детализацией положения каждого позвонка. Благодаря рентгенологическому методу мы обладаем объективной информацией для проведения такого рода исследований. В ортопедии для анализа сагittalного баланса на панорамных рентгенограммах позвоночника измеряют расстояние между репрезентативными точками и рассчитывают отношения между ними [10]. Однако вопрос определения центра устойчивости позвоночника до сих пор не поднимался.

Цель исследования — определить локализацию зоны позвоночника, положение позвонков в которой имеет наименьшую вариативность, то есть наиболее устойчиво.

Материалы и методы

Место проведения и продолжительность исследования. Исследование было проведено в МНПЦ МРВСМ ДЗ города Москвы, длительность исследования составила 3 года.

Характеристика участников. Случайным образом были отобраны цифровые рентгенограммы позвоночника пациентов, обращавшихся по поводу дорсопатии. Когорту обследованных составил 141 пациент 21–88 лет, 57 мужчин и 84 женщины. Критериями включения было наличие цифровых рентгенограмм всех отделов позвоночника. Критериями исключения служило наличие сколиоза III–IV степени.

Методы исследования. На единые цифровые рентгенологические изображения всего позвоночника в сагиттальной проекции были нанесены затылочная вертикаль и переднезадние rC_{III} – $rL_V(rL_{VI})$ оси позвонков (рис. 1). Величину угла наклона, характеризующего положение позвонка, измеряли между затылочной вертикалью и перпендикуляром, восстановленным в точку пересечения оси r с затылочной вертикалью. Величину наклона позвонка кпереди регистрировали со знаком минус (-), а кзади — со знаком плюс (+).

Вариативность углов r по каждому позвонку в выборке оценивали с помощью трех показателей: среднего отклонения, дисперсии и размаха (1–99-й процентиль); для оценки статистической значимости отличий в дисперсии использовали критерий Левена.

Статистическую обработку данных осуществляли с помощью MS Excel 2010 и пакета прикладных программ Statistica 12.0.

Этическая экспертиза. Исследование проведено в соответствии с Хельсинской декларацией (принята в июне 1964 г., пересмотрена в октябре 2013 г.), от каждого участника исследования получено информированное согласие.

Результаты и обсуждение

Детальное рассмотрение полученного массива данных дало основание выявить частоту встречаемости наклона каждого позвонка и величину среднего отклонения, то есть вариативность положения каждого отдельного позвонка (рис. 2).

Было выявлено, что минимальная вариативность углового положения наблюдается у позвонков T_{XI} и T_{XII} . Среднее отклонение значений углов у этих позвонков было равно $4,49^\circ$ для T_{XI} и $4,44^\circ$ для T_{XII} .

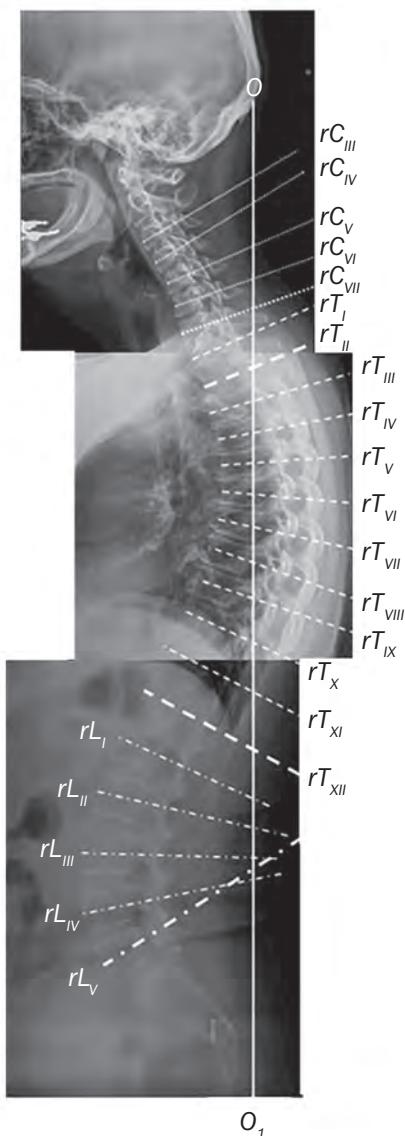


Рис. 1. Объединенная рентгенограмма всего позвоночника пациентки У., 52 года.
 $O-O_1$ — затылочная вертикаль; $rC_{III}-rL_V$ — переднезадние оси соответствующих позвонков

Fig. 1. Combined radiographs of entire spine.
Patient U., 52 years old.
 $O-O_1$ — occipital vertical; $rC_{III}-rL_V$ — anteroposterior axes of corresponding vertebrae

Интерес представлял сравнительный анализ вариации угловых положений каждого позвонка. В качестве нулевой гипотезы было сделано предположение об однородности дисперсий и отсутствии систематических отличий отклонений каждого позвонка от его среднего значения. Для оценки значимости отличий в дисперсии выборок использовали критерий Левена, расчет проводили с использованием пакета Statistica 12. Для позвонков, расположенных в зоне $T_{VIII}-L_{II}$, статистически значимых неоднородностей и отличий в дисперсии по сравнению с «эталоном» — позвонком T_{XI} , не выявлено, хотя средние углы для этих позвонков существенно отличались. Статистически значимые отличия дисперсии ($p<0,05$) были обнаружены с помощью критерия Левена при сравнении всех остальных позвонков с T_{XI} . Для позвонков, расположенных в зоне повышенной устойчивости, нулевая гипотеза была отклонена, а на стыке позвонков T_{XI} и T_{XII} по праву расположился «центр устойчивости» с минимальной для нашей выборки вариацией углового положения.

Другой характеристикой, позволяющей получить представление о величине вариативности показателей, является размах угла, который вычисляется как разница между максимальным и минимальным значением величины угла r для конкретного позвонка во всей когорте пациентов (рис. 3).

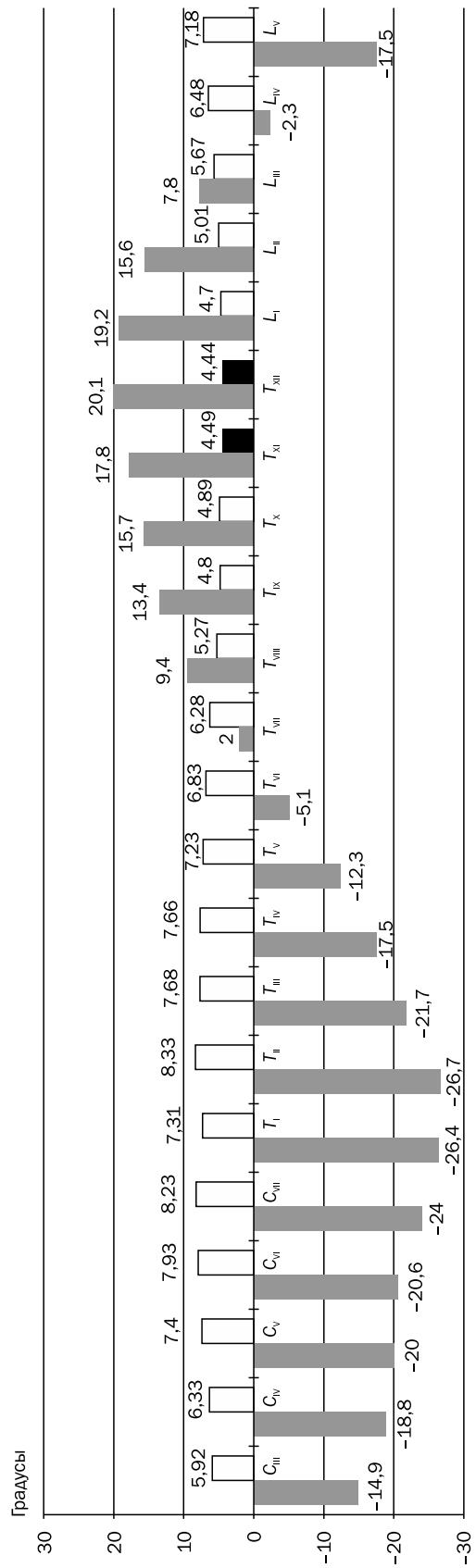


Рис. 2. Средние значения углов переднезадних осей r и их средние отклонения в градусах, $n=141$
 Fig. 2. The average values of anteroposterior axis angles r and their average deviations in degrees, $n=141$

Рис. 2. Средние значения углов переднезадних осей r и их средние отклонения в градусах, $n=141$
 Fig. 2. The average values of anteroposterior axis angles r and their average deviations in degrees, $n=141$

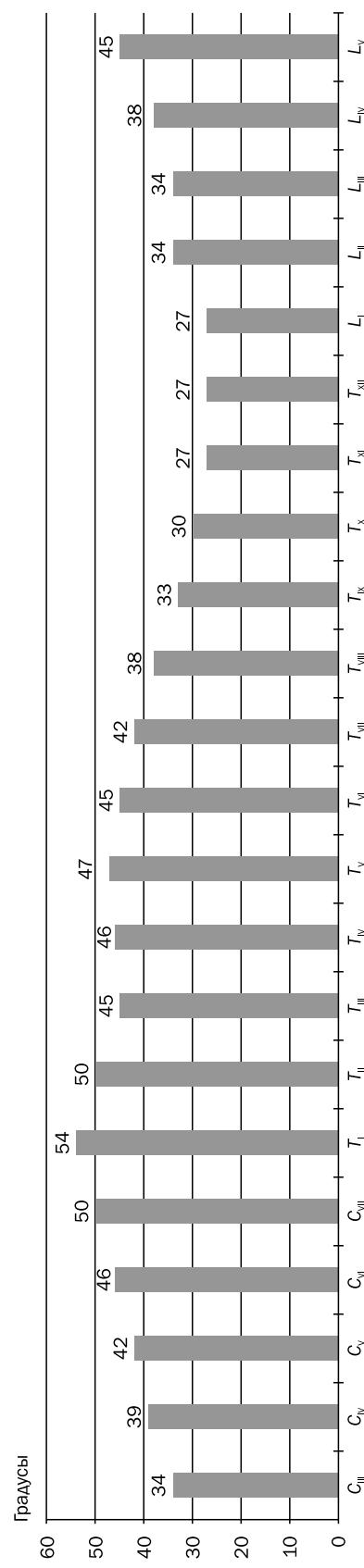


Рис. 3. Размах значений углов переднезадних осей γ в градусах (1-99-й процентиль), $n=141$

Рис. 3. Размах значений углов переднезадних осей γ в градусах (1-99-й процентиль), $n=141$

Поскольку в исследовании принимали участие пациенты 21–88 лет и отобраны они были рандомно, в когорту обследованных попали лица с выраженным отклонениями положения отдельных групп позвонков, что обусловлено их морфологическими особенностями. Размах значений углов переднезадних осей r отдельных позвонков у этих пациентов значительно отличался от средних значений. Как известно, характеристика размаха, в отличие от средних значений, чрезвычайно чувствительна к наличию крайних выпадающих точек. Поэтому при оценке размаха по каждому отдельному позвонку нами была применена процедура учета от 1-го до 99-го процентиля у 141 пациента.

Проведенное исследование показало, что минимальные значения размаха величины углов переднезадних осей r определяются у позвонков T_{xi} , T_{xii} и L_i .

Физиологическое искривление позвоночника на уровне поясничного и грудного отделов представлено двумя противоположными дугами — грудным кифозом и поясничным лордозом. У каждого человека на протяжении жизни формируется особенное положение позвонков и различная выраженность выпуклости и вогнутости каждой дуги. Проведенное исследование углового положения позвонков позволило определить локализацию обоих максимумов физиологического искривления позвоночника у 141 пациента, а также выявить на уровне каких позвонков они встречаются чаще всего (рис. 4).

Было выявлено, что вершина грудного кифоза встречается на уровне от T_{iii} до T_x , но чаще всего локализуется на уровне позвонков T_{v-vii} , а вершина поясничного лордоза встречается на уровне L_{i-v} чаще на уровне позвонков L_{iii-iv} . Но наиболее интересные данные с точки зрения настоящего исследования мы обнаружили на уровне позвонков T_{xi-xii} : не было ни одного случая, когда вершина той или противоположной дуги приходилась бы на этот уровень. Это свидетельствует о том, что здесь и локализуется переходная зона физиологического искривления позвоночника, чье положение наиболее стабильно. Таким образом, мы получили еще одно доказательство того, что на стыке пары позвонков T_{xi-xii} расположена своеобразная нулевая точка, относительно которой в процессе онтогенеза формируется центр, поддерживающий постоянство перехода дуги физиологического искривления позвоночника.

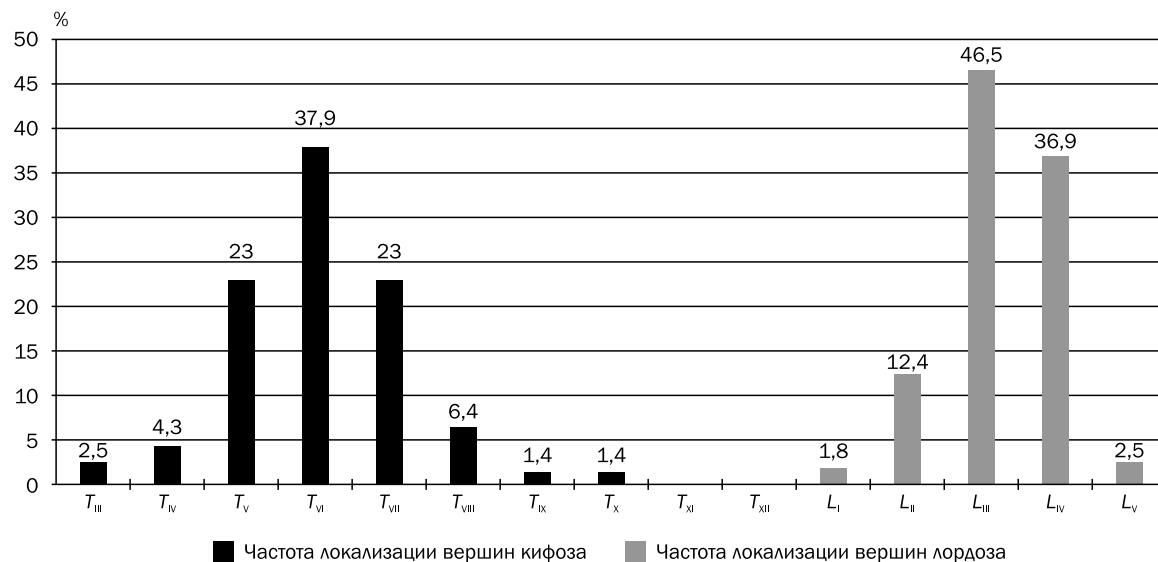


Рис. 4. Частота локализации вершин кифоза и лордоза позвоночника, $n=141$

Fig. 4. Localization frequency for kypnosis apex and lordosis apex, $n=141$

Совокупность полученных данных дает основание считать, что центр зоны устойчивости позвоночника находится на стыке позвонков T_{xi} и T_{xii} .

Обсуждение. Итак, в ходе исследования было выявлено, что на стыке грудного и поясничного отделов позвоночника человека существует зона, в которой угловое положение позвонков меняется в наименьшей степени. Для объяснения этого факта нам придется обратиться к анатомии, физиологии и эмбриологии структур, относящихся к этой зоне позвоночника.

Во многих руководствах описывается сходство анатомического строения верхней части позвонка T_{xii} с грудными позвонками, а нижней — с позвонками поясничного региона [1].

В исследованиях Л. Бюске (2011) было показано, что в основе любых движений тела человека лежит функционирование мышечных комплексов, функционально организованных в мышечные цепи. Сухожильный центр диафрагмы — это перекресток, на котором вступают во взаимосвязь все мышечные цепи [11].

Как правая, так и левая ножка диафрагмы прикрепляется к нижнему краю тела позвонка T_{xii} . Обе ножки соединяются между собой, формируя срединную связку — сухожильную дугу, ограничивающую аортальное отверстие диафрагмы. При любых скручивающих движениях туловища, аорта, проходящая вдоль позвоночника, остается в центре этого движения рядом с ним, размеры и форма отверстия не изменяются. Фиксированное положение этой несжимаемой анатомической структуры обеспечивает полноценное функционирование важнейших систем органов — передвижения, дыхания, кровоснабжения и лимфотока [11].

Следующая особенность: на верхней поверхности верхних суставных отростков T_{xi} и T_{xii} позвонков находятся дополнительные отростки, образующие своеобразные карманы, куда входят нижние суставные отростки позвонков T_x и T_{xi} соответственно (рис. 5). Они формируют «замковый

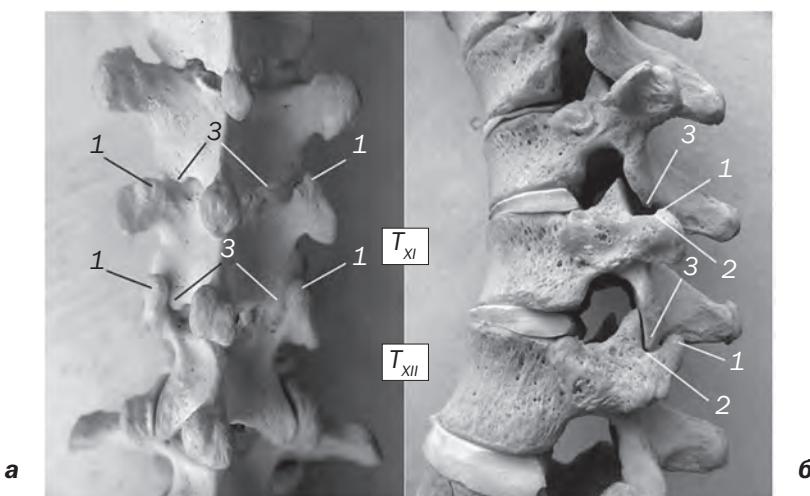


Рис. 5. «Замковый механизм» позвоночника в области верхних суставных отростков позвонков T_{xi} и T_{xii} — препарат мачерированного позвоночника: а — вид сзади; б — вид сбоку.
1 — дополнительные отростки на дорсальной поверхности верхних суставных отростков T_{xi} , T_{xii} ;
2 — бороздки на дорсальной поверхности верхних суставных отростков T_{xi} , T_{xii} позвонков;
3 — нижние суставные отростки стоящих выше позвонков

Fig. 5. The spine «locking mechanism» in the area of upper articular processes of T_{xi} and T_{xii} vertebrae. Preparation of macerated spine: a — rear view; b — side view. 1 — additional processes on the dorsal surface of upper articular processes T_{xi} , T_{xii} ; 2 — grooves on the dorsal surface of the upper articular processes on T_{xi} , T_{xii} vertebrae; 3 — lower articular processes of the vertebrae standing above

механизм», ограничивая экстензию грудных позвонков на этом уровне. Такое анатомическое строение позволяет удержать переход физиологической дуги. Без наличия подобных точек фиксации устойчивое поддержание вертикального положения и соединение грудного кифоза и поясничного лордоза затруднительно и в статике, а во время двигательных актов, ходьбы, бега, трудовой деятельности или при занятиях спортом практически невозможно [12].

Известные эмбриологи E. Blechschmidt и R.F. Gasser (1978) писали о том, что исследование движений развития тканей эмбриона демонстрирует единство развития внутренней клеточной структуры органа, которую невозможно отделить от развития его внешней формы, что, в свою очередь, неотделимо от развития его положения. Опускание и подъем тканей эмбриона являются движениями развития. Функции могут осуществляться в послеродовом периоде, только если они начались как функции роста в дородовом периоде [13].

К 7-й неделе внутриутробного развития печень эмбриона расширяется, купол зачатка диафрагмы сплющивается, двигаясь каудально и вентрально. Во время этого движения ткань диафрагмы постепенно соприкасается с развивающимся скелетом только в области поясничного отдела позвоночника и нижнего грудного отверстия. Фактически, ткань диафрагмы выглядит как сильно сжатый тонкий слой между сердцем и печенью. Мезенхима внутри эмбриональной стенки туловища в этот период сильно натянута по кругу на периферии выступа сердца–печени. Только в этой зоне натянутая мезенхима выглядит как направляющая структура для формирования растущих ребер [13].

А. Обервиль (2017) пишет, что на 4-й неделе развития эмбриона происходит формирование грудной, каудальной и латеральных складок, что обусловлено скручиванием тканей эмбриона в процессе роста вокруг поперечной и продольной осей, в результате чего образуются полости организма и разделяющая их диафрагма. К окончанию формирования грудной складки формируются ножки диафрагмы, совершая движения вниз от заднего мезогастрия (образующегося от пищеводной мезенхимы) к поясничному отделу позвоночника. Латеральное закрытие эмбриона способствует окончательному образованию диафрагмы. Перегородка, сформированная грудной складкой, становится сухожильным центром диафрагмы; брюшной край диафрагмы прикрепляется к передней стенке на уровне T_{VII} , его дорсальный край для преобразования в ножки диафрагмы присоединяется к мезенхиме пищевода на уровне T_{XII} [14].

Важно акцентировать внимание на то, что, помимо растущих и изменяющих свое положение, структуру и форму каудальной, краиальной и боковых складок, внутри туловища эмбриона существует зона натяжения. Она играет роль направляющей структуры для формирования ребер, а значит, она может быть зоной, чье предназначение состоит в том, чтобы быть центром опоры для всего туловища. И располагается эта зона на уровне позвонка T_{XII} .

В пользу данного положения косвенно свидетельствует статистика травм у взрослых пациентов. Наиболее частая локализация компрессионных переломов позвоночника, особенно у пациентов с остеопорозом, приходится на уровень пояснично-грудного перехода $T_{XI-XII} - L_1$ [15]. Почему так происходит? Одна из возможных причин состоит в том, что векторы повреждающих сил, проходящих продольно сквозь позвоночник при травме, действуют на группу позвонков, обеспечивающих фиксацию и стабильность всего региона, а значит в наибольшей степени подверженных их разрушающему воздействию.

В ходе исследования рентгенограмм всех отделов позвоночника у больных анкилозирующим спондилитом (АС) выявлено выравнивание положения и ограничение подвижности позвоночных структур. Крестец приобретает вертикальное положение. Атлант и аксис смещаются вверх, и основание черепа как бы насаживается на позвонок C_1 и зуб C_2 сверху [12]. При целостном взгляде на позвоночник больного АС отмечено, что внутри него существуют биомеханические силы, направленные к его центру. Была предложена биомеханическая модель патогенеза АС. Гипотеза исследования состояла в том, что центр, куда стремились силы, действующие вдоль всего позвоночника,

локализуется на уровне T_{xi-xii} [12]. И сегодня мы получили дополнительные аргументы в пользу справедливости высказанной гипотезы.

Учитывая результаты настоящего исследования, становится актуальным введение понятия «зона устойчивости позвоночника», под которым понимается группа позвонков, положение которых в теле человека на протяжении всей жизни меняется наименьшим образом. Обоснованность данного понятия состоит в том, что оно отражает существование в позвоночнике важнейшей точки опоры, обеспечивающей его функционирование как единой целостности, ключевой структуры в модели тенсегрити. Данная зона служит в качестве своеобразного гироскопа в организме человека. При отсутствии грубых переломов позвонков она изменяется наименьшим образом. К ней сходятся результирующие векторы всех сил, действующих внутри позвоночника, как от черепа, так и от таза. Более того, соединительнотканые структуры и мышечные цепи всего организма так или иначе взаимодействуют с этой зоной. Центр этой зоны находится на уровне соединения позвонков T_{xi-xii} . Вот почему результаты проведенного исследования дают основание утверждать, что соединение позвонков T_{xi-xii} может служить в качестве нулевой точки для оценки статики позвоночника во всех возрастных периодах.

Исследование показало, что в поддержании вертикального положения человека участвуют по меньшей мере три биомеханические системы. Две системы противодействуют силам гравитации и антигравитации, и еще одна система модели тенсегрити осуществляет перераспределение биомеханических сил в рамках всей целостности позвоночника. Ни одна из систем не является самодостаточной, и лишь взаимодействие всех трех систем может быть описано как функциональная целостность, в которой каждая из них не противопоставлена, а дополняет друг друга (рис. 6).

Однако если функционирование системы тенсегрити происходит при минимизации необходимых энергетических затрат, в случае, когда возникают условия превалирования функционирования систем, противодействующих гравитации или антигравитации, затраты энергии на поддержание жизнедеятельности возрастают многократно, что подтверждает положения, изложенные в известных остеопатических руководствах [3].

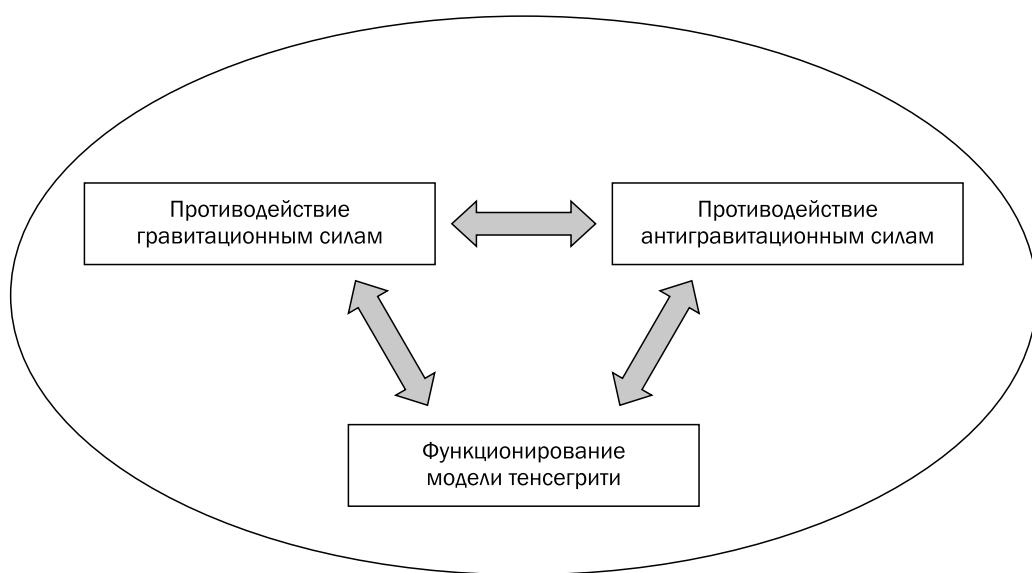


Рис. 6. Взаимодействие систем, осуществляющих статические функции позвоночника

Fig. 6. Interaction of systems performing spine static functions

Заключение

В результате исследования были получены данные, свидетельствующие о том, что центр зоны минимальной вариативности, а значит и зоны максимальной устойчивости позвоночника, — это место соединения $T_{\text{XI-XII}}$.

Исследование подтвердило существование в позвоночнике объединения структур, функционирующих как модель напряженной целостности. Высшим центром в иерархии зон компрессии позвоночника является область соединения позвонков $T_{\text{XI-XII}}$.

Исследование продемонстрировало актуальность введения понятия «зона устойчивости позвоночника».

Результаты проведенного исследования дают основание принять в качестве нулевой точки системы координат для изучения и оценки особенностей статики всех отделов позвоночника во всех возрастных периодах соединение позвонков $T_{\text{XI-XII}}$.

В поддержании вертикального положения человека участвует три биомеханические системы. Две системы противодействуют силам гравитации и антигравитации, система модели тенсегрити осуществляет перераспределение биомеханических сил. Ни одна из систем не является самодостаточной, и лишь взаимодействие всех трех систем образует функциональную целостность организма, в которой каждая из них не противопоставлена, а дополняет другие.

Вклад авторов:

A. M. Орел — разработка дизайна исследования, научное руководство исследованием, сбор и анализ материалов, участие в анализе собранных данных, обзор публикаций по теме исследования, написание и редактирование статьи

O. K. Семёнова — разработка дизайна исследования, анализ собранных данных, статистический анализ данных, редактирование статьи

Все авторы одобрили финальную версию статьи для публикации, согласны нести ответственность за все аспекты работы и обеспечить гарантию, что все вопросы относительно точности и достоверности любого фрагмента работы надлежащим образом исследованы и решены.

Authors' contributions:

Aleksander M. Orel — development of research design, scientific management of research, collection and analysis of materials, participation in the analysis of collected data, review of publications on the topic of the article, writing and editing of the text of the article

Olga K. Semenova — research design development, analysis of the collected data, statistical data analysis, editing of the text of the article

All authors have approved the final version of the article for publication, and agree to be responsible for all aspects of the work and to ensure that all questions regarding the accuracy and reliability of any fragment of the work are properly investigated and resolved.

Литература/References

1. Капанджи А. И. Позвоночник: физиология суставов. М.: Эксмо; 2009; 344 с.
[Kapandzhi A.I. Spine: Physiology of joints. M.: Eksmo; 2009; 344 p. (in russ.)].
2. White A. A., Panjabi M. M. Clinical Biomechanics of the Spine. Philadelphia; 1990; 722 p.
3. Parsons J., Marcer N. Osteopathy. Models for diagnosis, treatment and practice. London, New York, Oxford, Philadelphia, St. Louis, Sydney, Toronto: Elsevier; 2005; 333 p.
4. Иваницкий М. Ф. Анатомия человека (с основами динамической и спортивной морфологии): Учебник для институтов физической культуры. М.: Олимпия; 2008; 624 с.
[Ivanitsky M. F. Human anatomy (with the basics of dynamic and sports morphology): Textbook for institutes of physical culture. M.: Olympia; 2008; 624 p. (in russ.)].
5. Gagey P.-M., Weber B. Posturologie. Régulation et dérèglements de la station debout. Paris: Masson; 1995; 145 p.

6. Курникова А.А., Потехина Ю.П., Филатов А.А., Калинина Е.А., Первушкин Э.С. Роль опорно-двигательного аппарата в поддержании постурального баланса (обзор литературы). Российский остеопатический журнал. 2019; 3-4: 135–149.
[Kournikova A.A., Potekhina Yu.P., Filatov A.A., Kalinina E.A., Pervushkin E.S. The role of the musculoskeletal system in maintaining postural balance (literature review). Russian Osteopathic Journal. 2019; 3-4: 135–149 (in russ.)]. <https://doi.org/10.32885/2220-0975-2019-3-4-135-149>
7. Мохов Д. Е. Основные теоретические аспекты функционирования постуральной системы. Мануал. тер. 2009; 1 (33): 76–82.
[Mokhov D.E. The main theoretical aspects of the functioning of the postural system. Manual Ther. J. 2009; 1 (33): 76–82 (in russ.)].
8. Chen C.S., Ingber D.E. Tensegrity and mechanoregulation: from skeleton to cytoskeleton. Osteoarthr. Cartilage. 1999; 7 (1): 81–94.
9. Таренто М. Концепция биотенсегрити и ее использование в остеопатии. Российский остеопатический журнал. 2019; 1–2: 130–140.
[Tarento M. The concept of biotensegrity and its use in osteopathy. Russian Osteopathic Journal. 2019; 1–2: 130–140 (in russ.)]. <https://doi.org/10.32885/2220-0975-2019-1-2-130-140>
10. Roussouly P., Pinheiro-Franco J.L. Sagittal parameters of the spine: biomechanical approach. Europ. Spine J. 2011; 20 (Suppl. 5): 578–585. <https://doi.org/10.1007/s00586-011-1924-1>
11. Бюске Л. Мышечные цепи. Т. II. Лордозы, кифозы, сколиозы и деформации грудной клетки. М.—Иваново: МИК; 2011; 200 с.
[Buske L. Muscle chains. Volume II. Lordoses, kyphoses, scolioses and thorax deformations. M.—Ivanovo: MIK; 2011; 200 p. (in russ.)].
12. Орел А.М. Биомеханическая модель патогенеза анкилозирующего спондилита. М.: Издательский дом ВИДАР-М; 2014; 216 с.
[Orel A.M. Biomechanical model of ankylosing spondylitis pathogenesis. M.: Publishing House VIDAR-M; 2014; 216 p. (in russ.)].
13. Blechsmidt E., Gasser R.F. Biokinetics and biodynamics of human differentiation (American lecture series; publication № 1011), Charles C. Thomas, Springfield , Illinois, USA, 1978.
14. Обервиль А. Мотильность в остеопатии. Новая концепция, основанная на эмбриологии. М.: Практич. мед.; 2017; 192 с.
[Oberville A. Mobility in osteopathy. A new concept based on embryology. M.: Pract. Med.; 2017; 192 p. (in russ.)].
15. Donnally III C.J., Di Pompeo C.M., Varacallo M. Vertebral Compression Fractures. [Updated 2022 Nov 14]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2022 Jan. Accessed Jan 09. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK448171>

Сведения об авторах:

Александр Михайлович Орел, докт. мед. наук, профессор, Московский научно-практический центр медицинской реабилитации, восстановительной и спортивной медицины Департамента здравоохранения города Москвы, главный научный сотрудник отдела медицинской реабилитации больных с заболеваниями опорно-двигательного аппарата
eLibrary SPIN: 1004-5776
Author ID: 400789
ORCID: 0000-0003-4129-524X

Ольга Константиновна Семёнова, канд. техн. наук, доцент, Московский научно-практический центр медицинской реабилитации, восстановительной и спортивной медицины Департамента здравоохранения города Москвы, лаборант-исследователь
eLibrary SPIN: 7016-6950
Author ID: 1111195
ORCID: 0000-0002-9727-0327

Information about authors:

Aleksander M. Orel, Dr. Sci. (Med.), Professor, Moscow Scientific and Practical Center for Medical Rehabilitation, Restorative and Sports Medicine, Chief researcher of the Department of Medical Rehabilitation of Patients with Musculoskeletal System Diseases
eLibrary SPIN: 1004-5776
Author ID: 400789
ORCID: 0000-0003-4129-524X

Olga K. Semenova, Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor, Moscow Scientific and Practical Center for Medical Rehabilitation, Restorative and Sports Medicine, laboratory research assistant
eLibrary SPIN: 7016-6950
Author ID: 1111195
ORCID: 0000-0002-9727-0327