

ИЗМЕНЕНИЯ СТРУКТУРНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ БЕДРЕННОЙ КОСТИ В РЯДУ «БЫК – СОБАКА – КРОЛИК – ЧЕЛОВЕК»

Яшина И.Н.¹, Клочкова С.В.², Иванов А.В.¹

¹ФГБОУ ВО «Курский государственный медицинский университет» Минздрава России, Курск, e-mail: bik2709@rambler.ru;

²ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России, Москва

Цель исследования: изучить изменения структурной организации бедренной кости человека и животных с различными типами опоры на заднюю конечность. Материалом явились бедренные кости современного человека; фалангоходящих – *Bos taurus taurus*, L.1758; пальцеходящих – *Canis lupus familiaris*, L.1758 и стопоходящих – *Oryctolagus cuniculus*, L.1758 животных. Кости отличались полным синостозированием эпифизов и не имели признаков патологии. Результаты остеометрии для нивелирования влияния соматотипа людей, веса и степени развития костяка у животных на формирование структурной организации кости были переведены в относительные величины, которые в дальнейшем были проанализированы в программе Statistica методом максимального правдоподобия с вращением эквамакс. В результате были созданы модели структурной организации кости, которые позволили выявить следующее: правая бедренная кость человека (ПБК) имеет четырехуровневую структуру, левая (ЛБК) – трехуровневую. ПБК быка имеет 3 уровня, ЛБК – 4. Структура костей галолирующих животных – собак и кроликов – имеет 4 уровня. В структуре ПБК быков выделено 14 коррелирующих параметров, ЛБК – 15. У собак справа – 12, слева – 15; у кроликов справа – 24, слева – 20. У человека независимо от принадлежности к стороне – 19 структурообразующих параметров. Организация бедренных костей асимметрична и зависит от функциональной активности конечности. Увеличение функциональной активности приводит к росту числа стабильных структурообразующих параметров. Морфофункциональная асимметрия структурной организации свидетельствует о различиях в функционировании эпифизов контрлатеральных костей. Структурная организация бедренной кости человека отличается увеличением числа коррелирующих параметров проксимального эпифиза при сохранении уровня коррелированности параметров дистального эпифиза.

Ключевые слова: структурная организация бедренной кости человека, животных

THE STRUCTURAL ORGANIZATION CHANGES OF THE FEMUR IN A BULL-DOG-RABBIT-HUMAN RANGE

Yashina I.N.¹, Klochkova S.V.², Ivanov A.V.¹

¹ *Kursk state medical university, Kursk, e-mail: bik2709@rambler.ru;*

² *Sechenov university, Moscow*

The main aim of the research was to study the changes of structural organization of the human and animals femoral bone with different types of hind limb support. There are were used human femoral bones; *Bos taurus taurus* L. 1758; *Canis lupus familiaris*, L. 1758, and *Oryctolagus cuniculus*, L. 1758, which completed epiphyseal synostosis and without any signs of pathology. The results of osteometry were recalculated into relative one for leveling of the human somatotype influence, animal's weight and degree of bone development on the formation of the structural organization. Recieved values were analysed by method of Maximum likelihood factor analyzed with the rotation of the equamax using Statistica ver.6.0 -10.0. The created models of the structural organization of the femoral bone demonstrate: the right femur (RF) has a four-level systemic structure, the left (LF) three-level one. RF bull has 3 levels, LF-4. The bone systemic structure of galloping animals-dogs and rabbits has 4 levels. 14 correlating parameters were found, LF – 15 were identified in the structure of RF of bulls. In dogs, right – 12, -15 on the left; the rabbits on the right 24, left side - 20. In human case, regardless of belonging to the side there are 19 structure-forming parameters. The structural organization of the femur is asymmetric and depends on the functional activity of the hind limb. The rising of the functional activity increase in the number of stable structure-forming parameters. On our mind the morphological and functional asymmetry of the structural organization, indicate differences in the functioning of the contralateral epiphyses to the bones. The structural organization of the human femur is characterized by the rising of the correlating parameters number of the proximal epiphysis while maintaining the correlation level for the distal one.

Keywords: structural organization of human femur, animals

Бедренная кость человека как часть системы опорно-двигательного аппарата организма с бипедальной локомоцией формируется под действием сил, обеспечивающих вертикальное положение тела при передвижении в пространстве. Это взаимосвязанная система рычагов, расположенных в двух крупных суставах – тазобедренном и коленном. Форма бедренной кости, степень развития ее апофизов, изогнутость диафиза и углы, образованные между осями кости, отражают условия функционирования биомеханической системы нижних конечностей и формируются в процессе жизни человека [1]. В связи с постоянным увеличением числа дегенеративно-дистрофических заболеваний крупных суставов нижних конечностей, возрастающей потребностью в реэндопротезировании тазобедренных суставов [2] строение бедренной кости должно быть достаточно серьезно изучено, однако до сих пор отсутствует четкое представление о взаимосвязях между линейными и угловыми размерами ее анатомических образований. Выявить структуры кости человека, наиболее подверженные изменениям при патологии, невозможно без глубокого сравнительно-анатомического анализа структурной организации бедренных костей животных с различными типами опоры на конечность и человека, что и определило высокую актуальность нашего исследования.

Цель работы: изучить структурную организацию бедренной кости человека и животных с различными типами опоры на заднюю конечность.

Материалы и методы исследования

Настоящее исследование проведено с соблюдением всех этических и правовых норм, о чем свидетельствует разрешение регионального этического комитета Курского государственного медицинского университета (протокол заседания РЭК № 5 от 30 июня 2018 г.).

Для исследования были отобраны бедренные кости фалангоходящих животных – *Bos taurus taurus*, L.1758 (40 правых и 40 левых); пальцеходящих – *Canis lupus familiaris*, L.1758 (по 39 правых и левых); стопоходящих – *Oryctolagus cuniculus*, L.1758 (по 40 правых и левых) и современного человека (77 правых и 77 левых). Кости отличались полным синостозированием эпифизов и не имели признаков патологии. Определение половой принадлежности не проводилось.

Дизайн исследования включал остеометрию гомологичных структур на бедренных костях [3], статистическую оценку выборок классическими методами [4], создание математических моделей структурной организации бедренных костей человека и животных с учетом принадлежности к стороне тела.

Методика остеометрии гомологичных структур бедренных костей представлена в таблицах 1–3.

Остеометрия структур проксимального эпифиза

Наименование структуры	Расшифровка измерений
ШПЭ	Наибольшее расстояние между головкой и большим вертелом
ØГС	Сагиттальный диаметр головки или переднезадний размер головки, измеренный в горизонтальной плоскости
ØГВ	Вертикальный диаметр головки или верхненижний размер головки, измеренный во фронтальной плоскости
ØШС	Сагиттальный диаметр шейки или переднезадний размер шейки, измеренный в горизонтальной плоскости
ØШВ	Вертикальный диаметр шейки. Расстояние, измеренное между максимально удаленными верхней и нижней точками шейки кости
ПДШ	Передняя длина шейки бедренной кости – расстояние между краем головки спереди до середины межвертельной линии
ЗДШ	Задняя длина шейки – расстояние между краем головки спереди до середины межвертельного гребня
ВДШ	Верхняя длина шейки бедренной кости – расстояние между большим вертелом и краем головки сверху
НДШ	Нижняя длина шейки – расстояние между краем головки до малого вертела
МБР	Расстояние между вершинами большого и малого вертела бедренной кости
ДШУ	Диафизарно-шеечный угол
АНТ	АНТ – угол анте- (ретро)версии шейки кости или угол отклонения оси шейки кпереди или кзади от фронтальной плоскости, проведенной по задней поверхности мышечков
ТОР	ТОР – угол сочленения шейки бедренной кости с диафизом в сагиттальной плоскости

Остеометрия структур диафиза

Наименование структуры	Расшифровка измерений
Дг	Наибольшая длина кости, измеренная между максимально удаленными точками на нижней поверхности медиального мышцелка и наивысшей точкой на головке
Дбв	Наибольшая длина кости, измеренная между максимально удаленными точками на нижней поверхности медиального мышцелка и наивысшей точкой на большом вертеле
ØДп	Поперечный диаметр диафиза – расстояние между боковыми точками на середине длины кости во фронтальной плоскости
ØДс	Сагиттальный диаметр диафиза – переднезаднее расстояние, измеренное на середине длины кости
УНД	Угол наклона оси диафиза по отношению к перпендикуляру, восстановленному от горизонтальной плоскости мышечков
СКД	Степень изогнутости диафиза или расстояние между передней поверхностью диафиза на середине длины кости и плоскостью,

	проведенной между задними поверхностями головки и мыщелков, измеренное в сагиттальной плоскости
--	---

Таблица 3

Остеометрия структур дистального эпифиза

Наименование структуры	Расшифровка измерений
ШДЭ	Ширина дистального эпифиза – наибольшее расстояние между надмыщелками
ШММЯ	Ширина межмыщелковой ямки – внутреннее расстояние между краями ямки
ШНК	Ширина суставной поверхности для надколенника
ØММ	Сагиттальный размер медиального мыщелка
ШММ	Ширина суставной поверхности медиального мыщелка для бедренных костей
ШЛМ	Ширина суставной поверхности латерального мыщелка для бедренных костей
ØЛМ	Сагиттальный диаметр латерального мыщелка
ШМНМ	Ширина медиального надмыщелка – расстояние, измеренное горизонтально от максимально выступающей точки надмыщелка до края суставной поверхности
ШЛНМ	Ширина латерального надмыщелка – расстояние, измеренное горизонтально от максимально выступающей точки надмыщелка до края суставной поверхности

Все цифровые значения размеров структур, измеряемые в миллиметрах, на следующем этапе делились на величину поперечного диаметра диафиза кости, измеренного на середине длины кости, что позволило учесть влияние соматотипа людей, веса и степени развития костяка у животных на формирование структурной организации кости. Дальнейшей обработке подвергались относительные значения изучаемых структур. Математические модели структурной организации костей были созданы по результатам многомерного корреляционного анализа методом Maximum Likelihood Factor с вращением Equamax normalized в демо-версиях программы Statistica 6.0–10.0. Сила коррелированности между структурами кости, составляющими один фактор при уровне статистической значимости 99,95 % ($p \geq 0,05$), составила $|0,7-1,0|$. Формирование уровней структурной организации костей шло путем уменьшения доли выделенной дисперсии в каждом последующем факторе. Все требования к выборкам для проведения факторного анализа были выполнены. В качестве корреляционной матрицы использовалась матрица корреляции Спирмена.

Результаты исследования и их обсуждение

Структурная организация бедренных костей независимо от видовой принадлежности оказалась асимметричной. Эта асимметрия проявилась различием как числа уровней структурной организации, так и параметров вовлеченных в организацию уровней. Так,

правая бедренная кость человека (ПБК) имела четырехуровневую структуру, левая (ЛБК) — трехуровневую. Структурная организация правой бедренной кости быка имела 3 уровня, левой – 4. Структура костей галолирующих животных – собак и кроликов – показала 4 уровня. Модели структурной организации бедренных костей, созданные по результатам факторного анализа, представлены на рисунках 1–4.

В структуре ПБК быков выделено 14 коррелирующих параметров, ЛБК – 15. У собак справа – 12, слева – 15; у кроликов справа – 24, слева – 20. У человека независимо от принадлежности к стороне – 19 (табл. 4).

Таблица 4

Межвидовое распределение числа коррелирующих параметров в структуре бедренной кости

вид	Bos taurus taurus, L.1758		Canis lupus familiaris, L.1758		Oryctolagus cuniculus, L.1758		Современный человек	
	ПБК	ЛБК	ПБК	ЛБК	ПБК	ЛБК	ПБК	ЛБК
Часть кости	ПБК	ЛБК	ПБК	ЛБК	ПБК	ЛБК	ПБК	ЛБК
Проксимальный эпифиз	6	4	5	6	12	10	9	6
Диафиз	3	5	2	4	5	1	3	4
Дистальный эпифиз	5	6	5	5	7	9	7	9
Всего	14	15	12	15	24	20	19	19

Примечание: ПБК – правая бедренная кость, ЛБК – левая бедренная кость.

У каждого из изучаемых видов были выделены системно стабильные параметры, присутствующие в структурной организации бедренных костей обеих конечностей представителей одного вида животных (рис. 1–4). Таких базовых параметров больше всего выделено у человека и кроликов – 14. В структуре бедренных костей быков данных параметров выявлено 6, собак – 4 (рис. 1–4). Параметры, присутствующие в структурной организации бедренных костей одной из конечностей, были определены как нестабильные.

Bos taurus taurus, L.1758

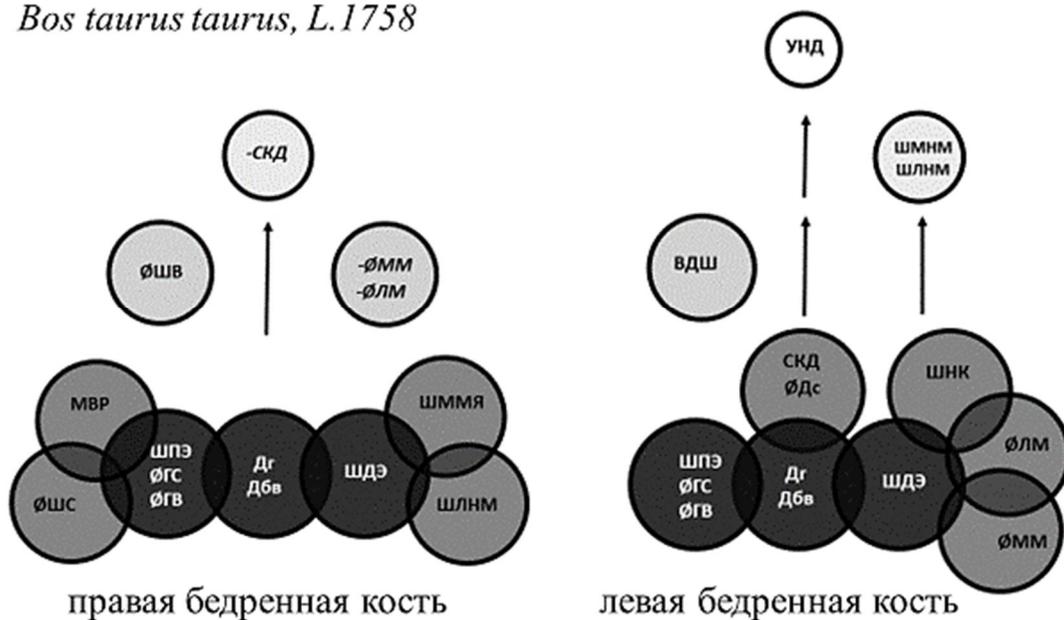


Рис. 1. Структурная организация бедренной кости быков

Примечание: Темно-серым цветом обозначены стабильные параметры, влияющие на структуру обеих костей. Курсивным шрифтом со знаком «минус» обозначены параметры, оказывающие отрицательное влияние.

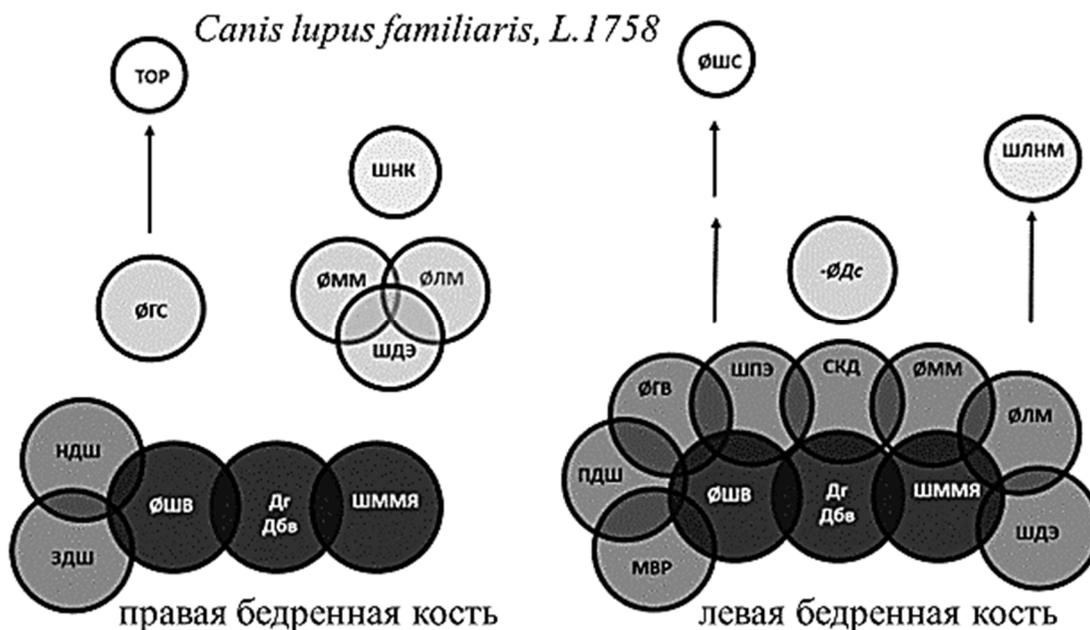


Рис. 2. Структурная организация бедренной кости собак

Примечание: Темно-серым цветом обозначены стабильные параметры, влияющие на структуру обеих костей. Курсивным шрифтом со знаком «минус» обозначены параметры, оказывающие отрицательное влияние.

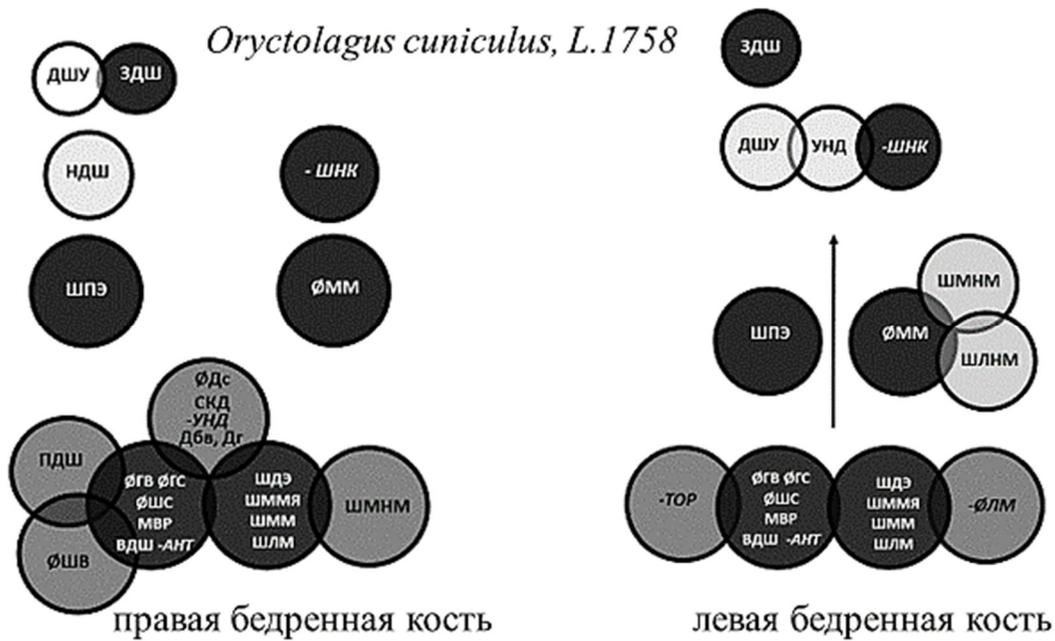


Рис. 3. Структурная организация бедренной кости кроликов

Примечание: Темно-серым цветом обозначены стабильные параметры, влияющие на структуру обеих костей. Курсивным шрифтом со знаком «минус» обозначены параметры, оказывающие отрицательное влияние.

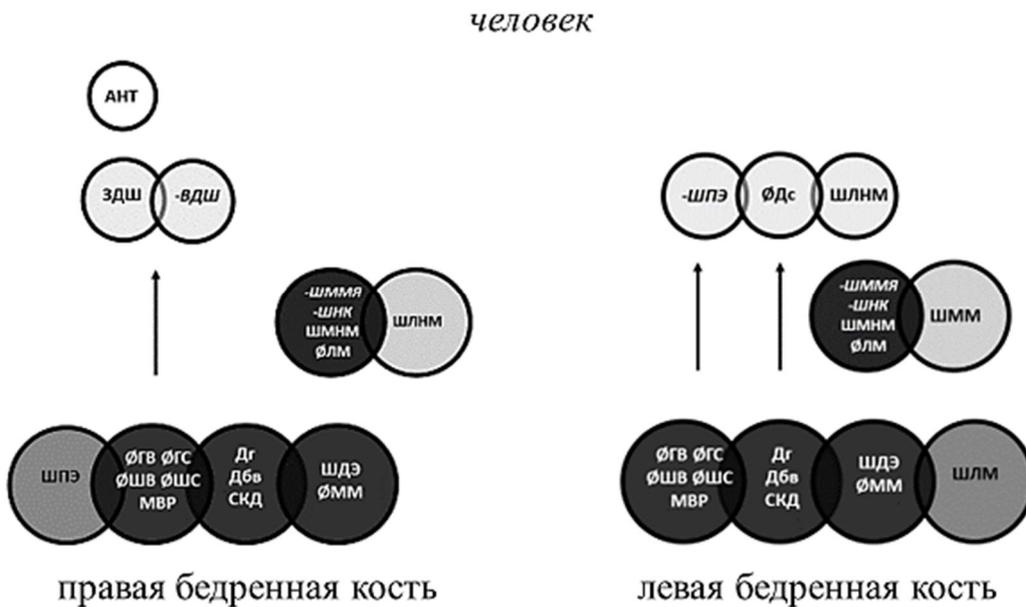


Рис. 4. Структурная организация бедренной кости человека

Примечание: Темно-серым цветом обозначены стабильные параметры, влияющие на структуру обеих костей. Курсивным шрифтом со знаком «минус» обозначены параметры, оказывающие отрицательное влияние.

У человека, собак и быков общим стабильным структурообразующим параметром первого уровня явилась длина кости, измеренная как от головки, так и от большого вертела. Базовая структура ЛБК кроликов лишена значимых корреляционных нагрузок на данный

параметр, что может быть связано с асимметричностью конечностей в реализации опорной функции. Независимо от принадлежности к виду и стороне тела в основе структурной организации бедренной кости лежат параметры, отвечающие за передачу веса по оси конечности и осуществление сгибательно-разгибательных движений в обоих суставах. Эти параметры присутствуют у большинства исследуемых видов на костях обеих сторон тела. Это размеры головки, шейки, ширина дистального эпифиза и сагиттальный диаметр медиального мыщелка (рис. 1, 3, 4).

С расширением амплитуды сгибательно-разгибательных движений в тазобедренном суставе у животных, способных к практически вертикальному выталкиванию тела при прыжках [5] (кролик), и у человека в группе стабильных системообразующих параметров первого уровня появляются факторные нагрузки на межвертельное расстояние (рис. 3, 4). Изменения структурной организации проксимального эпифиза кроликов, связанные с прыжками, проявились факторными нагрузками на параметр, не только отражающий стереометрию проксимального эпифиза и гармоничность биомеханики животного, но и обеспечивающий передачу веса от центра тяжести на задние конечности. Это задняя длина шейки бедренной кости и величина антерверсии, одинаково вовлеченные в структурную организацию контрлатеральных костей у животных с симметричным типом локомоции – кроликов (рис. 3).

Выделение медиального мыщелка как стабильного структурообразующего параметра указывает на передачу силовых нагрузок через медиальный мыщелок независимо от видовой принадлежности и латерализации конечности. Отрицательные корреляционные нагрузки на ширину суставной поверхности для надколенника, характерные для человека и кроликов, указывают на увеличение роли данного параметра при переходе к прямохождению. У животных надколенник расположен значительно выше плоскости коленного сустава и играет в большей степени роль блока, увеличивающего силу четырехглавой мышцы бедра [6, 7]. У человека надколенник расположен несколько ниже и не только увеличивает силу четырехглавой мышцы бедра, но и ограничивает амплитуду разгибания в коленном суставе, что препятствует опрокидыванию корпуса при ходьбе [8]. Изменения структурной организации дистального эпифиза кости при переходе к прямохождению характеризуются отрицательными корреляционными нагрузками на ширину межмыщелковой ямки бедренной кости человека (рис. 4). Данный параметр определяет длину крестообразных связок и степень фиксации менисков. У животных, не имеющих механизма «запирания» коленного сустава при трансляции веса по оси конечности [6, 9, 10], – собак и кроликов – нагрузки на данный параметр будут положительными. У быков, имеющих фиброзный тяж, фиксирующий коленный сустав при опоре, факторные нагрузки неинформативны (рис. 1–3).

Системно нестабильные параметры, присутствующие только на одной из костей, вызывают максимальный интерес, поскольку отражают изменения структурной организации бедренной кости, связанные с особенностями локомоции. Асимметричность вовлечения параметров эпифизов кости в структурную организацию указывает, на наш взгляд, на морфофункциональную дифференциацию контрлатеральных костей на уровне эпифизов, в большей степени характерную для человека и животных с асимметричным способом локомоции (рис. 1–4).

Так, структурная организация проксимального эпифиза ПБК человека отличается положительными корреляционными нагрузками на ширину проксимального эпифиза, заднюю длину шейки и угол антеверсии, отрицательными нагрузками на верхнюю длину шейки, слева – отрицательными нагрузками на ширину проксимального эпифиза. У быков, которые, как и человек, являются представителями животного мира с асимметричной локомоцией, в структуре проксимального эпифиза ПБК присутствуют нагрузки на шейку и межвертельное расстояние, слева только на верхнюю длину шейки, что также указывает на морфофункциональную асимметрию. У животных, способных к одновременному отрыву задних лап при типичной локомоции, асимметричность организации проксимального эпифиза выражена меньше.

Асимметричность организации дистального эпифиза выражена значительно меньше, чем проксимального эпифиза, и проявляется миграцией параметров между уровнями структурной организации. При этом у быков в структурной организации дистального эпифиза ЛБК присутствуют нагрузки на ширину медиального надмыщелка. Степень выраженности медиального надмыщелка зависит от активности приводящих мышц, обеспечивающих поструральную устойчивость животного [5, 9]. Дистальный эпифиз ЛБК кроликов и собак в своей структурной организации имеет нагрузки на ширину латерального надмыщелка. У человека ширина латерального надмыщелка влияет на структурную организацию ПБК. От латерального надмыщелка у человека и животных начинаются латеральное брюшко икроножной мышцы и подошвенная мышца. Они обеспечивают не только сгибание в коленном суставе, но и пронацию голени. Нестабильные параметры дистального эпифиза указывают на асимметричность реализации двигательной функции как на уровне коленного сустава, так и нижележащих отделов конечности.

Заключение

Таким образом, структурная организация бедренной кости зависит от функциональной активности конечности. Увеличение последней приводит к росту числа стабильных структурообразующих параметров.

Для структурной организации бедренной кости человека и животных характерна

латентная морфофункциональная асимметрия, свидетельствующая о различиях в функционировании эпифизов контрлатеральных костей.

Структурная организация бедренной кости человека подверглась большой перестройке, связанной с прямохождением. Она отличается увеличением числа коррелирующих параметров проксимального эпифиза при сохранении уровня коррелированности параметров дистального эпифиза.

Список литературы

1. Ruff C.B. Mechanical determinants of bone form: insights from skeletal remains. *J. Musculoskelet Neuronal Interact.* 2005. Vol. 5, Iss. 3. P. 202–212.
2. Тихилов Р.М., Шубняков М.И., Бояров А.А., Денисов А.О., Шубняков И.И. Влияние различных факторов на темпы износа полиэтиленового вкладыша в эндопротезах тазобедренного сустава // *Травматология и ортопедия России.* 2018. Т. 24. № 1. С. 18-28.
3. Яшина И.Н., Иванов А.В., Пилюгин С.В., Иванов М.А. Методы математического анализа при изучении организации стилоподия тазовой конечности наземных животных на примере кролика европейского // *Журнал анатомии и гистопатологии.* 2017. Т. 6, № 4. С. 63–68.
4. Яшина И.Н. Вопросы дивергенции в строении бедренной кости человека и некоторых тетраподов // *Журнал анатомии и гистопатологии.* 2018. Т. 7, № 4. С.102-107.
5. Alexander R.M. *Principles of Animal Locomotion.* Princeton: Princeton University Press., 2003. 384 p.
6. Franklin S.P., Franklin A.L., Wilson H., Schultz L.G., Bal B., Cook J.L. The relationship of the canine femoral head to the femoral neck: an anatomic study with relevance for hip arthroplasty implant design and implantation. *Vet. Surg.* 2012. Vol. 41, Iss. 1. P. 86–93.
7. Shahar R., Milgram S.J. Morphometric and anatomic study of the forelimb of the dog. *J. Morphol.* 2005. Vol. 263, Iss. 1. P. 107–117.
8. Капанджи А.И. Нижняя конечность. Функциональная анатомия. М.: Эксмо, 2010. 352 с.
9. Denny M.W. Limits to running speed in dogs, horses and humans. *J. Exp. Biol.* 2008. Vol. 211, Pt. 24. P. 3836–3849.
10. Simons R.S. Running, breathing and visceral motion in the domestic rabbit (*Oryctolagus cuniculus*): testing visceral displacement hypotheses. *J. Exp. Biol.* 1999. Vol. 202, Pt 5. P. 563–577.