

Структурный адаптогенез скелета конечностей животных при различной статолокомоции

*Н.А. Слесаренко, д.б.н., профессор,
Э.К. Гасангусейнова, к.б.н.,
Е.О. Широкова, соискатель, Московская ГАВМиБ*

Выявление закономерностей структурного адаптогенеза скелета у животных, отличающихся механизмом статолокомоторного акта, остаётся до настоящего времени одной из фундаментальных проблем морфологической науки, поскольку позволяет оценить роль функциональной нагрузки в направленности развития приспособительных перестроек в биотканях опорно-двигательного аппарата. Исходя из этого в настоящем сообщении обсуждаются результаты исследований, посвящённые изучению закономерностей и видовых особенностей структурного состояния скелета на модели бедренной кости у животных, отличающихся характером

статолокомоции, и выявлению тех структурных адаптивных преобразований, которые обусловлены влиянием морфофункционального типа конечностей [1, 2, 4, 5].

Материал и методы исследования. В число объектов исследований включены три вида животных половозрелого возраста (норка, собака, свинья), отличающихся образом жизни, способом передвижения и механизмом статолокомоторного акта (стопо-, пальце-, фалангохождения). Кадаверный материал (трубчатые кости) был отобран от животных, не страдающих патологиями опорно-двигательного аппарата. Бедренные кости норки получали в племенном звероводческом хозяйстве «Салтыковский» Московской области, собак и свиней отбирали от животных, поступающих на кафедру анатомии и гистологии МГАВМиБ. Использовали ком-

плексный методический подход, включающий анатомическое препарирование, обзорную рентгенографию и рентгеноденситометрию, световую микроскопию гистологических срезов компактной костной ткани, сканирующую электронную микроскопию. Цифровой материал подвергали статистической обработке по стандартным методикам.

Результаты исследований. При визуальном изучении рентгенограмм и микрорентгенограмм установлено, что изучаемые кости у всех трёх видов животных к половозрелому возрасту приобретают дифинитивное структурное оформление, выражающееся в специфичности макроархитектуры и закономерностей дифференциации костной структуры в эпифизарном и диафизарном отделах (рис.).

При цветовой дешифровке рентгенограмм обращает на себя внимание тот факт, что костная структура в изучаемых костях у стопоходящих и пальцеходящих представителей по темпам дифференцировки опережает пальцеходящих. Так, у стопоходящей норки она в эпифизарных отделах мелкопетлистая с грацильными костными балками и их чёткой векторной ориентацией, у пальцеходящей лисицы в большинстве (80%) случаев аналогичная по структурной организации, у отдельных представителей – переходная (от мелко- к крупнопетливой) с трабекулярной ориентацией по векторам опорно-силовой нагрузки, у фалангоходящей свиньи метаэпифизарные отделы кости сформированы преимущественно крупнопетливой структурой, которая в отдельных случаях (15%) имеет признаки ноздреватости.

При анализе морфометрических показателей компактного вещества установлено его достоверное утолщение в середине диафизарной трубки у стопоходящей норки по сравнению с собакой и свиньей, что подтверждается цифровыми выражениями индекса развитости компакты (табл. 1).

На основании изучения микроархитектоники компактной костной ткани у изучаемых животных выявлено, что уровень зрелости структурного оформления компактной костной ткани на примере бедренной кости выражается в строго закономерном распределении массы компакты по окружности диафиза. В отделах кости, испытывающих основную опорно-силовую нагрузку, обнаружено достоверное ($P < 0,05$) утолщение компактной субстанции: у стопо- и пальцеходящих в медиальном секторе, в то время как у фалангоходящих – в каудальном. Следует подчеркнуть, что утолщение компакты сопровождается возрастанием количественного представительства остеонных систем.

Данные по соотносительному распределению в компакте системы генеральных костных пла-

стин показывают, что у стопоходящей норки и пальцеходящей собаки в компактном веществе территории, занятые эндостальными костными пластинами, преобладают над периостальными, в то время как у фалангоходящей свиньи в системе костных пластин достоверно доминирует периостальный пластинчатый комплекс.

Анализ структурных эквивалентов адаптивного ремоделирования микроархитектоники костной ткани показал видовые признаки организации остеонных структур у изучаемых млекопитающих, касающихся их формы и размеров. Так, наибольшее количество остеонных структур на эквивалентной площади гистологического среза выявлено у норки, минимальное количество – у свиньи, собака по этому показателю занимает промежуточное положение. Более того, сами остеонные структуры по своей организации у фалангоходящей свиньи довольно однотипны и имеют преимущественно округлую форму, в то время как у стопоходящей норки они достоверно мельче и весьма вариабельны по форме (табл. 2, 3).

В результате проведённых исследований, можно заключить, что ростовые процессы по периметру диафизарной трубки у всех исследуемых животных протекают неравномерно, что хорошо ассоциируется с данными, полученными на основании изучения микроархи-

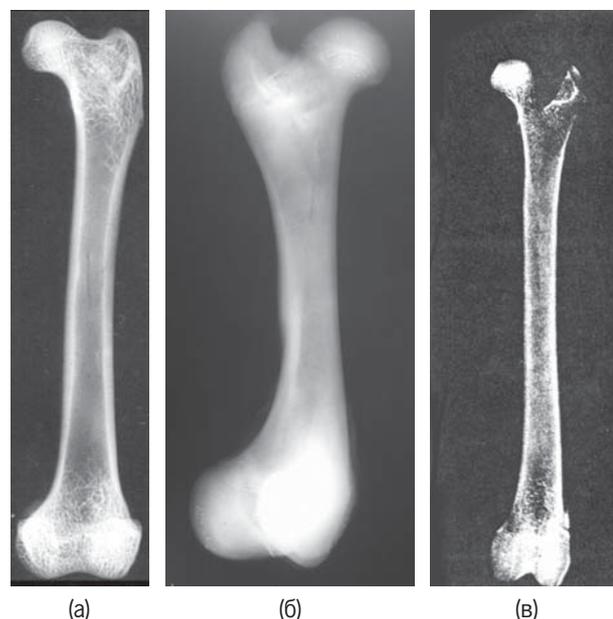


Рис. – Фотоотпечатки с рентгенограмм бедренных костей взрослой норки (а), собаки (б), свиньи (в) (ув. 2)

1. Показатели индекса развитости компакты (ИРК) костей стилоподия млекопитающих при различной локомоции, % ($X \pm Sx$)

Кость	Вид животного		
	норка	собака	свинья
Бедренная	44,50±1,56	30,00±1,05	35,00±1,23

2. Соотносительное развитие структурных зон в компакте костей стилоподия, % ($X \pm Sx$)

Бедренная кость	Вид животного		
	норка	собака	свинья
	<i>Os femoris</i>	<i>Os femoris</i>	<i>Os femoris</i>
	краниальный сектор		
Эндостальная зона	7,19±0,25	8,11±0,28	5,56±0,19
Периостальная зона	5,01±0,18	11,71±0,41	10,53±0,37
Остеонная зона	87,81±3,07	80,18±2,81	83,91±2,94
медиальный сектор			
Эндостальная зона	9,00±0,31	10,26±0,36	7,03±0,25
Периостальная зона	2,01±0,07	5,98±0,21	8,28±0,29
Остеонная зона	89,00±3,12	83,76±2,93	84,69±2,96
латеральный сектор			
Эндостальная зона	5,06±0,18	10,62±0,37	7,63±0,27
Периостальная зона	4,97±0,17	9,73±0,34	8,65±0,31
Остеонная зона	89,98±3,15	79,65±2,79	83,72±2,93
каудальный сектор			
Эндостальная зона	4,87±0,17	9,35±0,33	7,64±0,27
Периостальная зона	7,75±0,27	8,41±0,29	5,62±0,20
Остеонная зона	87,98±3,08	82,24±2,88	86,74±3,04

3. Соотношение костных пластин и остеонных структур компакты костей стилоподия у млекопитающих, % ($X \pm Sx$)

Бедренная кость	Вид животного		
	норка	собака	свинья
	<i>Os femoris</i>	<i>Os femoris</i>	<i>Os femoris</i>
	краниальный сектор		
Зона генеральных костных пластин	12,29±0,43	11,88±0,42	16,13±0,56
Зона остеонов	97,71±3,42	88,12±3,08	83,87±2,94
медиальный сектор			
Зона генеральных костных пластин	10,98±0,38	16,24±0,57	15,31±0,54
Зона остеонов	89,02±3,12	83,76±2,93	84,69±2,96
латеральный сектор			
Зона генеральных костных пластин	10,09±0,34	20,35±0,71	16,27±0,57
Зона остеонов	89,91±3,06	79,65±2,79	83,73±2,93
каудальный сектор			
Зона генеральных костных пластин	11,96±0,42	17,76±0,62	15,24±0,53
Зона остеонов	88,04±3,08	82,24±2,88	84,76±2,97

4. Данные морфометрии компакты костей стилоподия у млекопитающих, мкм ($X \pm Sx$)

Бедренная кость	Вид животного		
	норка	собака	свинья
	<i>Os femoris</i>	<i>Os femoris</i>	<i>Os femoris</i>
	краниальный сектор		
Эндостальная зона	6,50±0,23	9,00±0,32	26,00±0,91
Периостальная зона	4,50±0,16	3,00±0,11	49,00±1,72
Остеонная зона	78,50±2,75	89,00±3,12	390,00±13,65
медиальный сектор			
Эндостальная зона	11,50±0,40	12,00±0,42	35,20±1,23
Периостальная зона	2,50±0,09	7,00±0,25	41,50±1,45
Остеонная зона	113,50±3,97	98,00±3,43	424,30±14,85

тектоники компактной костной ткани. Вместе с тем распределение массивности компакты по окружности диафиза происходит закономерно в соответствии с типом опоры и характером локомоции животных (табл. 4).

Полученные данные позволяют в некоторой степени вскрыть механизмы реализации структурных эколого-адаптивных перестроек в скелете в условиях двигательного поведения животных,

которые в настоящее время развиты в концепцию биомеханической адаптации кости к условиям нагружения [3]. Можно полагать, что одним из её структурных проявлений является изменение пропорций между зоной остеонных систем и пластинчатым комплексом. Соотносительное распределение территорий, занятых остеонными системами, периостальными и эндостальными генеральными костными пластинами, у изучае-

мых нами представителей млекопитающих может отражать как общие закономерности, так и видоспецифические особенности остеопластического процесса, связанные с периостальной аппозицией и эндостальной резорбцией костного вещества при статолокомоции.

Таким образом, статолокомоторный механизм конечности — один из важнейших факторов, определяющих темпы перманентной реконструкции кости и характер адаптивного ремоделирования микроархитектоники костной ткани.

Выводы:

1. Установлены общие закономерности и видовые особенности морфологической организации скелета конечностей у стопо-, пальце- и фалангоходящих животных, обусловленные морфофункциональным типом конечностей.

2. Структурный адаптогенез периферического скелета регламентирован статолокомоторным механизмом конечностей. Стопоходящая норка опережает пальцеходящую лисицу и фалангоходящую свинью по плотности композиции спон-

гиозы в метаэпифизарных отделах бедренной кости и индексу развитости компакты в середине диафизарной трубки.

3. Направление структурного адаптогенеза, выражающегося в количестве и форме остеонных систем, соотносительном распределении пластинчатого комплекса и остеонных структур, подчинено биомеханике двигательного поведения изучаемых животных, и в первую очередь механизму их статолокомоторного акта.

Литература

1. Слесаренко Н.А., Амосов И.С., Белов А.Д. Рентгенодиагностика структурного состояния костной системы животных: метод. указ. М., 1985. С. 15–17.
2. Слесаренко Н.А., Денисов-Никольский Ю.Н., Матвейчук И.В. Проведение морфомеханических исследований в остеологии: методич. рекомендации. М., 1998. 22 с.
3. Матвейчук И.В., Денисов-Никольский Ю.И. Региональные особенности механических характеристик компактного вещества бедренной кости // Проблемы инженерной медицины. 1985. № 443. С. 65–78.
4. Albu I., Geogia R. Harversion canale anastomoses in the long human bones // Morphol. et embriol. 1987. Vol. 3. № 3. P. 167–169.
5. Amosov I.S., Slesarenko N.A. Veränderung der Knochenstruktur unter eigeschränkter Bevegungsaktivität // Radiologia, diagnostica. 1985. Bd. 26. H. 3. S. 397–405.