

УДК 591.17.471.37:598.2

ДИНАМИКА НЕКОТОРЫХ БИОМЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОСТЕЙ ТАЗОВОЙ КОНЕЧНОСТИ У ФАЗАНА (*PHASIANUS COLCHICUS*) В ПОСТНАТАЛЬНОМ ОНТОГЕНЕЗЕ

И. А. Богданович, В. И. Клыков

Институт зоологии НАН Украины, ул. Б. Хмельницкого, 15, 252601 Киев-30, ГСП, Украина

Получено 27 ноября 1996

Динаміка деяких біомеханічних характеристик кісток тазової кінцівки у фазана (*Phasianus colchicus*) в постнатальному онтогенезі. Богданович І. О., Клыков В. І. — Проведено дослідження вікової динаміки деяких біомеханічних показників стегнової, великої гомілкової та тарзометатарзальної кісток фазана віком 1, 7, 14, 30, 60, 120 та 180 діб. Встановлено, що із зростанням віку та маси тіла змінюються форма поперечного перерізу кісток і орієнтація осей моментів інерції, збільшується величина моментів інерції та площа компакти, зменшується індекс компакти.

К л ю ч о в і с л о в а: фазан, тазовий пояс кінцівок, кістки, вік, розвиток, біомеханіка.

Dynamics of Certain Pelvic Limb Bones Biomechanic Characteristics During Postnatal Development of the Pheasant. Bogdanovich I. A., Klykov V. I.—The age dynamics of femoral, tibial and tarsometatarsal bones biomechanic properties is studied in pheasant (*Phasianus colchicus*) at an age of 1, 7, 14, 30, 60, 120 and 180 days. The shape of the bone cross section, the inertia moment axis orientation are found to be changed with age and body mass increase, moment of inertia value and compacta square increase, compacta index decreases.

К е у w o r d s: pheasant, pelvic limb, bones, age, development, biomechanics.

Одним из ключевых вопросов эволюционной, сравнительной и функциональной морфологии является проблема морфогенеза тканей, органов и их систем. Определенные решения, касающиеся обусловленности, направленности и механизмов морфогенетических перестроек, могут быть получены при изучении физико-механических свойств элементов, в данном случае скелета конечностей. Особенно интересными и менее изученными, на наш взгляд, являются онтогенетические преобразования, результирующие формирование дефинитивной формы, четко адаптированной к восприятию внешних воздействий определенного характера.

Изучены трубчатые кости тазовой конечности фазана возраста 1, 7, 14, 30, 60, 120 и 180 сут. Кости рассекали поперечно в середине диафиза, при увеличении под бинокляром зарисовывали внешний и внутренний контуры сечений. Внутри полученного сечения проводили оси прямоугольной системы координат с нанесением пронумерованных точек и определением координат каждой из них (рис.1). Полученный цифровой материал обрабатывали по соответствующей программе (Мельник, Клыков, 1991) и получали: S — площадь сечения (мм^2); Sk — площадь компакты (мм^2); Ik — индекс компакты; Imax, Imin — значения экстремальных моментов инерции (мм^2); α — угол поворота системы координат (с минусом — против часовой стрелки), определяющий положение центральных осей моментов инерции (таблица).

Известно, что прочность конструкции существенно зависит от геометрии составляющих ее элементов. Одним из эффективных показателей функциональной “жесткости” изучаемых скелетных элементов конечностей является момент инерции плоской фигуры относительно оси, лежащей в ее плоскости. В нашем случае такой плоской фигурой является поперечное сечения кости в середине диафиза (рис. 1).

Одним из первых на важное значение изучения моментов инерции трубчатых костей позвоночных указал Н. Н. Боголюбов (Боголюбов, 1940). Моменты инерции по длине кости варьируют. Можно принять, что в первом приближении физические свойства костной ткани в любой точке элемента одинаковы, в этом случае величина моментов инерции выражает способность кости в данном участке сопротивляться внешним воздействиям, которые определяются главным образом двумя факторами — массой тела и подвижностью животного. Поэтому вполне естественно, что показатели моментов инерции каждой из костей с возрастом

должны увеличиваться (таблица, рис. 2). Это подтверждается сравнением кривых изменения массы тела птицы (рис. 3) и моментов инерции. Определенная нами величина максимального момента инерции взаимосвязана с массой тела птицы, что характеризуется высоким показателем коэффициента корреляции: $r = 0,97$ для бедренной кости, $0,98$ для большеберцовой и $0,93$ для тарзометатарзуса.

Величины экстремальных моментов инерции, отмеченные для возраста 6 месяцев, очевидно, близки в целом к максимальным для данного вида. К этому возрасту птица становится вполне взрослой, о чем свидетельствует окончание линьки в первый взрослый наряд (Потапов, 1987) и достижение максимальных значений массы тела (Milby, Henderson, 1937).

Специальные исследования (межвидовые сравнения дефинитивных форм), включающие в частности материал по бедренным и плечевым костям птиц, также показали высокую степень коррелятивной связи ($r = 0,93-0,97$) между массой тела и геометрическими параметрами компактного вещества (Бурко, 1995). Именно эти параметры и определяют величину момента инерции.

Следует отметить своеобразие динамики минимального момента инерции тарзометатарзуса, величина которого не только не возрастает, но даже несколько падает на возрастном отрезке от 4 до 6 мес (таблица, рис. 2). Вероятнее всего, это связано с формированием дефинитивной формы данной кости, заметно уплощенной дорсовентрально, в отличие от бедренной и большеберцовой костей, поперечные срезы диафизов которых близки к круглым кольцевым сечениям.

В связи с этим представляет интерес выяснение онтогенетической изменчивости ориентации осей моментов инерции. Указанный в таблице угол показывает, насколько нужно повернуть первоначально нанесенную для обмера сечений систему координат для совпадения ее осей с таковыми экстремальных моментов инерции (рис. 1). Анализ положений осей и численных

Т а б л и ц а 1. Динамика биомеханических параметров сечений костей тазовой конечности фазана

T a b l e 1. Dynamics of the biomechanical parameters of the pelvic extremity bone cross-section of pheasant

Основные параметры	Возраст, сутки						
	1	7	14	30	60	120	180
Бедренная кость							
S	0,76	1,81	3,50	8,00	10,00	12,50	19,00
Sk	0,47	0,90	1,70	3,60	3,50	3,40	5,30
Ik	0,62	0,50	0,50	0,46	0,34	0,27	0,28
I _{max}	0,04	0,20	0,76	4,50	4,90	6,51	16,70
I _{max} /I _{min}	1,33	1,05	1,19	1,75	1,75	1,51	1,49
	77	5	-82	89	78	-74	-86
Большеберцовая кость							
S	1,00	1,40	2,20	5,60	6,50	11,00	18,00
Sk	0,53	0,64	1,10	2,50	2,60	4,80	6,50
Ik	0,54	0,47	0,53	0,45	0,39	0,44	0,37
I _{max}	0,08	0,15	0,32	1,80	2,90	8,80	16,80
I _{max} /I _{min}	1,51	1,96	1,27	1,19	1,82	1,79	1,32
	81	77	-89	-64	-87	88	-78
Цевка							
S	1,50	1,90	1,90	1,70	4,00	10,00	7,80
Sk	0,97	1,00	1,20	1,10	2,00	3,90	4,40
Ik	0,63	0,59	0,67	0,65	0,48	0,40	0,52
I _{max}	0,27	0,41	0,39	0,30	1,30	5,60	8,00
I _{max} /I _{min}	2,78	3,13	2,78	2,70	1,89	2,00	3,03
	-89	80	81	80	79	85	-85

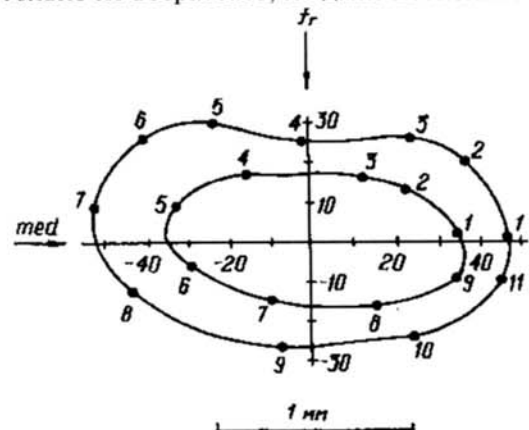


Рис. 1. К методике определения биомеханических показателей кости. Фазан, тарзометатарзальная кость, 7 дней.

Fig. 1. A method of the bone biomechanical indices determination. Pheasant, tarsometatarsal bone, age 7 days.

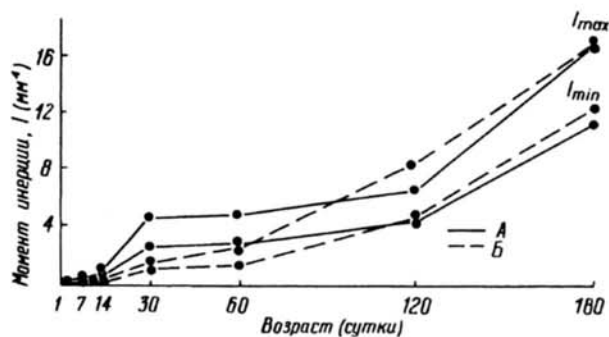


Рис. 2. Возрастные изменения величины моментов инерции бедренной (А) и большеберцовой (Б) костей фазана.

Fig. 2. Moments of inertia age changes of the femoral (A) and tibial (B) bones in pheasant.

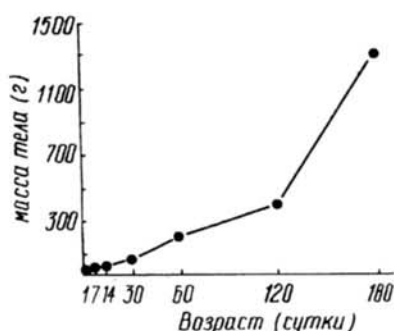


Рис. 3. Возрастные изменения массы тела фазана.

Fig. 3. Body mass age changes in pheasant.

значений центральных моментов инерции сечений элементов тазовой конечности фазана в постнатальный период развития показал, что для всех исследованных трубчатых костей фронтальная прочность превышает сагиттальную, что особенно выражено в дистальных элементах. Так, фронтальная прочность цевки взрослой птицы в 3 раза выше сагиттальной, бедра и голени — в 1,3–1,5 раза. В целом такие соотношения сохраняются в течении всего постнатального периода.

Не менее интересной биомеханической характеристикой кости является показатель относительного развития компактного вещества (индекс компакты), неоднократно анализируемый в работах на млекопитающих (Ипполитова, 1964; Клебанова, 1964; Мельник, 1965) и особенно важный для анализа пневматизированных костей птиц. Очевидно, что способность кости выдерживать те или иные нагрузки зависит как от распределения костного вещества по периметру кости (что учитывается величиной момента инерции), так и от его количества и структуры. Этот показатель, несомненно, более точен по сравнению с показателем "прочности" кости, определяемым как отношение ее фронтального и сагиттального диаметров (Алексеев, 1966).

С увеличением возраста (следовательно, с увеличением размеров кости) общая площадь компакты возрастает на разных отрезках времени неравномерно (рис. 4). Как правило, периоды наиболее резкого увеличения или уменьшения общей площади компакты бедренной и большеберцовой костей совпадают с обратными изменениями индекса компакты (рис. 4). Следовательно, в постэмбриональный период происходит относительное истончение компактного вещества кости с увеличением костномозговой полости и усилением гемопозитической функции костного мозга. Несколько иначе ведет себя тарзометатарзус, относительная толщина компактного вещества которого с возрастом уменьшается в наименьшей степени

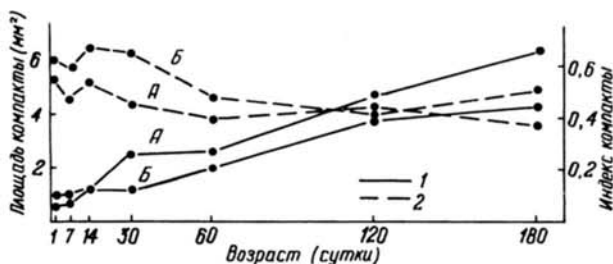


Рис. 4. Возрастные изменения площади (1) и индекса (2) компакты большеберцовой кости (А) и цевки (Б) фазана.

Fig. 4. Age changes of the compacta square (1) and index (2) of the tibial (A) and tarsometatarsal (B) bones in pheasant.

(табл. 1), а указанная выше закономерность не столь выражена (рис. 4). Отмеченное истончение компакты вполне объяснимо с учетом общей тенденции облегчения скелета птиц, тогда как сохранение ее относительно большой толщины для тарзометатарзуса, очевидно, взаимосвязано с геометрией сечения этой кости, определяющей сравнительно небольшую величину моментов инерции (табл. 1).

Как указывалось выше, масса тела птицы коррелятивно связана с геометрическими параметрами сечения диафиза кости (Бурко, 1995). По нашим данным, индекс компакты также коррелятивно связан с массой тела, однако коэффициент корреляции здесь отрицательный и заметно меньше, чем для момента инерции: $r = -0,704$ (бедро), $-0,705$ (тибиотарзус) и $-0,457$ (тарзометатарзус). Вероятнее всего, увеличение жесткости кости как условие, необходимое для выдерживания возрастающих в онтогенезе нагрузок, происходит в сочетании с уменьшением индекса компакты благодаря увеличению прочности последней. Это может быть проявлением общей закономерности, установленной экспериментально на млекопитающих (Мельник, Клыков, 1991) и позволяющей уменьшать инерционные характеристики костей с минимизацией энергозатрат организма.

Алексеев В. П. Остеометрия. — М.: Наука, 1966. — 251 с.

Боголюбов Н. Н. Энергетический метод функционального исследования в биологии // Проблемы происхождения, эволюции и породообразования домашних животных. — 1940. — С. 411-438.

Бурко Л. Д. Морфологическая изменчивость и биомеханические характеристики локомоторных органов птиц: Автореф. ... канд. биол. наук. — Минск, 1995. — 17 с.

Ипполитова В. И. Микротвердость отдельных гистологических структур компактного вещества костей крупного рогатого скота // Докл. ТСХА. — 1964. — С. 341-345.

Клебанова Е. А. Микроскопическое строение компактного вещества длинных костей конечностей у некоторых представителей семейства беличьих (Sciuridae) // Тр. зоол. ин-та. — 1964. — 33. — С. 256-282.

Мельник К. П. Некоторые механические свойства трубчатых костей животных в связи с принципами функционирования их конечностей // Исследования по бионике. — Киев: Наук. думка, 1965. — С. 42-48.

Мельник К. П., Клыков В. И. Локомоторный аппарат млекопитающих. — Киев: Наук. думка, 1991. — 207 с.

Ютанов Р. Л. Отряд Курообразные // Птицы СССР. — Л.: Наука, 1987. — С. 2-260.

Milby T. T., Henderson E. W. The comparative growth rates of turkeys, ducks, geese and pheasants // Poultry. — 1937. — 16. — P. 155-165.