

Таким образом, в результате исследований 1993—1994 гг. были документально подтверждены уже известные данные [2] о произрастании *Angelica palustris* на Могилевщине. Кроме того, обнаружено его новое местонахождение. Так как вид относится к евросиберско-аралокаспийскому пилоризональному элементу флоры [8], он является редким для Беларуси и, очевидно, находится здесь на северном пределе своего распространения. В то же время, учитывая тяготение дудника болотного к низинным лугам с кустарниками в долинах рек, прорезающих моренные возвышенности, вполне вероятно нахождение новых мест его произрастания в республике.

1. Черепанов С. К. Сосудистые растения СССР / Отв. ред. А. А. Федоров. Л., 1981.
2. Пачоский И. К. // Тр. Санкт-Петербург. об-ва естествоисп. СПб., 1897. Т. 27. Вып. 2. С. 1.
3. Флора БССР: В 5 т. Мн., 1955. Т. 4. С. 5.
4. Определитель высших растений Украины / Доброчаева Д. Н., Котов М. И., Прокудин Ю. Н. и др. Киев, 1987.
5. Станков С. С., Талиев В. И. Определитель высших растений Европейской части СССР. М., 1949.
6. Szafar Wl., Kulczyński St., Pawłowski B. Rosliny Polskie. Warszawa, 1953. S. 458.
7. Флора СССР. М.; Л., 1951. Т. 17. С. 10.
8. Козловская Н. В. Флора Белоруссии, закономерности ее формирования, научные основы использования и охраны: Автореф. дис. ...докт. биол. наук. Л., 1980.

УДК (598.2)591.177

Л. Д. БУРКО

ПРЕДЕЛ ПРОЧНОСТИ ДИАФИЗОВ ТРУБЧАТЫХ КОСТЕЙ ПТИЦ

Compression strength of the compact substance of tubular limb bones of the 8 species of birds has been estimated. It has been found that the compression strength does not depend on the bird size. The tubular limb bones having insignificant thickness are stronger than the thicker ones.

В группе наземных позвоночных животных птицы занимают особое место в связи с их возможностями передвигаться двумя известными разнокачественными способами. Поэтому изучение адаптивных перестроек их локомоторных систем на всех уровнях представляет значительный интерес с точки зрения познания закономерностей происхождения и эволюции конечностей наземных позвоночных, а также для решения частных вопросов орнитологии (филогения, функциональная морфология и др.). Статья посвящена изучению одного из основных биомеханических показателей компактного вещества трубчатых костей, составляющих основу локомоторных органов птиц.

Материал и методика

Одним из параметров, используемых в биомеханике, является предел прочности (предельное напряжение), который определяется отношением нагрузки, необходимой для полного разрушения (разрыва) испытуемого образца, к его поперечному сечению в месте разрушения [1, 2]. Предел прочности вычислялся по формуле $\sigma = P/F$, где σ — предел прочности, Па; P — разрушающая нагрузка, Н; F — площадь поперечного сечения образца, м². Для вычисления предела прочности трубчатых костей птиц восьми видов использованы полученные нами и ранее опубликованные данные о разрушающих нагрузках, а также методика [3]. Площадь поперечного сечения исследованных образцов трубчатых костей определялась полярным планиметром ППМ-1 по их увеличенным до определенного масштаба зарисовкам на бумаге. Полученные результаты обработаны с помощью вариационно-статистических методов [4].

Результаты и их обсуждение

Показатели предела прочности проксимальных звеньев скелета крыла и тазовой конечности птиц определены при сжатии компактного веще-

ства в условиях статической нагрузки и представлены в таблице. Как видно, в исследованную группу включены птицы, отличающиеся размерами (массой тела) — от 0,16 кг (сойка) до 1,3 кг (тетерев) и различной экологической специализацией. Предельное напряжение компактного вещества плечевых костей изменяется от 158,3±7,8 МПа (чомга) до 220,7±5,96 МПа (грач). Изменчивость данного показателя в большей степени выражена для бедренных костей. Так, минимальный показатель предела прочности у чомги 141,5±10,7 МПа, максимальный — у сойки 224,1±2,84 МПа. Минимальные значения рассматриваемого показателя как для плечевых, так и для бедренных костей характерны для чомги, представляющей в нашем исследовании одну из самых старших в филогенетическом плане группу современных птиц — отряд Поганкообразных. Трубочатые кости конечностей чомги отличаются также тем, что имеют самый высокий в данном случае индекс развития компактного вещества [5].

Полученные данные позволяют провести сравнительный анализ значений показателей прочности бедренных костей птиц в связи с их экологической специализацией. Правомерными считаем подобные сравнения для птиц одинаковых размеров. Так, предел прочности компактного вещества бедра чомги самый низкий (см. таблицу), плавание и ныряние — основные способы использования задних конечностей. Предел прочности компактного вещества бедренной кости кряквы 217,6±7,25 МПа (плавание, ныряние, передвижение по суше). Различия показателей прочности бедренных костей этих птиц значительны и достоверны ($P < 0,001$). Прочность бедренных костей тетерева (древесно-наземный способ локомоции) составляет 197,6±12,4 МПа, что ближе по значению к аналогичному показателю кряквы. Известно также, что куриные и гусеобразные связаны единством происхождения [6], что может служить объяснением некоторого сходства прочностных характеристик компактного вещества бедренных костей кряквы и тетерева.

Видовые показатели предела прочности, МПа, компактного вещества трубчатых костей птиц

Виды птиц	Масса тела, кг	Трубочатые кости			
		плечевая		бедренная	
		$\bar{X} \pm S_x$	v	$\bar{X} \pm S_x$	v
Чомга — <i>Podiceps cristatus</i>	0,90	158,3 + 7,8	10,9	141,5 + 10,7	16,8
Крякva — <i>Anas platyrhynchos</i>	1,04	184,9 + 5,7	8,7	217,6 + 7,25	10,0
Тетерев — <i>Lirurus tetrix</i>	1,30	191,5 + 10,7	14,8	197,6 + 12,4	16,5
Рябчик — <i>Tetrastes bonasia</i>	0,37	197,5 + 9,38	11,6	187,9 + 12,4	16,1
Вальдшнеп — <i>Scolopax rusticola</i>	0,30	214,9 + 9,2	12,1	201,9 + 14,7	20,5
Чайка озерная — <i>Larus ridibundus</i>	0,28	218,3 + 8,47	9,5	190,7 + 4,57	5,9
Сойка — <i>Garrulus glandarius</i>	0,16	202,5 + 2,16	2,4	224,1 + 2,84	3,3
Грач — <i>Corvus frugilegus</i>	0,49	220,7 + 5,96	8,1	180,4 + 5,04	8,4

Прочностные характеристики трубчатых костей таких птиц, как рябчик и тетерев, несмотря на значительные различия в размерах (почти в 3 раза), близки по значениям. В другой систематической группе (сем. Врановые), также с учетом разницы в размерах сойки и грача, различия предела прочности их плечевых и бедренных костей не достоверны ($P > 0,05$). Близки по значениям показатели прочности плечевых костей вальдшнепа и озерной чайки, которые существенно отличаются экологической специализацией, слабо различаются показатели прочности их бедренных костей. Вероятно, сказывается филогенетическая близость указанных видов.

По сравнению с млекопитающими предел прочности аналогичных костей конечностей птиц гораздо выше. Так, по данным [7] предел прочности компактного вещества бедренных костей млекопитающих изменяется от 84,0 МПа до 184,7 МПа; плечевых — от 95,2 МПа до 169,3 МПа.

Значительно ниже средние значения предела прочности плечевых (133,4 МПа) и бедренных (134,0 МПа) костей млекопитающих [1]. Для исследованной нами группы птиц средние значения данных показателей составляют 197,7±7,7 МПа (плечевые) и 192,7±9,0 МПа (бедренные кости).

Анализируя полученные результаты, считаем необходимым отметить, что у большинства видов птиц, представленных в нашем материале, различия рассматриваемых показателей компактного вещества проксимальных звеньев конечностей незначительны и недостоверны, в то же время у сойки, грача и кряквы они сильно различаются и являются достоверными ($P < 0,01$).

Различия прочностных характеристик компактного вещества бедренных костей сойки (224,1±2,84 МПа) и грача (180,4±5,04 МПа) (оба вида представляют сем. Врановые) можно объяснить их экологической специализацией. Сойка населяет леса и густые заросли кустарников, для нее характерны разные способы добычи корма как животного, так и растительного происхождения. Грачи, наоборот, избегают леса, кормятся преимущественно в открытых биотопах. Вероятно, различия в способах использования газовых конечностей указанных видов повлекли за собой морфо-функциональные перестройки, которые выражаются достоверными отличиями прочностных характеристик компактного вещества их бедренных костей.

Для трубчатых костей конечностей млекопитающих [1] с увеличением размеров животных характерно пропорциональное увеличение предела прочности компактного вещества. Корреляционный анализ нашего материала показал, что у птиц наблюдается невыраженная обратная зависимость между массой тела и рассматриваемым показателем: $r = -0,628$ для плечевых костей, $r = -0,194$ — для бедренных.

Отсутствуют выраженные зависимости между показателями прочности трубчатых костей птиц и содержанием минеральных веществ в их компакте. Не связаны зависимостями признаки микроархитектоники кости и данный показатель. В то же время механические свойства трубчатых костей изученных нами птиц в значительной степени определяются относительным развитием компактного вещества. При этом установлена обратная зависимость: $r = -0,755$ для бедренных костей, $r = -0,563$ — для плечевых. Таким образом, установленная значительная корреляционная зависимость объясняет преимущества тонкостенных трубчатых костей птиц, испытывающих нагрузки, направление которых совпадает с длинной осью кости. Для рассматриваемых показателей бедренных костей птиц установлена также логарифмическая зависимость: $y = 124,9x^{-0,43}$, где y — предел прочности (МПа), x — индекс компактного вещества (в долях единицы).

Суммируя изложенное, можно заключить, что основной биомеханический показатель (предел прочности) трубчатых костей птиц выше, чем млекопитающих (для животных одинаковых размеров), и не определяется массой тела. Тонкостенные бедренные кости птиц прочнее костей, имеющих высокий индекс развития компактного вещества.

1. М е л ь н и к К. П. // Вестн. зоологии. 1984. № 4. С. 3.
2. Проблемы прочности в биомеханике. М., 1988.
3. Б у р к о Л. Д. // Вестн. Белорус. ун-та. Сер. 2. 1994. № 1. С. 44.
4. Р о к и ц к и й П. Ф. Биологическая статистика. Мн., 1967.
5. Б у р к о Л. Д., Ш к л я р о в Л. П. // Материалы IV Зоологической конференции Белорусской ССР. Мн., 1967. С. 79.
6. Д з е р ж и н с к и й Ф. Я. // Проблемы макроэволюции. М., 1988. С. 70.
7. М е л ь н и к К. П., К л ы к о в В. И. Локомоторный аппарат млекопитающих. Киев, 1991.