

**В.І. Кликов**

к. б. н.

**І.О. Богданович**

к. б. н.

**О.Г. Березкін**

д. вет. н.

Інститут зоології ім. І.І. Шмальгаузена НАН України

## **ПОРІВНЯЛЬНА АЛОМЕТРІЯ ДОВГИХ КІСТОК ТАЗОВОЇ КІНЦІВКИ ССАВЦІВ ТА ПТАХІВ**

*Проведено порівняльний аналіз параметрів нелінійної регресії довжини і діаметрів стегнової та великогомілкової кісток на масу тіла, а також, діаметрів на їх довжину на представниках 20 видів ссавців та 38 видів птахів. Пропонуються можливі функціональні чинники визначених відмінностей.*

### **Постановка проблеми**

За останнє десятиріччя кількість друкованих праць, присвячених алометрії скелета кінцівок, помітно збільшилась. Одержані авторами дані дозволили зробити певні узагальнення, серед яких найбільш суттєвими слід вважати теорії геометричної подібності [2] та пружної подібності [6]. Кожна з теорій пропонує певні показники степені при масі тіла в рівняннях алометрії. Останні використовуються як критерії при аналізі закономірностей впливу розмірів тварин на морфологічні та біомеханічні ознаки елементів скелета.

Враховуючи те, що переважна кількість досліджень алометрії виконана на представниках класу ссавців, а також специфіку наземної локомоції птахів (біпедальність), вважаємо доцільним проведення порівняльного аналізу головних

морфометричних ознак кісток тазової кінцівки птахів з такими ж гомологічними кістками ссавців та визначення наявності і характеру відмінностей між ними.

#### Об'єкти та методика досліджень

Відповідно до поставленої мети матеріалом дослідження обрані стегнова та великогомілкова кістки кінцівок представників 38 видів класу птахів (масою тіла від 0,1 до 6 кг) та 20 видів класу ссавців (масою тіла від 0,3 до 37 кг), різної адаптивної належності.

Були виміряні довжина ( $l$ , мм) трубчастої кістки, сагітальний ( $d_s$ , мм) та фронтальний ( $d_f$ , мм) діаметри в середній частині діафіза.

Ми використали стандартні засоби математичної статистики (SPSS Sigma Plot v8.0) і одержали параметри нелінійної регресії довжини і діаметрів стегнової та великогомілкової кісток на масу тіла, а також регресії діаметрів на довжину елемента. Експериментальні точки були апроксимовані степеневу функцією  $y = ax^b$  (де  $y$  – ознака,  $x$  – маса тіла або довжина елемента), яка досить часто використовується у подібних випадках.

Згідно з теорією геометричної подібності із зміною абсолютних розмірів тварин лінійні розміри скелетних елементів кінцівок (зокрема довжини та діаметру) мають змінюватись пропорційно масі тіла у степені 0,33. Теорія пружної подібності передбачає інший характер зазначених зв'язків, а саме – довжини елементів пропорційні масі тіла у степені 0,25, а діаметри – пропорційні масі тіла у степені 0,375.

Для досліджених груп ссавців і птахів середні значення показників степені (експонента) при масі тіла у рівняннях алометрії для довжин стегнової і великогомілкової кісток знаходяться у границях 0,30–0,32, аналогічні показники для діаметрів елементів складають 0,25–0,37 (табл. 1). Така варіативність експонентів лінійних розмірів свідчить про те, що, використовуючи тільки модель геометричної або пружної подібності, неможливо однозначно охарактеризувати закономірності корелятивного зв'язку морфологічних ознак з розмірами тварин. Проте необхідно відмітити, що одержані нами значення експонент для довжин елементів (табл. 1) значно ближчі по значенням щодо аналогічних, які впливають із теорії геометричної подібності.

Таким чином, довжини стегнової і великогомілкової кісток підпорядковані слабовираженій негативній алометрії, і в першому наближенні можна вважати, що досліджені види ссавців і птахів по довжині елементів мають бути геометрично подібними.

Зовсім інший характер кореляційного зв'язку з масою тіла зафіксовано для поперечних розмірів стегна і великогомілки. Так, діаметри стегна у ссавців змінюються згідно з правилом негативної алометрії –  $b=0,25-0,29$ , а у птахів – навпаки, зафіксована суттєва позитивна алометрія –  $b=0,36-0,37$  (табл. 1).

Таблиця 1. Параметри регресії лінійних ознак кісток на масу тіла

| Тварини         | Кістка | Ознака | a    | $b \pm S_b$      | $CV_b, *$ | r    |
|-----------------|--------|--------|------|------------------|-----------|------|
| Ссавці,<br>n=20 | Femur  | l      | 67,4 | $0,31 \pm 0,039$ | 12        | 0,90 |
|                 |        | $d_s$  | 6,3  | $0,25 \pm 0,058$ | 23        | 0,76 |
|                 |        | $d_f$  | 6,1  | $0,29 \pm 0,035$ | 12        | 0,90 |
|                 | Tibia  | l      | 69,6 | $0,34 \pm 0,038$ | 11        | 0,89 |
|                 |        | $d_s$  | 5,0  | $0,31 \pm 0,024$ | 7,6       | 0,96 |
|                 |        | $d_f$  | 5,0  | $0,31 \pm 0,034$ | 11        | 0,92 |
| Птахи,<br>n=38  | Femur  | l      | 63,2 | $0,30 \pm 0,026$ | 11        | 0,91 |
|                 |        | $d_s$  | 5,6  | $0,37 \pm 0,028$ | 7,6       | 0,91 |
|                 |        | $d_f$  | 4,9  | $0,36 \pm 0,033$ | 8,7       | 0,89 |
|                 | Tibia  | l      | 93,6 | $0,30 \pm 0,028$ | 9,3       | 0,87 |
|                 |        | $d_s$  | 4,5  | $0,32 \pm 0,027$ | 8         | 0,90 |
|                 |        | $d_f$  | 5,0  | $0,35 \pm 0,028$ | 8         | 0,90 |

\* –  $CV_b$  – коефіцієнт варіації стандартної помилки параметра b.

Зважаючи на те, що опір трубчастій кістці зовнішнім навантаженням у конкретній ділянці в значній мірі визначається геометрією перетину (через моменти інерції, які пропорційні діаметрам в четвертій степені), стає зрозумілим, що поперечні розміри трубчастих кісток (особливо їхні зовнішні діаметри) функціонально зв'язані з навантаженнями на згин. Тому позитивний аллометричний зв'язок діаметрів стегна у птахів ми розглядаємо як адекватну реакцію органа на дію більш високих навантажень згину при збільшенні абсолютних розмірів тварин.

Визначені відмінності, перш за все, можна було б пов'язати з біпедальзмом птахів. Але відомо, що у представників іншої групи біпедальних хребетних – тероподних динозаврів – стегнова кістка має суттєво менший відносний діаметр середини діафіза, що зближує їх із ссавцями. Якщо це так, то детермінуючим фактором, що обумовлює порівняно великий діаметр стегна у птахів, можна вважати його близьку до горизонтальної орієнтацію відносно вектора опорної реакції на кінцівку. Аналогічні результати отримані для діаметрів плечової кістки крила птахів [1]. Оскільки стегнова кістка ссавців орієнтована більш вертикально, вона зазнає суттєво менших навантажень на згин. Подібним чином вертикально орієнтоване стегно було характерне і для динозаврів [3, 5].

Також нами були одержані кількісні співвідношення між діаметрами і довжиною досліджених кісток (табл. 2).

Таблиця 2. Параметри регресії діаметра на довжину кістки

| Тварини         | Кістка | Діаметр        | a    | $b \pm S_b$  | CV <sub>b</sub> , % | r    |
|-----------------|--------|----------------|------|--------------|---------------------|------|
| Ссавці,<br>n=20 | Femur  | d <sub>s</sub> | 0,49 | 0,63 ± 0,180 | 28                  | 0,71 |
|                 |        | d <sub>f</sub> | 0,45 | 0,65 ± 0,150 | 23                  | 0,78 |
|                 | Tibia  | d <sub>s</sub> | 0,17 | 0,81 ± 0,096 | 12                  | 0,92 |
|                 |        | d <sub>f</sub> | 0,17 | 0,82 ± 0,107 | 13                  | 0,90 |
| Птахи,<br>n=38  | Femur  | d <sub>s</sub> | 0,04 | 1,19 ± 0,060 | 5,2                 | 0,96 |
|                 |        | d <sub>f</sub> | 0,03 | 1,27 ± 0,070 | 5,6                 | 0,95 |
|                 | Tibia  | d <sub>s</sub> | 0,05 | 0,99 ± 0,060 | 5,7                 | 0,95 |
|                 |        | d <sub>f</sub> | 0,04 | 1,10 ± 0,060 | 5,7                 | 0,95 |

Аналіз наведених в таблиці даних показав, що в міру того, як збільшуються розміри тіла тварини в межах порівняльного ряду: у птахів стегнова і великогомілкова кістки стають більш товстими по відношенню до своїх довжин, а у ссавців спостерігається протилежна тенденція – індекси масивності їх скелетних елементів падають.

### Висновки

Таким чином, проведене дослідження міжвидової алометрії лінійних розмірів стегнової та великогомілкової кісток ссавців і птахів дозволило дійти наступних висновків:

– довжини стегнової і великогомілкової кісток підпорядковані слабо-вираженій негативній алометрії і в першому наближенні можна вважати, що вони змінюються згідно із моделлю геометричної подібності;

– сагітальні і фронтальні діаметри стегна у ссавців змінюються згідно з правилом негативної алометрії, а у птахів, навпаки, зафіксована суттєва позитивна алометрія;

– позитивна алометрія поперечних розмірів стегнової кістки у птахів обумовлена не тільки вагою тіла, але і майже горизонтальною його орієнтацією відносно вектора опорної реакції кінцівки;

– із збільшенням розмірів тіла у птахів стегнова і великогомілкова кістки стають більш товстими відносно їх довжин, тоді як у ссавців спостерігається протилежна тенденція.

На перспективу плануємо провести аналогічні дослідження довгих кісток грудної кінцівки ссавців та птахів.

### Література

1. Березкин А.Г., Клыков В.И., Богданович И.А. Влияние размеров некоторых млекопитающих и птиц на скелетные элементы их грудных

конечностей // Пробл. Зооінженерії та вет. мед.: Зб. наук. пр. Харк. зоовет. ін-ту. – Харків, 2001. – Вип. 8. – Ч. 2. – С. 79–82.

2. Allometry of the limb bones of mammals from shrews (sorex) to elephant (Loxodonta) / R.McN. Alexander, A.S. Jayes, G.M.O. Maloiy, E.M. Wathuta // J. Zool. – 1979. – Vol. 189. – P. 305–314.

3. Carrano M.T. Homoplasy and the evolution of dinosaur locomotion // Paleobiology. – 2000. – Vol. 26, № 3. – P. 489–512.

4. Casinos A., Cubo J. Avian long bones, flight and bipedalism // Compar. Biochem. and Physiol. Part A. – 2001. – Vol. 131 – P. 159–167.

5. Cursoriality in bipedal archosaurs / T.D. Jones, J.O. Farlow, J A. Ruben, D.M. Henderson, W.J. Hillenius // Nature. – 2000. – Vol. 406, № 17. – P. 716–718.

6. McMahon T. A. Allometry and biomechanics: limb bones of adult ungulates // Amer. Natur. – 1975. – Vol. 9. – P. 547–563.