

# МОРФОМЕТРИЧНИЙ АНАЛІЗ ДИСТАЛЬНОГО ВІДДІЛУ ПЛЕЧОВОЇ КІСТКИ СОБАКИ

A. Dynnyk<sup>1,2,a</sup>, I. Burda<sup>2,b</sup>, A. Gilchuk<sup>1</sup>, B. Weisse<sup>2,6</sup>

<sup>1</sup> Навчально-науковий Фізико-технічний інститут

<sup>2</sup> Laboratory for Mechanical Systems Engineering, Empa - Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology, CH-8600, Dübendorf, Switzerland

## Анотація

У цьому дослідженні ми наводимо морфометричні дані та аналіз дистального відділу плечової кістки собаки. На основі 3D-моделей, реконструйованих з КТ-сканів 13 собак, було виміряно шість розмірних параметрів і проаналізовано їх у двох групах за вагою. Результати показують збільшення цих параметрів залежно від ваги і статистично значущі лінійні кореляції між ними.

**Ключові слова:** ліктьовий суглоб собаки; дистальний відділ плечової кістки; морфометричний аналіз; 3D-моделювання кісток; С-лінія; анатомічна варіабельність; комп'ютерна томографія; геометрична морфометрія; ветеринарна біомеханіка.

## Вступ

Дисплазія ліктьового суглоба є однією з найпоширеніших ортопедичних патологій у собак великих порід, що часто призводить до хронічної кульгавості, болю та розвитку дегенеративних змін у суглобі. У тяжких випадках виникає необхідність у хірургічному втручанні, зокрема у частковому або повному ендопротезуванні ліктьового суглоба [1].

Морфометричний аналіз є важливим кроком для розробки методів лікування дисплазії. Наприклад, у роботі Desai та ін. (2014)[2] для аналізу суглобової поверхні в людей використано тривимірну реконструкцію на основі комп'ютерної томографії (КТ). В цьому дослідженні анатомічні вимірювання проводились від С-лінії, яка слугує віссю згинання-розгинання суглоба. Вона формується шляхом апроксимації серії поперечних перерізів кістки колами з подальшим з'єднанням їх центрів. Цей підхід уперше запропонували Shiba та ін. (1988) [3].

Попри наявність споріднених морфологічних досліджень для людини, наскільки нам відомо, подібного морфометричного аналізу для дистального відділу плечової кістки собак не проводили. Унаслідок цього розмір імпланта часто підбирається приблизно, або ж відповідне рішення приймається вже під час операції, що може негативно впливати на точність посадки імпланта й довгострокову ефективність лікування [4].

Метою цього дослідження є проведення морфометричного аналізу дистального відділу плечової кістки собак на основі тривимірних моделей, рекон-

струйованих за КТ-даними. З метою виявлення масштабованих закономірностей та анатомічної варіабельності собак було поділено на дві групи за масою тіла.

## 1. Матеріали та методи

У дослідженні було використано тривимірні моделі дистального відділу плечової кістки 13 собак (загалом 26 ліктьових суглобів — 13 правих та 13 лівих), отримані шляхом сегментації комп'ютерно-томографічних зображень з подальшим експортом у формат STL. Для забезпечення порівнювальності результатів усі праві лікті були віддзеркалені відповідно до анатомічної орієнтації лівих, тоді як ліві аналізувалися у своєму природному анатомічному положенні. Аналіз морфометричних параметрів здійснювався в єдиній системі координат, попередньо визначеній для всіх зразків. Вимірювання здійснювалися як у передньо-задній, так і в аксіальній площинах перерізу, перпендикулярно до С-лінії, як зображено на Рис.1.

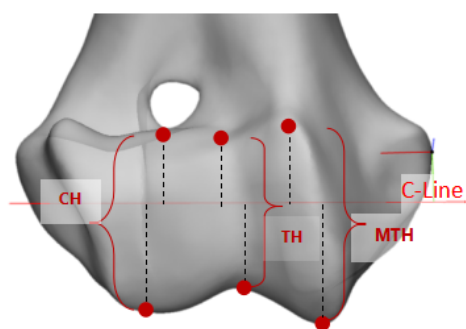
## 2. Результати та обговорення

У рамках морфометричного аналізу було проведено вимірювання шести параметрів дистального відділу плечової кістки: медіальної висоти блоковидної частини плечової кістки (МТН), висоти блоковидної частини (ТН), висоти голівки плечової кістки (СН), медіальної глибини блоковидної частини плечової кістки (МТД), глибини блоковидної частини плечової кістки (ТД) та глибини голівки плечової кістки (СД) (Рис.1)[2]. Усі параметри відповідають ключовим анатомічним орієнтирам, що характеризують

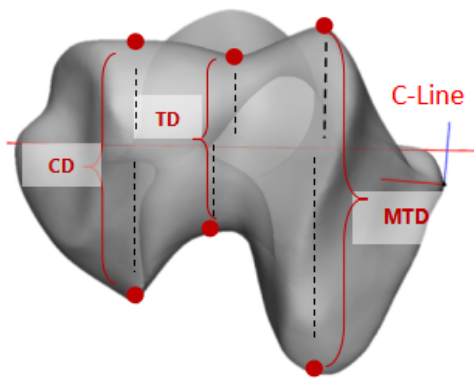
<sup>a</sup>anna.dynnyk@empa.ch

<sup>b</sup>Iurii.Burda@empa.ch

<sup>6</sup>Bernhard.Weisse@empa.ch



(а) Передньо-задня площина.



(б) Аксіальна площина.

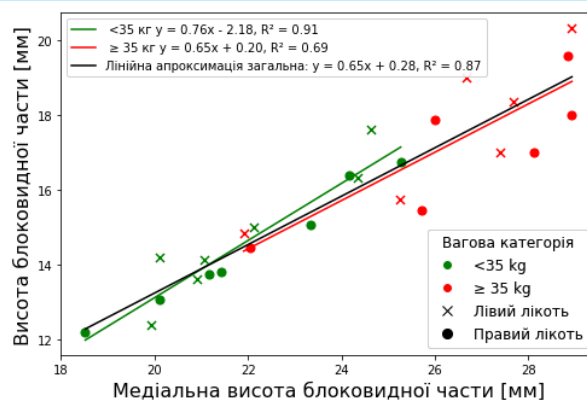
Рис. 1. Схематичне позначення морфометричних параметрів у (а) передньо-задній та (б) аксіальній площині.

морфологію голівки плечової кістки та блокової вирізки. У роботі Desai та співавт. подібні вимірювання виконувалися відносно осі згинання-розгинання для визначення геометрії суглобової поверхні. У нашому дослідженні ми дотримувалися аналогічного підходу, адаптуючи його до моделі собаки.

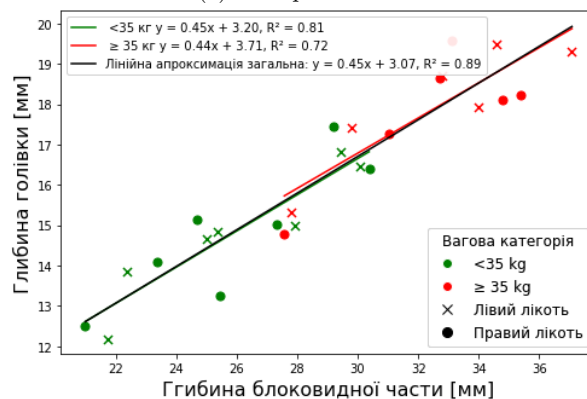
Отримані значення були розподілені на дві вагові групи:  $< 35$  кг ( $n = 14$ ) та  $\geq 35$  кг ( $n = 12$ ). Усі досліджувані параметри корелювали з масою тіла. Наприклад, середнє значення параметра МТН зросло з 21.94 мм у собак з масою тіла менше 35 кг до 26.45 мм у тварин вагою 35 кг і більше (табл. 1). Ці результати вказують на виражену геометричну адаптацію суглобової поверхні до навантаження, що зумовлене масою тіла собаки.

На Рис.3 наведено результати парного кореляційного аналізу (Pearson  $r$ ), проведеного для оцінки узгодженості між відповідними параметрами, виміряними в передньо-задній та аксіальній площинах. Статистично значущу кореляцію ( $r \geq 0.85$ ) було виявлено між МТН та ТН (Рис.2(а)), CD та TD (Рис.2(б)), а також між CD та МТD (Рис.2(в)) в обох вагових групах (менше 35 кг та 35 кг і більше).

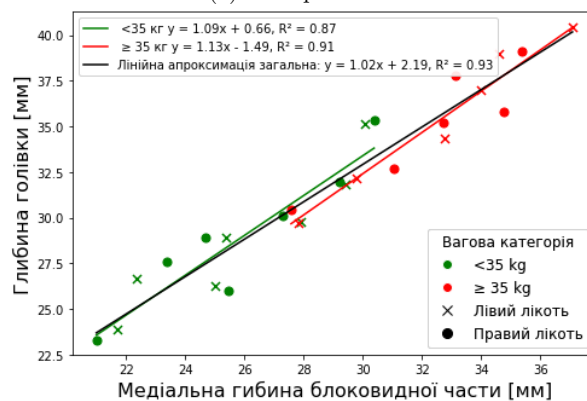
Усі моделі лінійної регресії (Рис.2) демонструють високий рівень апроксимації ( $R^2 \geq 0.69$ ), що підтверджує наявність лінійного зв'язку між параметрами в обох вагових групах, попри відмінності у нахилах і точках перетину з віссю.



(а) ТН проти МТН



(б) TD проти CD



(в) МТD проти CD

Рис. 2. Лінійна залежність між морфометричними параметрами для всіх досліджуваних собак: (а) МТН проти ТН, (б) CD проти TD та (в) CD проти МТD. Побудовано окремі лінії регресії для кожної вагової категорії та для загальної вибірки. Високі значення коефіцієнта детермінації ( $R^2$ ) свідчать про узгодженість цих параметрів.

Зокрема, кореляція між МТН та ТН становила  $r = 0.95$ , для собак з масою тіла  $< 35$  кг,  $r = 0.86$ , для собак  $\geq 35$  та  $r = 0.93$ , для всіх собак. Подібно, для пари CD та TD коефіцієнт кореляції склав  $r = 0.90$ ,  $r = 0.86$ ,  $r = 0.94$  відповідно. Кореляція між CD та МТD також була високою ( $r = 0.93$  у групі  $< 35$  кг та  $r = 0.91$  у групі  $\geq 35$  кг), та  $r = 0.97$  для всіх собак.

Інші поєднання параметрів не виявили одночасної

Таблиця 1. Статистичне зведення виміряних параметрів за ваговими групами.

Вагова категорія	Параметр	Вага (кг)	МТН (мм)	ТН (мм)	СН (мм)	МТД (мм)	ТД (мм)	СД (мм)
< 35 кг (n = 14)	Середнє значення	25.74	21.94	14.60	20.83	28.97	14.83	25.94
	Стандартне відхилення	6.21	2.08	1.67	2.55	3.71	1.58	3.16
	Мінімальне значення	15.00	18.52	12.18	16.04	23.31	12.19	20.99
	Максимальне значення	33.70	25.27	17.63	24.04	35.33	17.45	30.38
≥ 35 (n = 12)	Середнє значення	39.13	26.45	17.30	24.58	35.30	17.90	32.55
	Стандартне відхилення	4.60	2.44	1.89	2.95	3.52	1.53	2.97
	Мінімальне значення	35.00	21.91	14.45	19.81	29.68	14.79	27.57
	Максимальне значення	47.00	28.93	20.32	29.46	40.42	19.59	37.08
Усі собаки (n = 26)	Середнє значення	31.92	24.02	15.85	22.56	31.89	16.25	28.99
	Стандартне відхилення	8.74	3.18	2.22	3.29	4.79	2.18	4.50
	Мінімальне значення	15.00	18.52	12.18	16.04	23.31	12.19	20.99
	Максимальне значення	47.00	28.93	20.32	29.46	40.42	19.59	37.08

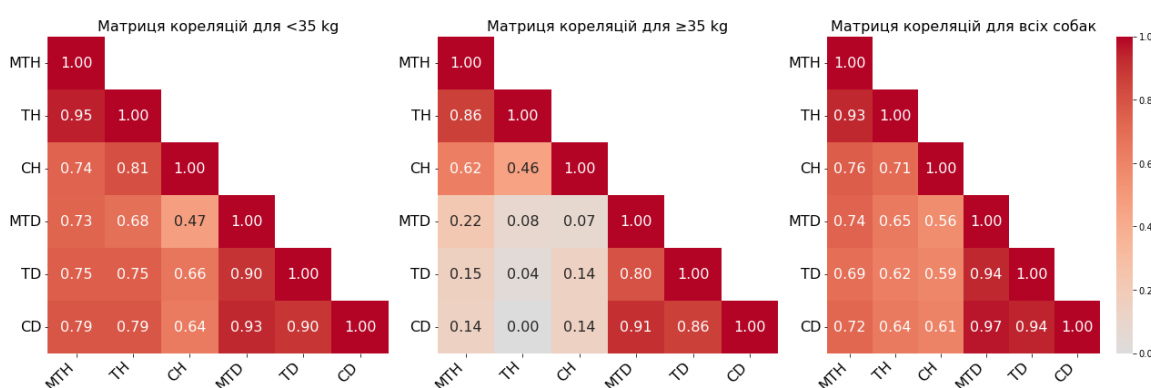


Рис. 3. Коефіцієнт кореляції Пірсона за ваговими групами.

наявності статистично значущої кореляції ( $r \geq 0.85$ ) в обох вагових групах, що може свідчити про високу індивідуальну анатомічну варіабельність цих характеристик у межах відповідних вагових груп.

## Висновки

Метою дослідження було провести морфометричний аналіз для дистального відділу плечової кістки собак. Виявлено, що всі досліджувані параметри демонструють тенденцію до збільшення зі зростанням маси тіла тварини. Зокрема, середнє значення МТН зросло з 21,94 мм у групі < 35 кг до 26,45 мм у групі ≥ 35 кг, а СД — з 25,94 мм до 32,55 мм відповідно.

Аналіз парних кореляційних зв'язків показав статистично значущі кореляції ( $r \geq 0.85$ ) між:

- МТН та ТН ( $r = 0,95$  для < 35 кг;  $r = 0,86$  для ≥ 35 кг),
- СД та ТД ( $r = 0,90$  для < 35 кг;  $r = 0,86$  для ≥ 35 кг),
- СД та МТД ( $r = 0,93$  для < 35 кг;  $r = 0,91$  для ≥ 35 кг).

Додатково, результати лінійного регресійного аналізу підтвердили високий рівень кореляції між значимими параметрами. Побудовані тренди як для окремих вагових категорій, так і для загальної ви-

бірки показали подібний нахил прямих регресії, що свідчить про збереження загальної закономірності між параметрами незалежно від маси тіла.

## Перелік використаних джерел

1. Canine elbow dysplasia: Medial compartment disease and osteoarthritis / K. A. Bruecker, K. Benjamino, A. Barger, J. Bleedorn, D. Bleedorn, R. J. Boudrieau // *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*. — 2021. — Vol. 51, no. 2. — P. 475–515. — DOI: [10.1016/j.cvs.2020.12.008](https://doi.org/10.1016/j.cvs.2020.12.008).
2. An anthropometric study of the distal humerus / S. J. Desai, S. Deluce, J. A. Johnson, L. M. Ferreira, A. E. Leclerc, G. S. Athwal, G. J. W. King // *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*. — 2014. — Vol. 23. — P. 463–469. — DOI: [10.1016/j.jse.2013.11.026](https://doi.org/10.1016/j.jse.2013.11.026).
3. Geometry of the humeroulnar joint / R. Shiba, C. Sorbie, D. W. Siu, J. T. Bryant, T. D. Cooke // *Journal of Orthopaedic Research*. — 1988. — P. 897–906. — DOI: [10.1002/jor.1100060617](https://doi.org/10.1002/jor.1100060617).
4. Evaluation of the milling technique on the component-bone interface in the TATE elbow / M. J. Gosling, N. J. Burton, J. F. Tarlton, K. J. Parsons, E. J. Comerford // *Veterinary Surgery*. — 2018. — Vol. 48. — P. 50–56. — DOI: [10.1111/vsu.13115](https://doi.org/10.1111/vsu.13115).