

## **ВИДОСПЕЦИФІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ КІСТКОВОЇ ТКАНИНИ ГОМІЛКИ У ДЕЯКИХ ДОМАШНІХ ССАВЦІВ**

*Проведено морфологічні дослідження різних зон субхондральної, епіфізарної та діафізарної кісткової тканини гомілки коня, великої рогатої худоби та собаки. Встановлені деякі видоспецифічні особливості в будові кісткової тканини гомілки у нормі. Відмічено достовірну різницю архітектоніки тканинної структури зейгоподію фаланго- та стопоходячих.*

### **Постановка проблеми**

Однією з актуальних проблем сучасної морфології є комплексне вивчення будови та загальних закономірностей морфофункціонального стану живих організмів. Такі завдання стоять і перед морфологами, які вивчають опорно-руховий апарат. Сучасні остеоартрологія, хірургія і травматологія ставлять нові вимоги перед фундаментальними, теоретичними і прикладними дослідженнями компонентів опорно-рухового апарату.

Діартрози є унікальним видом з'єднання елементів скелета, що забезпечує водночас міцність, еластичність, амортизацію і достатню рухливість, тобто

функціональну надійність локомоторного апарату в цілому. Біомеханічна досконалість та надійність органів апарату руху зумовлена принципами їх функціонування, статикою та динамікою, узгодженістю основних видів рухів тварини з параметрами роботи кожного суглоба у різних фазах локомоторного циклу кінцівки. Щоб глибше зрозуміти принципи функціонування суглобів, особливо увагу слід приділити вивченню морфофункціональних адаптацій і особливо шляхів та закономірностей пристосування елементів синовіального середовища суглоба до змін механічних навантажень на кінцівку, які відбуваються під час локомоції тварин у різних етіологічних і ландшафтних умовах.

#### Об'єкти та методика досліджень

Підбираючи матеріал, ми виходили з того, що дослідні тварини повинні відрізнятися екологічною характеристикою, способом життя, типом локомоції, характером опори і видом пересування. Тому як матеріал були визначені такі види: кінь – *Equus caballus* L, велика рогата худоба (ВРХ) – *Bos primigenius taurus* L та собака – *Canis familiaris* L. Всього досліджено 57 тварин: коней 3–8-річного віку – 8, ВРХ віком 3–5 років – 7, собак віком 1–8 років – 42.

Для гістологічних досліджень брали субхондральну, епіфізарну та діафізарну кісткову тканину. Фарбували гістозрізи гематоксиліном та еозином, за Ван-Гізон та Френкелем. Диференціальним фарбуванням за Люндвалем визначали місце найбільш активної мінералізації.

#### Результати досліджень

Характер локомоції та тип опори накладає суттєві особливості на архітекtonіку кісткової тканини в представників різних таксономічних груп. Нашими дослідженнями встановлені видоспецифічні особливості будови кісткової тканини гомілки та рівня функціонального стану клітинного компоненту кістки різних тварин. Встановлено, що кінь, собака та велика рогата худоба мають вірогідну морфологічну різницю у структурній організації субхондральної, епіфізарної та діафізарної зон гомілки.

Так, в фалангоходячих копитних (кінь і ВРХ) субхондральна кісткова тканина являє собою чітко упорядковану систему досить добре розвинутих трабекул, які чергуються зі стабільними за величиною просвіту міжбалковими просторами. Дуже рідко ми спостерігаємо формування такої як у собаки компактної субхондральної пластини з численними капілярними інтердигітаціями та “примітивними” остеонами. Базофільна лінія добре контурована у всіх досліджуваних видів тварин і має вигляд тонкої звивистої смужки. Але в субхондральній зоні кісткової тканини собаки вона перетинає ізогенні групи хондроцитів і окремі клітини, а в фалангоходячих – огинає їх. Ширина базофільної лінії також неоднакова у різних видів досліджуваних тварин. У великої рогатої худоби вона часто розшаровується і в товщі її розміщуються хондроцити. У собаки базофільна лінія утворює численні лійкоподібні випинання назустріч судинним каналам, розміщеним у шарі

кальцифікованого хряща. Разом з тим у собаки в нормі капілярні інтердигітації, досягаючи зони немініралізованого хряща, ніколи не проходили далі, тоді як у великої рогатої худоби ми спостерігаємо це досить часто.

Трабекулярна структура субхондральної зони копитних дуже нагадує широкопетлисту спонгіозу, але разом з тим має ряд суттєвих відмінностей. Субхондральні міжбалкові простори в основному такого ж діаметру, як і трабекули і швидше нагадують густу сітку судинних каналів, тому загальна маса кісткових пластин практично відповідає кількості міжбалкового простору. Середня товщина трабекул варіює в межах 2–4 рядів остеоцитів, що відповідає товщині трабекул губчастої речовини, але розміщені вони значно густіше. Остеоцити субхондральної зони дещо крупніші у великої рогатої худоби і рідко мають вузьку витягнуту, веретеноподібну форму.

В субхондральній зоні голівки гомілки коня також рідко спостерігаються формування суцільної субхондральної пластинки на зразок такої як у собак.

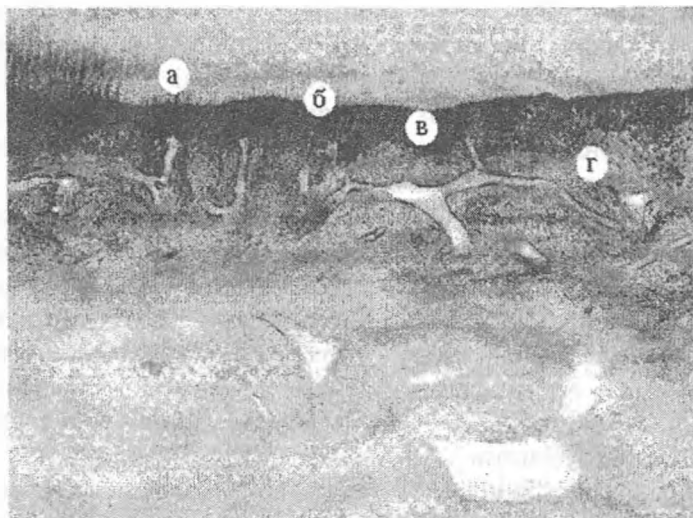
Кісткова тканина епіфіза коня та ВРХ, як і собаки характеризується поступовим переходом до розмежування на компактну периферію по периметру та губчасту спонгіозу в товщі. Але вже на середині гребеня компакта копитних досягає значної товщини і складає 3–5 мм, тоді як у собак більше 2 мм (навіть у великих особин) ми не спостерігали. Гаверсові системи у коня та ВРХ досягали 400 мкм (частіше 250–300 мкм), собак – 200–250 мкм (рідко 300 мкм). Канали відповідно 50–80 мкм і 25–60 мкм, остеоцити 10–16 мкм і 6–8 мкм.

Губчаста кісткова тканина епіфіза копитних характеризується достатньо рівномірним чергуванням трабекул середньою товщиною 150–200 мкм та міжтрабекулярних просторів шириною 750–900 мкм. У собак товщина трабекул рідко перевищує 100 мкм, а ширина міжтрабекулярних просторів – 750 мкм.

У діафізарній зоні гомілки ВРХ та коня компактна кісткова тканина досягає значної товщини і становить від 6 до 10 (12) мм. Тут ми можемо спостерігати добре упорядковану, щільну сітку гаверсових систем, практично каліброваного розміру. Особливо це стосується коня, де остеони рідко бувають меншими 250 мкм, а частіше перевищують 300 мкм. Звертає увагу слабка розвиненість інтерстиціальних систем. На зрізах діафіза ВРХ значно частіше можна зустріти системи пластин, зорієнтованих під кутом до поздовжньої осі кістки і навіть вздовж фолькманівських каналів. Багато таких систем є паралельними зовнішнім периферичним пластинам. Системи генеральних пластин не завжди формуються у ВРХ і якщо наявні, то нестабільної товщини. Дуже рідко внутрішні генеральні системи можна зустріти на поверхні компакти повернутої до кістковомозкової порожнини. Зовнішня генеральна система пластин коня частіше всього добре сформована, має товщину у середньому 0,2–0,3 мм і містить біля 10–15 рядів сильно витягнутих остеоцитів. Внутрішня генеральна система пластин у коня наявна фрагментарно, стабільної товщини та напрямку пластин не спостерігається.

Оскільки експериментальна частина роботи виконана на собаках, ми рахуємо за необхідне зупинитись більш детально на структурній організації кісткової тканини гомілки саме цього виду.

У собак субхондральна кісткова тканина має губчасто-остеонну структуру (рис. 1).



*Рис. 1.* Субхондральна кісткова тканина гомілки собаки відібрана з середини медіального виростка у нормі:  
**а** – суглобовий хрящ; **б** – базофільна лінія; **в** – мінералізований хрящ;  
**г** – субхондральні пластинки.  
Гематоксилін та еозин. × 120

Межа контакту субхондральної кісткової пластинки з кальцифікованим хрящем, розміщеним під tidemark (базофільною лінією), має вигляд переривчастої нестабільної звивистої лінії. Остання більш плавна в місцях, де хрящ вкритий меніском. У зоні контакту з хрящем субхондральна кісткова тканина формує багаточисельні інтердігітації, в середині яких розміщені кровоносні капіляри. Більшість з них проходять перпендикулярно tidemark і оточені грубоволокнистою, без певної балкової орієнтації, кістковою тканиною. Частина капілярів проникає глибоко в зону кальцифікованого хряща, а деякі навіть перфорують базофільну лінію. Ділянки кісткової тканини, розміщеної під хрящем, що вкритий меніском, відрізняються меншою численністю капілярних тунелів. Тут переважають об'ємні порожнини і судинні лакуни, що підходять під кальцифікований хрящ, розміщений нижче базофільної лінії.

Серед вмістимого гемомікроциркуляторного русла часто зустрічаються великі лімфоцити із зернистою цитоплазмою, рідше – великі полінуклеарні клітини типу макрофагів чи остеокластів. Останніх можна спостерігати біля стінки міжбалкових просторів чи капілярних інтердігітацій, сусідніх мінералізованому хрящу.

У товщі субхондральної кісткової пластинки капілярні і судинні канали мають різноманітний хід і напрямок: багаторазово переплітаються, утворюють анастомози і судинні вузли. Між судинними каналами помітні багаточисельні остеогенні острівці з остеоцитами овальної, трикутної, зірчастої, веретеноподібної форми. Характерно, що більшість остеоцитів – витягнуто-видовжена, має середні розміри у довжину близько 10 мкм і близько 5 мкм у поперечнику, а напрямок довшої осі завжди співпадає з переважаючим напрямком оточуючих пластин. Зірчасті, округлі чи трикутні остеоцити зустрічаються на межі декількох доменів (областей з однаковим напрямком колагенових фібрил). Клітини неоднаково сприймають барвники, що, очевидно, свідчить про різну остеогенну активність.

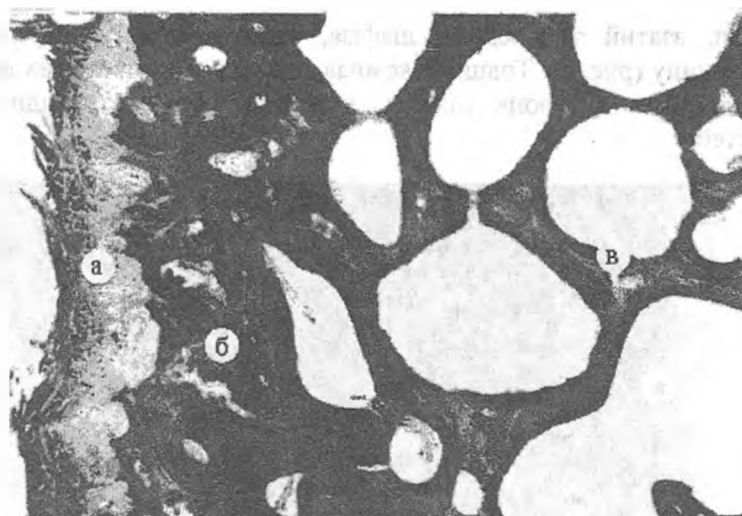
Під кістковою тканиною, що безпосередньо контактує з мінералізованим хрящем, лежить зона кісткових балок, в місцях з'єднання та розходження яких часто зустрічаються незрілі остеони. У ділянках субхондральної кісткової тканини, розміщених під хрящем, захищеним меніском, міжбалкові проміжки значно об'ємніші, а балки тонші і складаються з 2–4 рядів остеоцитів. У місцях, де меніск не вкриває суглобову поверхню, міжбалкові проміжки значно менші, але багаточисельніші. Кісткові балки між ними товстіші і мають 6–7 і більше рядів остеоцитів.

У глибоких зонах субхондральної кісткової тканини відмічаємо збільшення площі міжбалкових територій за рахунок витончення кісткових балок і перекладин. Останні мають різнонаправлену орієнтацію, що, очевидно, пов'язано з неоднаковим механічним навантаженням у різних фазах локомоторного циклу.

Зона переходу від власне субхондральної кісткової пластинки до глибше розміщених структур в місцях розгалуження та перехрестя балок характеризується наявністю інтенсивно базofilних репаративних острівців клітин. Вірогідно вони є джерелом остеогенезу, і регенерація відбувається постійно не тільки у поверхневих субхондральних шарах, але й захоплює більш глибокі зони.

У зоні епіфіза помітне поступове розмежування на два різні типи кісткової тканини – широкопетлисту губчасту спонгіозну і компакту (рис. 2).

Остання починає формуватись вже на рівні глибоких шарів субхондральної кісткової тканини, але має там ще дуже примітивний остеонний склад. Більшість остеонів мають центральний канал, що за діаметром приблизно дорівнює товщині пластин і зорієнтований паралельно довгій осі кістки. Поступово канали стають вужчими і в середньому, нижче 5 мм від суглобової поверхні, ми бачимо чітко виражену компактну товщиною 300–500 мкм та губчасту кісткову тканину. Поступово компактна стає все товстішою і у верхній третині гребеня великогомілкової кістки досягає 900–1200 мкм.



*Рис. 2. Епіфізарна кісткова тканина собаки в нормі:  
а – періост; б – компакта; в – балки спонгіози.  
Френкель. × 60*

Гаверсові системи епіфіза вкрай різноманітні. Зустрічаються зовсім невеликі, так звані „примітивні”, або неістинні, діаметром 50–60 мкм і 1–2 рядами остеоцитів, рідше – великі, діаметром до 400 мкм, що займають майже всю товщу компакти. Іноді вони мають досить великий канал, що в цілому нагадує дрібну міжбалкову порожнину. Практично ніде в області епіфіза ми не зустрічаємо зовнішньої генеральної системи пластин. Проблематично виділити і внутрішню генеральну систему.

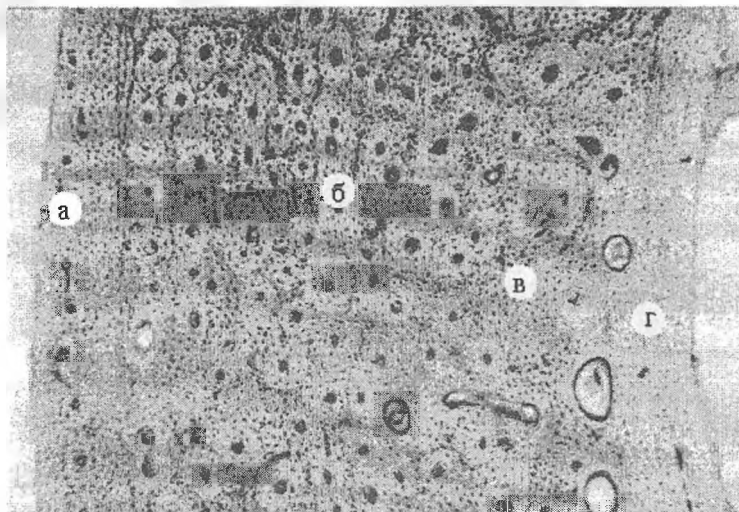
Балки спонгіози нараховують 4–6 рядів остеоцитів і мають товщину в середньому 60–120 мкм, міжбалкові порожнини мають відносно невелику варіабельність в розмірах (0,6–1 мм).

Остеогенний шар періосту містить декілька рядів клітин, з яких внутрішній представлений зрілими функціонуючими остеобластами. В інших рядах знаходяться переважно клітини різних станів доостебластичного диференціювання. Тут порівняно в невеликій кількості зустрічаються ендотеліальні і периваскулярні клітини. Територіально вони розподілені по ходу кровеносних капілярів.

Фібрилярний каркас внутрішнього шару періосту відрізняється рихлою архітектонікою. Він складається переважно з колагенових жмутків, зв'язаних між собою у вигляді широкопетлистої сітки.

Зовнішній шар періосту побудований з щільних фіброзних пластин та розміщеними між ними фібробластами. Кількість клітинних рядів, як правило, – не більше шести. Загальна архітектоніка зовнішнього шару періосту і особливості орієнтованого упакування в ньому фібробластичних клітин помітно відрізняються від внутрішнього шару, чим створюється між ними видима межа.

Матеріал, взятий з середини діяфіза, являє собою типову компактну кісткову тканину (рис. 3). Товщина компакти коливається в межах від 1,5 до 3 мм, що залежить від зони діяфіза, величини собаки та індивідуальних особливостей.



**Рис. 3. Діафізарна кісткова тканина собаки в нормі:  
а – зовнішня генеральна система пластин; б – остеони; в – вставні системи; г – внутрішня генеральна система пластин.  
Гематоксилін та еозин.  $\times 60$**

Основна маса компакти – це гаверсові системи достатньо стабільної величини (в середньому 120 мкм) та інтерстеціальні пластинки, що залишились від постійної репаративної регенерації кісткової тканини. Остеони діяфіза в основній масі правильно округлої форми і скоріше, як виняток, ніж правило, дещо стиснуті чи нагадують три-, чотири-, п'ятикутники з заокругленими кутами. Діаметр каналів остеонів в цій зоні мінімальний і становить від 6 до 20 мкм (рідко 25–30 мкм). Зустрічаються остеони до 240 мкм в діаметрі, але частіше всього з базофільно контрастуючими внутрішніми пластинками, що, вірогідно, свідчить про перебудову даної гаверсової системи. По периметру остеонів на більшості зрізів добре помітні лінії цементації, які є межами між сусідніми гаверсовими системами. Внутрішня генеральна система пластин не є постійною і часто розірвана остеонами менш стабільними за розмірами і формою, ніж в основній масі компакти. Досить часто тут зустрічаються великі порожнини (150–300 мкм) округлої чи овальної форми та з тонкою стінкою збоку кістково-мозкової порожнини діяфіза. Інколи можна помітити трабекули, що відходять від стінок таких порожнин, утворюючи вузли.

Зовнішня генеральна система пластин добре сформована практично на всій периферії компакти. Товщина її дуже різна і залежить, вірогідно, від топографії досліджуваної області. У деяких ділянках ми нараховуємо до двох

десять рядів остеоцитів загальною товщиною шару до 300 мкм, хоча в основному це 5–6 рядів клітин товщиною до 100 мкм. Всі шари генеральної системи пластин пронизані каналами Фолькмана, які з'єднують канали гаверсових систем, розміщених як на периферії, так і в більш глибоких зонах компакти.

Періост діафіза принципових відмінностей у порівнянні з епіфізом не являє. На гістологічних зрізах добре виділяється внутрішній – остеогенний і зовнішній – фіброзний шари при тих же волокнисто-клітинних конструкціях, що описані в епіфізі. При цьому остеобластична зона внутрішнього шару періосту представлена одним рядом зрілих остеогенних клітин, серед яких переважають остеобласти у стані функціонального спокою.

Аналіз порівняльної морфометрії різних зон великогомілкової кістки показує, що товщина компакти поступово збільшується: практично від 0 (у субхондральній пластинці) до максимальних показників (в діафізі) – і може досягати 3 мм у великих собак. При цьому діаметр гаверсових систем поступово зменшується при стабілізації розмірів остеонів. Те ж можна сказати і про канали остеонів.

У проксимальних зонах кістки, на фоні значної варіабельності форми і розмірів остеонів, суттєве місце займають видовжені судинні канали, оточені по типу гаверсової системи декількома (часто двома, чотирма) кістковими пластинками. Такі циркулярно-паралельні структури (ЦПС) при морфометричних дослідженнях були винесені нами в окрему групу. Відносна кількість ЦПС зменшується в області середини гребеня великогомілкової кістки і практично вони зникають у діафізі. Вставні системи в епіфізарних зонах складають практично третину компакти, як і в області середини гребеня, але відношення до гаверсових систем дистально змінюється з 1:1 до 1,33:1 за рахунок зменшення ЦПС.

У діафізарних зонах відношення остеонних до вставних систем частіше складає 1,1:1 при 50–55% від площі гаверсових систем.

У результаті досліджень різних зон гомілки собак можна зробити висновок, що структурна організація кісткової тканини в значній мірі залежить від ділянки зейгоподію (субхондральна, епіфізарна, діафізарна), поверхні кістки (дорсальна, плантарна, латеральна, медіальна) і дуже незначно – від індивідуальних особливостей собаки.

### Висновки

1. На підставі комплексних (морфологічних, морфометричних, рентгенологічних, гістохімічних та електронно-мікроскопічних) досліджень виявлені загальні закономірності і видоспецифічні особливості структурної організації субхондральної епіфізарної та діафізарної зон великогомілкової кістки у тварин досліджуваних видів (свійська собака – *Canis familiaris* L., свійський кінь – *Equus caballus* L., велика рогата худоба – *Bos primigenius taurus* L.).



2. Пальце- і фалангоходячі ссавці мають достовірну різницю у співвідношенні компактної і губчастої речовин, відносній товщині компакти та діаметрі остеонів і їх каналів.

На перспективу планується провести гістохімічні дослідження на виявлення та локалізацію хімічних сполук.

### Література

1. Березкін О.Г., Кликов В.І., Богданович І.О. Роль біомеханіки у сучасній морфології тварин: Вісн. НАН України, 2004. – № 7. – С. 39–42.
2. Горальський Л.П., Хомич В.Т., Кононський О.І. Основи гістологічної техніки і морфофункціональні методи дослідження у нормі та при патології. – Житомир: Полісся, 2005. – 288 с.
3. Новак В.П., Мельниченко А.П. Энзиматическая активность фосфатаз в очагах остеогенеза фасциального лоскута и других компонентов синовиальной среды // Укр. мед. Альманах. – Луганск, 2003. – Т. 6. – № 2. – 113 с.
4. Родионова Н.В. Структурно-функциональное состояние остеоцитов в растущей кости // Морфофункциональный статус млекопитающих и птиц. – Симферополь, 1995. – С. 35–36.