



УДК 576.31:591.424:599.742.17  
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.15.2026.8>

## ОСОБЛИВОСТІ МОРФОЛОГІЇ ЛЕГЕНІВ ЛИСИЦІ ЗВИЧАЙНОЇ (*VULPES LINNAEUS*, 1758)

І. В. Цанько<sup>1</sup>, А. П. Горальський<sup>2</sup>

Найтипівішим розповсюдженням представником хребетних тварин класу Ссавці у фауні дикої природи із родини собачих є лисиця звичайна (*Vulpes vulpes* Linnaeus, 1758), яка здавна виступає об'єктом промислового, зоологічного та наукового інтересу. Добре пристосовуючись до різних умов, цей вид широко розповсюджений у природних та антропогенних біотопах, зокрема в лісах, на відкритих територіях, у передмістях і навіть урбанізованих зонах.

Тому морфологічні дослідження дикої фауни на органному рівні, особливо органів дихання, набуває особливої актуальності. Це пов'язано з тим, що орган дихання у хребетних тварин є однією з найважливіших функціональних систем організму, забезпечуючи газообмін, терморегуляцію, регуляцію кислотно-лужного балансу, та беруть участь в імунному захисті. При порівняльній вивченні апарату дихання має важливе значення для розуміння еволюційних адаптацій, оцінки функціонального стану тощо.

Метою дослідження було з'ясувати морфологічні особливості будови легенів лисиці звичайної на макро- та мікроскопічному рівнях. Макроскопічно встановлено, що міжчасткові вирізки легенів мають значну глибину і досягають головного бронха. Усі частки легенів (правої та лівої) не з'єднані між собою паренхімою, за винятком краніальної і середньої часток лівої легені, які поєднані в дорсальній ділянці. За результатами органомерії, загальна довжина легень дорівнює  $14,9 \pm 0,35$  см, ширина –  $13,1 \pm 0,3$  см, товщина –  $6,8 \pm 0,28$  см. За таких показників, індекс розвитку легень становить  $114 \pm 0,35$  %, що відповідає розширено-видовженому типу. Гістоархітектоніка бронхів включає три оболонки: слизову, волокнисто-хрящову та адвентиційну. Згідно морфометрії зовнішній діаметр великих бронхів становить  $3478,4 \pm 28,92$  мкм, внутрішній –  $1750,2 \pm 12,38$  мкм, товщина стінки таких бронхів дорівнює  $864,1 \pm 9,32$  мкм, зокрема: слизової –  $367,8 \pm 7,78$  мкм, волокнисто-хрящової –  $404,6 \pm 4,83$  мкм, адвентиційної –  $91,7 \pm 1,55$  мкм. Гістометричні дослідження виявили статистично достовірне зменшення лінійних параметрів у середніх бронхах ( $p \leq 0,01$ ) та термінальних бронхіолах ( $p \leq 0,001$ ) порівняно з великими бронхами, що відображає закономірності структури бронхіального дерева за ступенем розгалуження. Згідно результатів паренхіми легенів, їх респіраторна частина дорівнює  $52,74 \pm 0,62$  %, сполучнотканинна основа –  $47,26 \pm 0,75$  %. При тім, середній об'єм альвеол становить  $90,4 \pm 1,55$  тис. мкм<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> аспірант кафедри зоології, біологічного моніторингу та охорони природи (Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)  
e-mail: [ivanc9298@gmail.com](mailto:ivanc9298@gmail.com)  
ORCID: 0009-0002-8416-5672

<sup>2</sup> доктор ветеринарних наук, професор, професор кафедри зоології, біологічного моніторингу та охорони природи (Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)  
e-mail: [goralsky@ukr.net](mailto:goralsky@ukr.net)  
ORCID: 0000-0002-4251-614X

Отримані результати морфологічних досліджень легенів лисиці звичайної значно поглиблюють розуміння морфофункціональних особливостей дихальної системи м'ясоїдних та можуть бути використанні при проведенні міжвидових порівняльних аналізів і моделюванні патологічних станів у ветеринарній практиці тощо.

**Ключові слова:** хребетні тварини, морфологія, органи дихання, легені, морфотопографія, гістоархітектоніка, морфометрія.

## MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE LUNGS IN THE RED FOX (*VULPES VULPES LINNAEUS*, 1758)

I. V. Tsanko, L. P. Horalskyi

The red fox (*Vulpes vulpes* Linnaeus, 1758) is the most common representative of the family Canidae among vertebrate mammals in wild fauna, long serving as an object of industrial, zoological, and scientific interest.

Adapting well to various conditions, this species is widely distributed across natural and anthropogenic biotopes, including forests, open areas, suburban regions, and even urbanized zones.

Consequently, morphological studies of wildlife at the organ level, particularly regarding the respiratory system, are of particular relevance. The respiratory system in vertebrates is one of the most critical functional systems, providing gas exchange, thermoregulation, acid-base balance regulation, and participation in immune defense. Furthermore, comparative interspecies studies of the respiratory apparatus are essential for understanding evolutionary adaptations and assessing functional health status.

The study aimed to determine the macro- and microscopic morphological features of the lungs in the red fox. Macroscopically, it was established that the interlobar fissures of the lungs are significantly deep, reaching the main bronchus. All lung lobes (right and left) are not connected by parenchyma, except for the cranial and middle lobes of the left lung, which are joined in the dorsal region. According to organometric data, the total lung length is  $14.9 \pm 0.35$  cm, width is  $13.1 \pm 0.3$  cm, and thickness is  $6.8 \pm 0.28$  cm. Based on these indicators, the lung development index is  $114 \pm 0.35$  %, which corresponds to the expanded-elongated type.

The histoarchitecture of the bronchi includes three layers: mucous, fibro-cartilaginous, and adventitial. Morphometric analysis showed that the outer diameter of the large bronchi is  $3478.4 \pm 28.92$   $\mu$ m, while the inner diameter is  $1750.2 \pm 12.38$   $\mu$ m. The wall thickness of such bronchi is  $864.1 \pm 9.32$   $\mu$ m, specifically: mucous membrane –  $367.8 \pm 7.78$   $\mu$ m, fibro-cartilaginous layer –  $404.6 \pm 4.83$   $\mu$ m, and adventitia –  $91.7 \pm 1.55$   $\mu$ m. Histometric studies revealed a statistically significant decrease in linear parameters in the middle bronchi ( $p \leq 0.01$ ) and terminal bronchioles ( $p \leq 0.001$ ) compared to large bronchi, reflecting the structural patterns of the bronchial tree based on the degree of branching. According to the results for the lung parenchyma, the respiratory portion accounts for  $52.74 \pm 0.62$  %, while the connective tissue framework accounts for  $47.26 \pm 0.75$  %. Furthermore, the average alveolar volume is  $90.4 \pm 1.55$  thousand  $\mu$ m<sup>3</sup>.

The results obtained from the morphological studies of the red fox lungs significantly deepen the understanding of the morphofunctional characteristics of the respiratory system in carnivores and can be utilized in interspecies comparative analyses and the modeling of pathological conditions in veterinary practice.

**Key words:** vertebrates, morphology, respiratory organs, lungs, morphotopography, histoarchitecture, morphometry.

### Вступ

Розуміння організації всього живого ґрунтується на структурно-функціональному підході (Kohl et al., 2010; Franco, 2013), згідно з яким об'єкти живої природи є біологічними системами, де будова та функції – це два взаємопов'язані прояви існування біологічної системи (Forestiero, 2022). При тім, організм людини і тварин, як будь-яка біологічна система, є відкритою системою, оскільки у ньому відбувається неперервна взаємодія з довкіллям, під час якої здійснюється обмін речовин із навколишнім

середовищем енергією, інформацією тощо (Sterelny, 2017).

Біологічна система організму, її кожен рівень організації має свою структуру, яка сформована із взаємозалежних та взаємопов'язаних між собою компонентів – клітин, тканин та органів, які виконують певні функції. При тім дослідження особливостей функціональних систем у представників як одомашнених, так і диких тварин має достеменно значення для порівняльної морфології (Turcotte, et al., 2017; Geiger & Sánchez-Villagra, 2018), адже дозволяє вста-

новити адаптивні перебудови в будові органів, зумовлені умовами середовища, способом життя та еволюційною історією виду (Heck et al., 2018; Barash et al., 2023)

Органи та системи організму людини і тварин функціонують як єдина інтегрована мережа (Pliukha, 2022; Horalskyi et al., 2024), завдяки якій забезпечуються адаптивні відповіді організму на зміну зовнішніх чинників, зокрема температури, вологості, освітлення, а також інших фізико-хімічних параметрів довкілля (Buchko et al., 2019; Wishart, 2019). Так, серцево-судинна система організму забезпечує здатність до функціональної перебудови під впливом фізичного навантаження, що виявляється в оптимізації кровотоку та посиленому постачанні кисню до працюючих м'язів (Cooper & Loxham, 2019; Eckhardt & Wu, 2021). Органи дихання чутливо реагують на зміну парціального тиску кисню, адаптуючи процеси вентиляції до нових умов (Horalskyi et al., 2024). Важливу роль у підтриманні внутрішньої рівноваги та тривалих адаптаційних змін відіграє ендокринна система, яка через секрецію гормонів регулює метаболізм, реакції на стрес, водно-сольовий обмін і інші життєво важливі процеси. Нервова система координує усі ці процеси, забезпечуючи швидку передачу сигналів між зовнішнім середовищем і внутрішніми структурами організму, що дозволяє йому оперативно адаптуватися до нових викликів (González et al., 2023; Sokulskyi et al., 2021). Таким чином, біологічна система організму є динамічною структурою, яка постійно взаємодіє з навколишнім середовищем, що є основою її функціонування, адаптації та еволюційного прогресу (Simões-Costa et al., 2005; Vuijtendijk et al., 2020).

Важливим біологічним об'єктом досліджень у порівняльній анатомії, є лисиця звичайна (*Vulpes vulpes*), яка може виступати як модель для досліджень серед хижих тварин, що мають специфічну адаптацію до умов дикої природи. При тім, дослідження органів дихання у тому числі легенів, які забезпечують життєдіяльність у змінних умовах, можуть бути корисною моделлю для дослідження механізмів дихання у хребетних тварин, класу Ссавці, адаптованих до різноманітних екологічних чинників.

А відтак, для диких та свійських тварин, зокрема й продуктивних видів, підтримання життєво важливих фізіологічних функцій безпосередньо залежить від ефективності роботи дихальної системи (Davenport et al.,

2010; Fröhlich, 2024). Саме дихання забезпечує організм необхідною енергією для росту, репродукції, продуктивності та адаптації до змін середовища (Perry & Burggren, 2007; Hsia et al., 2013). Знання макро- та гістоархітектоніки легенів, їх функціонального стану у нормі та при патологічних змінах є ключовим для розуміння не лише анатомічної організації дихальної системи, але й загальних механізмів життєдіяльності організму. Це дає змогу глибше усвідомити, як відбувається газообмін, як організм реагує на зовнішні та внутрішні подразники, а також як порушення в структурі легень можуть впливати на фізіологічні процеси організму в цілому.

Саме тому, дослідження особливостей дихального апарату різних видів тварин має не лише фундаментальне значення, а й практичну цінність для біології, зоології, ветеринарної медицини та тваринництва. У зв'язку з цим, дослідження морфологічної організації легень як у диких, так і у свійських тварин, є науково обґрунтованим та своєчасним. Воно має суттєве значення для розвитку порівняльної анатомії, ветеринарної морфології, зоології, а також слугує основою для практичних напрямів, зокрема ветеринарної медицини, охорони здоров'я тварин, екології та біорізноманіття. Саме ці чинники визначили актуальність нашого дослідження та обумовили його науковий напрям.

### **Матеріал і методи**

Об'єктом дослідження були легені лисиці звичайної (*Vulpes vulpes* Linnaeus, 1758) у кількості (n = 5), відібрані після планового регулювання чисельності хижаків у межах мисливських угідь одного з лісництв Закарпатської області. Відбір матеріалу здійснювався відповідно до вимог чинного природоохоронного законодавства України (Закон України «Про мисливське господарство та полювання», 2000). Усі процедури виконано відповідно до міжнародних стандартів біоетичної регламентації та правил належної лабораторної практики GLP (1981), а також згідно з положеннями «Загальних етичних принципів експериментів на тваринах», ухвалених I Національним конгресом з біоетики (м. Київ, 2001). Дослідження проводили відповідно до вимог «Європейської конвенції щодо захисту хребетних тварин, які використовуються в експерименті та інших наукових цілях» (Страсбург, 1986), (European Convention, 1986), «Про затвердження Порядку проведення науковими установами дослідів, експериментів

на тваринах” (наказ МОЗ України №249 від 01.03.2012 р.) та Закон України “Про захист тварин від жорстокого поводження” (№3447-IV від 21.02.2006 р.) (Закон..., 2006), (Яблонська, 2007; Nichiroguk et al., 2022).

Анатомічному препаруванню піддавали легені досліджуваних тварин. Для морфологічного дослідження визначали його абсолютну та відносну масу. Абсолютну масу (AM) серця визначали шляхом зважування на лабораторних вагах марки “RADWAG” PS 6000/C/2 (Польща, 2022). Відносну масу (BM) визначали за формулою:

$$BM = (AM/MT) * 100,$$

де AM – абсолютна маса органа; MT – маса тварини.

Для проведення мікроскопічних досліджень серця, шматочки матеріалу фіксували у 10–12 % охолоджену водну розчині формаліну впродовж 24 годин та більше. Після фіксації шматочки матеріалу заливали у парафін згідно схем, які запропоновані у посібнику Л.П. Горальського, В.Т. Хомича, О. І. Кононського (Горальський та ін., 2019). Парафінові зрізи, товщина яких не перевищувала 10–12 мкм, виготовляли на санному мікроскопі МС-2.

Для дослідження цито- та гістоархітектоніки легень, гістозрізи товщиною 8–10 мкм (після депарафінації) забарвлювали гематоксином (Diapath, Італія, 2020) та еозинном (Leica Geosystems, Німеччина, 2020).

Гістометричні дослідження структурних елементів легеневої тканини проводили методом світлової мікроскопії. На фронтальних гістологічних зрізах кожного блоку (n = 14), за допомогою мікроскопа МБС-10 (Micromed, Китай, 1998) (на одиниці площі, рівній 5,0 мм<sup>2</sup>) визначали респіраторну частину та сполучнотканинну основу легень. Середній об’єм альвеол, здійснювали при світловій мікроскопії за допомогою мікроскопа “Micros” (Австрія, 2014) (окуляр 8, об’єктив 20) з постійною довжиною тубуса, згідно з рекомендаціями викладеними у посібнику

Фотографування гістологічних препаратів проводили за допомогою відеокамери-SAM V-200 (Інтер Мед, КНР, 2017).

Анатомічні та гістологічні терміни структурних частин легень подано згідно з Міжнародною ветеринарною гістологічною номенклатурою (термінологічний словник) (Хомич та ін., 2019) та Міжнародною ветеринарною анатомічною номенклатурою, (Хомич та ін., 2005).

Цифровий матеріал обробляли за допомогою варіаційно-статистичних методів на

персональному комп’ютері з використанням ліцензованої програми Statistica 6.0 (StatSoft Inc., США).

### Результати

Топографічно права та ліва легені разом із серцем та іншими органами розташовані в грудній порожнині, прилягаючи до її стінок і займаючи майже весь її об’єм. Саме тому, легені лисиці, відповідно до форми грудної порожнини, мають зовнішній вигляд усіченого конусу, дещо стиснутого з боків.

Легені у лисиці звичайної, це парний, рожевого кольору паренхіматозний орган. Їх морфологічними складовими є повітряності шляхи, респіраторний відділ легень та кровоносні судини, сполучна тканина яких об’єднує у парний компактний орган – праву та ліву легені.

Увігнута та косо сформована основа легенів, спрямована каудально та прилягає до випуклої поверхні діафрагми. Верхівка легень знаходиться біля першого ребра. Ліва легеня дещо менша ніж права, що пов’язано з морфотопографією серця, яке зміщене ліворуч та знаходиться між обома легенями. Кожна легеня краніальною та каудальною глибокими міжчасточковими вирізками поділена на частки – краніальну, середню та каудальну. На правій легені, зі сторони середостіння виявляється ще й додаткова частка, яка надає легеням асиметрію у їх часточковій будові (рис. 1).

Міжчасткові глибокі вирізки легень лисиці звичайної доходять до головного бронха, а усі частки правої та лівої легенів не поєднанні між собою паренхімою. Особливістю є краніальна та середня частки лівої легені, які поєднанні між собою у дорсальній частині паренхіми.

На легенях розрізняють латеральну (реберну) поверхню, яка прилягає до ребер, медіальну (середостінну), що прилягає до середостіння, каудальну (діафрагмальну), яка прилягає до діафрагми та міжчасткові поверхні, які контактують між частками легень. На середостінній поверхні легень знаходиться аортальне, серцеве і стравохідне втиснення та жолоб для каудальної порожньої вени, як наслідок відбитків відповідних органів, які розміщені між правою та лівою легенями. На легенях знаходиться тупий (дорсальний) та гострий (вентральний) краї (рис. 1).

Краніальна частка лівої легені неправильної трикутної форми, її більша частина знаходиться попереду серця (див. рис. 1). Передня частина краніальної частки лівої

легені витончено-видовженої форми та досягає середини дорсального краю першого ребра. Реберна поверхня цієї частки випукла, середостінна поверхня гладенька і дещо увігнута. Задня частина краніальної лівої частки накриває передню частину середньої частки.

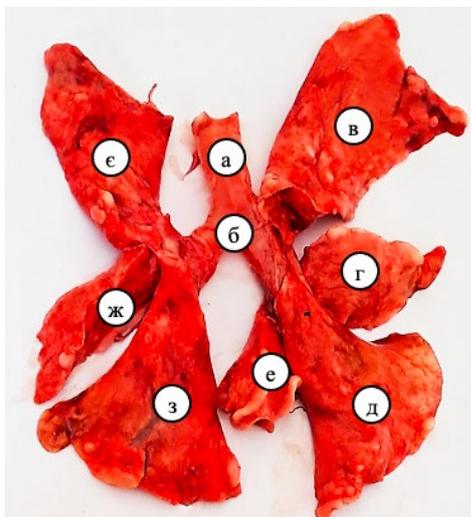


Рис. 1. Макроскопічна будова легень лисиці звичайної (реберна поверхня): а – трахея; б – біфуркація трахеї; в – права краніальна частка; г – права середня частка; д – права каудальна частка; е – додаткова частка; є – ліва краніальна частка; ж – ліва середня частка; з – ліва каудальна частка. Макропрепарат

Середня частка лівої легені має форму неправильного трикутника та увігнута дорсо-вентрально. Передній вентральний її край витончений і має заглибини, які сформовані завдяки приляганням легенів до серця. Вентральний край середньої частки лівої легені гострий. На передньому вентральному куті знаходяться два слабко виражених, соскоподібних відростки. Задня частина середньої частки дугоподібна та налягає на передсердя, її каудо-вентральний кут витончений. Реберна поверхня дещо випукла.

Каудальна частка лівої легені трикутної форми з нерівними краями, вона більшого розміру (див. рис. 1). Передня її ділянка межує з краніальною та середньою частками, а дорсальна ділянка межує з краніальною часткою. Тупий край каудальної частки лівої легені займає простір від шостого до 12–13 ребра. Базальний край гострий і має форму дещо випуклої дуги. Середостінна поверхня у вигляді трикутника, топографічно стикається з грудною аортою та

стравоходом, завдяки чому на ній є від них відбитки. Діафрагмальна поверхня, без різких меж переходить у середостінну. Така поверхня на усьому проміжку увігнута та у середині має овальної форми заглиблення від купола діафрагми.

Краніальна частка правої легені, переднім краєм досягає каудальної поверхні першого ребра. Задня дорсальна ділянка цієї частки, у розправленому стані, досягає каудального боку сьомого ребра, і до висоти однієї третини цього ж ребра. Вона покрита передньою дорсальною частиною каудальної частки. Внутрішня поверхня частки має два жолоба – втиснення від краніальної порожньої вени та трахеї з дорсального боку та від серця по усій внутрішній поверхні. Передній край краніальної частки правої легені має два соскоподібних відростки. Вентральна та задня дорсальна ділянка витончені і загострені.

Середня частка правої легені повністю відокремлена від інших часток. Її дорсальний край налягає на краніальну і каудальну частки до висоти однієї третьої 7-го ребра. Поверхня середньої частки правої легені, яка прилягає до серця має неглибокі втиснення. У розправленому стані, середня частка правої легені видовжено-трапецеподібної форми.

Каудальна частка правої легені трикутної форми і, так само як ліва частка, межує з краніальною та середньою частками. Окрім того, ця частка, також межує і з додатковою часткою. Каудальна частка правої легені відділяється від краніальної, середньої та додаткової часток, вирізками, які доходять до часткових бронхів. Передній край каудальної частки прямий, топографічно він торкається верхньої частини краніальної частки. Задній край частки витончений і налягає на купол діафрагми. Дорсальний край цієї частки тупий, потовщений, у каудальному напрямку – витончений. Її вентральний край ущільнений та не доходить до груднини. Реберна поверхня каудальної частки випукла, діафрагмальна увігнута, середостінна поверхня плоска та має втиснення від аорти, стравоходу, а з дорсального боку – втиснення від хребта. На кранео-вентральній ділянці каудальної частки правої легені знаходиться соскоподібний відросток.

Додаткова частка характерна лише для правої легені, вона відносно невеликого розміру і розташована позаду на медіальній її поверхні. Така частка сформувалась шля-

хом відщеплення каудальної частки, з якою пов'язана бронхо-судинним стовбуром. Додаткова частка двостулкова, вона своїм нижнім серцевим відростком не доходить до верхівки серця, розміщуючись між ним та куполом діафрагми. Іншим відростком, дещо меншим за розміром, частка охоплює стравохід та витончуючись, тягнеться каудально до діафрагми. Додаткова частка не зростається з каудальною часткою.

За результатами органометрії, загальна довжина легенів лисиці звичайної дорівнює  $14,9 \pm 0,35$  см, ширина  $13,1 \pm 0,3$ , товщина –  $6,8 \pm 0,28$  см. Відповідно довжина правої легені становить  $14,9 \pm 0,65$  см, ширина –  $5,8 \pm 0,2$ , товщина –  $6,8 \pm 0,23$  см, а лівої легені –  $13,2 \pm 0,25$  см,  $5,4 \pm 0,28$  см та  $5,9 \pm 0,43$  см. При тім, індекс розвитку легенів у лисиці звичайної становить  $114 \pm 0,35\%$ , тому легені у них відносяться до розширено-видовженого типу.

Абсолютна маса легенів лисиці становить  $83,2 \pm 1,35$  г, відносна –  $1,01 \pm 0,03$  %. За таких морфометричних показників, АМ лівої легені становить  $35,6 \pm 1,13$  г, правої –  $47,6 \pm 2,13$  г, що у 1,34 рази ( $p \leq 0,05$ ) більше ніж лівої, при тім КА легень дорівнює 1:1,33 (табл. 1).

Відносна маса каудальних часток легенів до їх АМ, є найбільшою: лівої легені –  $24,82 \pm 0,95$  %, правої –  $21,83 \pm 0,52$  %, відповідно ВМ краніальних часток є меншою: лівої легені –  $10,36 \pm 0,64$  %, правої –  $17,87 \pm 0,7$  %, ВМ середніх часток є найменшою: лівої легені –  $7,41 \pm 0,48$  %, правої –  $9,38 \pm 0,48$  %, відповідно ВМ додаткової частки правої легені дорівнює  $8,01 \pm 0,65$  % (табл. 1).

Повітроносні шляхи легенів лисиці звичайної сформовані множинними розгалуженнями бронхів – бронхіальним деревом, а їх респіраторний відділ – множинними

розгалуженнями дихальних бронхіол, альвеолярних протоків, мішечків та альвеол – альвеолярним деревом.

При тім, бронхіальне дерево легенів, сформоване правим та лівим головними бронхами, які переходять у позалегенові часткові бронхи, котрі потім галузяться на великі бронхи. Відповідно великі бронхи у свою чергу діляться на сегментарні легенові бронхи, потім на середні, які галузяться на малі бронхи. Останні галузяться у термінальні бронхіоли, після чого починається респіраторний відділ легень.

Формування бронхіального дерева легенів лисиці починається у ділянці біфуркації трахеї, яка розгалужується в правий та лівий головні бронхи, які потрапляючи відповідно у праву та ліву легені, дають початок легеновим часточковим бронхам. При цьому, головний бронх правої легені під кутом  $30^\circ$  нижче першого та другого трахейного кільця від біфуркації, віддає гілку у краніальну частку правої легені, потім нижче 3–4-го кільця від галуження бронха у краніальну частку, він шляхом біфуркації роздвоюється на дві гілки – одна відходить у середню частку, інша у каудальну та додаткову частки. Відповідно лівий бронх після четвертого бронхіального кільця ділиться на два бронхи, один із яких входить у каудальну частку, інший у краніальну та середню частки. Потім, бронх середньої частки, через два бронхіальних кільця від попереднього роздвоєння, знову розгалужується. При тім, краніальна та середня частки лівої легені, повністю не розділені, вони поєднані між собою трапецеподібним зрощенням. При цьому задня частина краніальної частки, яка не зростається з середньою часткою, покриває її передню частину, а в свою чергу задня частина

Таблиця 1

Абсолютна та відносна маса часточок лисиці звичайної, (М ± м)

Частки легенів	Ліва легеня		Права легеня		Обидві легені	
	АМ (г)	ВМ часток до АМ легенів (%)	АМ (г)	ВМ часток до АМ легенів (%)	АМ (г)	ВМ часток до АМ легенів (%)
1. Краніальна	$8,7 \pm 0,85$	$10,36 \pm 0,64$	$14,9 \pm 0,85^{**}$	$17,87 \pm 0,7$	$23,6 \pm 1,7$	$28,23 \pm 0,84$
2. Середня	$6,2 \pm 0,73$	$7,41 \pm 0,48$	$7,8 \pm 0,7$	$9,38 \pm 0,48$	$14,0 \pm 1,38$	$16,78 \pm 0,96$
3. Каудальна	$20,7 \pm 1,1$	$24,82 \pm 0,95$	$18,2 \pm 1,1$	$21,83 \pm 0,52$	$38,9 \pm 1,96$	$46,64 \pm 0,69$
4. Додаткова	–	–	$6,7 \pm 0,85$	$8,01 \pm 0,65$	$6,7 \pm 0,85$	$8,01 \pm 0,65$
5. Загалом	$35,6 \pm 1,13$	$42,79 \pm 0,89$	$47,6 \pm 2,13^*$	$57,12 \pm 1,67$	$83,2 \pm 1,35$	100
6. Абсолютна маса легенів лисиці (г)					$83,2 \pm 1,35$	
7. Відносна маса легенів до маси тіла тварини (%)					$1,01 \pm 0,03$	
8. Коефіцієнт асиметрії легень (АМ правої / АМ лівої)					1:1,33	

Примітка: \* $p \leq 0,05$ ; \*\* $p \leq 0,01$ ; \*\*\* $p \leq 0,001$  по відношенню до лівої частки.

середньої частки по усій висоті покриває передню частину каудальної частки.

Гістологічна будова головних та часткових бронхів подібна до такої, як у трахеї. Мікроскопічно, гістоархітектоніка бронхів, сформована слизовою, волокнисто-хрящовою та адвентациєю оболонками.

Найбільший діаметр на поперечному зрізі, мають головні бронхи, їх внутрішня вистилка (епітеліальна пластинка) утворена простим багаторядним війчастим епітелієм. М'язова пластинка слизової оболонки, сформована пучками гладких м'язових клітин і знаходиться на межі з підслизовою основою бронхів. Пучки гладких міоцитів м'язової пластинки, за своїм напрямком розташуванням, формують внутрішній циркулярний та зовнішній поздовжній шари. Волокнисто-хрящова оболонка головних бронхів є суцільною і формує окремі кільця бронхіальних хрящів.

Стінка великих бронхів так само, як і головних, сформована трьома оболонками – слизовою, волокнисто-хрящовою та адвентицією (рис. 2). Їх м'язова пластинка слизової оболонки чітко розвинута. Вона утворена гладкими м'язовими клітинами, які мають циркулярно-косий напрямок, займаючи увесь периметр усього бронху. Завдяки такій унікальній будові м'язової пластинки, а саме скороченню м'язових клітин, слизова оболонка таких бронхів зібрана у поздовжні складки, які не характерні для головних бронхів. У власній пластинці слизової оболонки, містяться різної форми та величини, скупчення лімфоїдної тканини. У стінці великих бронхів, кільця хрящів волокнисто-хрящової оболонки не суцільні, вони сформовані окремими видовженою формі хрящовими пластинками (див. рис. 2).

Епітеліальна пластинка стінка слизової оболонки бронхів середнього калібру сформована одношаровим багаторядним епітелієм, її м'язова пластинка утворена гладкими міоцитами. У середній оболонці стінки таких бронхів, у вигляді окремих хрящових острівців виявляються хрящові пластинки (рис. 3).

Стінка малих бронхів та термінальних бронхіол легенів лисиці звичайної утворена тільки слизовою оболонкою та адвентицією. Епітеліальна пластинка слизової оболонки, малих бронхів вкрита дворядним війчастим епітелієм, м'язова пластинка слизової оболонки таких бронхів добре розвинена, вона утворена гладкими міоцитами (рис. 4).

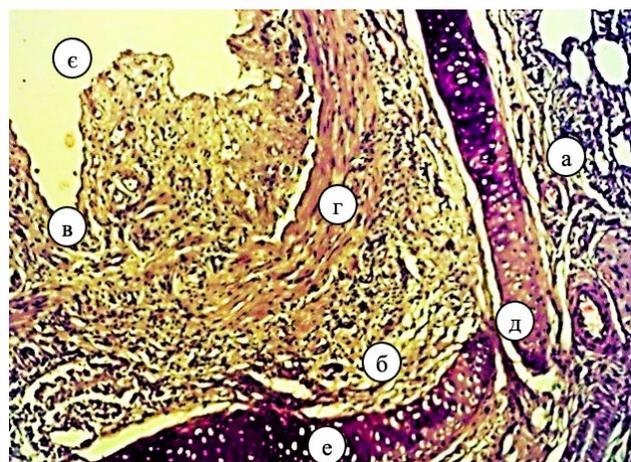


Рис. 2. Фрагмент мікроскопічної будови великого бронха легені лисиці звичайної: а – паренхіма легень; б – стінка бронха; в – епітеліальна пластинка; г – м'язова пластинка слизової оболонки; д – волокнисто-хрящова оболонка; е – хрящова пластинка; є – просвіт бронха. Гематоксилін та еозин. X 280

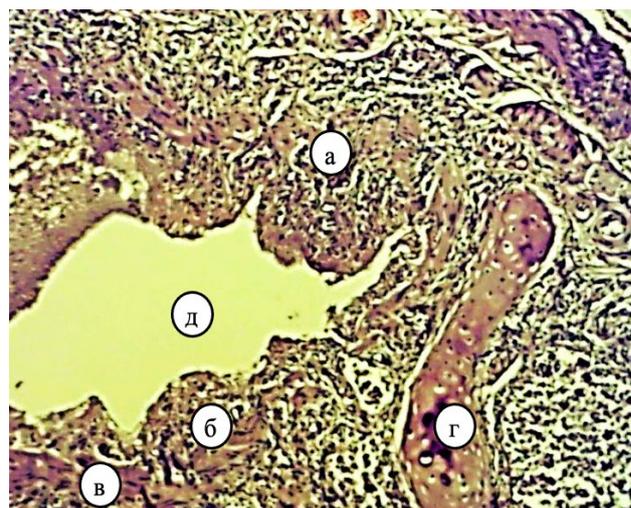


Рис. 3. Фрагмент мікроскопічної будови середнього великого бронха легені лисиці звичайної: а – слизова оболонка бронха; б – складки слизової оболонки; в – м'язова пластинка слизової оболонки; г – хрящові острівці; д – просвіт бронха. Гематоксилін та еозин. X 280

Слизова оболонка стінка кінцевих (термінальних) бронхіол вистелена одношаровим кубічним війчастим епітелієм, епітеліоцити якого розташовані на базальній мембрані. У власній пластинці слизової оболонки виявляються поздовжні еластичні волокна, між якими розміщені окремі пучки гладких міоцитів (рис. 5).

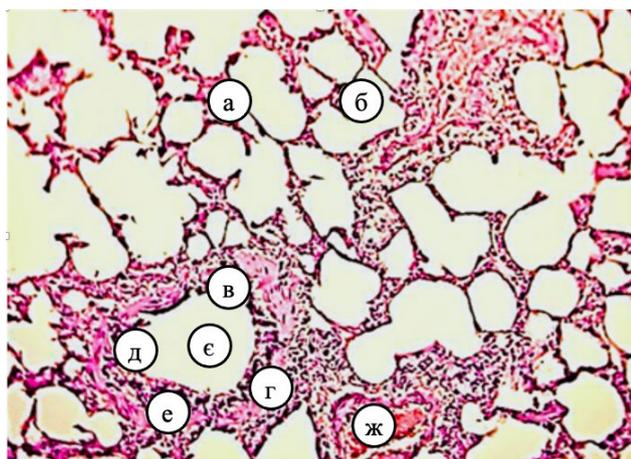


Рис. 4. Фрагмент мікроскопічної будови легені лисиці звичайної: а – паренхіма легень; б – альвеоли; в – малий бронх; г – слизова оболонка бронха; д – епітеліальна пластинка; е – м'язова пластинка слизової оболонки; е – просвіт бронха; ж – судина. Гематоксилін та еозин. X 280

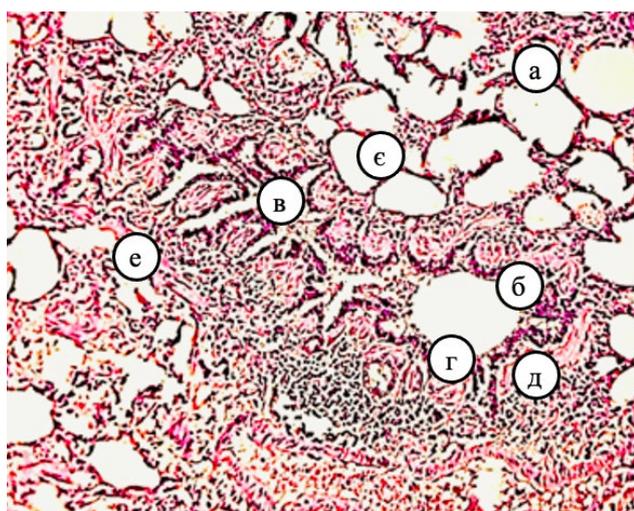


Рис. 5. Фрагмент мікроскопічної будови легені лисиці звичайної: а – паренхіма легень; б – термінальна бронхіола (поперечний зріз); в – термінальна бронхіола (поздовжній зріз); г – епітеліальна пластинка; д – пучки гладких міоцитів; е – еластичні волокна; е – альвеоли. Гематоксилін та еозин. X 150

За результатами морфометричних досліджень зовнішній діаметр великих бронхів становить  $3478,4 \pm 28,92$  мкм, відповідно внутрішній діаметр –  $1750,2 \pm 12,38$  мкм. Товщина стінки таких бронхів дорівнює  $864,1 \pm 9,32$  мкм: слизової оболонки –  $367,8 \pm 7,78$  мкм, волокнисто-хрящової –  $404,6 \pm 4,83$  мкм, адвентиційної –  $91,7 \pm 1,55$  мкм (табл. 2).

Вірогідно менші морфометричні лінійні параметрами, порівняно з такими у великих бронхів, характерні для середніх ( $p \leq 0,01$ ) бронхів та термінальних ( $p \leq 0,001$ ) бронхіол. Так, зовнішній діаметр середніх бронхів дорівнює  $1233,4 \pm 13,44$  мкм, внутрішній діаметр –  $618,4 \pm 9,85$  мкм. За таких морфометричних даних, товщина стінки середніх бронхів становить  $307,4 \pm 8,55$  мкм, при тім товщина її слизової оболонки дорівнює  $136,9 \pm 3,71$  мкм, волокнисто-хрящової оболонки –  $140,2 \pm 3,25$  мкм і, адвентиційної оболонки –  $30,3 \pm 0,82$  мкм (див. табл. 2).

Значно вірогідно меншими є лінійні величини для малих бронхів та термінальних бронхіол, у зв'язку з відсутністю у їх стінках волокнисто-хрящових оболонок. Так, зовнішній діаметр малих бронхів становить  $604,1 \pm 9,94$  мкм, внутрішній діаметр –  $306,7 \pm 7,48$  мкм, товщина стінки таких бронхів дорівнює  $148,7 \pm 3,6$  мкм: товщина слизової оболонки –  $129,6 \pm 1,33$  мкм, товщина адвентиційної оболонки –  $19,1 \pm 0,61$  мкм. Зовнішній діаметр термінальних бронхіол має  $424,9 \pm 9,06$  мкм, внутрішній діаметр –  $275,3 \pm 4,85$  мкм. При тім товщина стінки термінальної бронхіоли дорівнює  $74,8 \pm 0,88$  мкм, причому товщина слизової оболонки становить  $68,3 \pm 1,52$  мкм, адвентиційної оболонки –  $6,5 \pm 0,26$  мкм (табл. 2).

Легеневі часточки легень, як складові їх респіраторного відділу, мають пірамідальну або ж конусоподібну форми. За мікроскопічної будови, часточки утворені легеневими ацинусами, останні розмежовані між собою сполучнотканинними перегородками сполучнотканинної строми. За фарбування гістологічних препаратів за методом Ван-Гізон сполучнотканинна строма легень утворена пухкою сполучною тканиною, між якими знаходяться кровоносні і лімфатичні судини.

Легеневі ацинуси легень беруть початок від кінцевих термінальних бронхіол, потім дитохомічно розгалуджуються на респіраторні бронхіоли, альвеолярні ходи та альвеолярні мішечки, формуючи таким чином альвеолярне дерево. Такі розгалуження супроводжують судини, нерви та ніжні прошарки пухкої сполучної тканини.

Слизова оболонка стінка респіраторних бронхіол вистелена одношаровим кубічним епітелієм, який знаходиться на базальній мембрані, війчасті клітини трапляються рідко. М'язова пластинка витончена і розчленовується на окремі, у циркулярному напрямку пучки гладких

Таблиця 2

Гістометрія складових бронхіального дерева легень лисиці звичайної, М ± м

Показники	Структури бронхіального дерева			
	Великі бронхи	Середні бронхи	Малі бронхи	Термінальні бронхіоли
Зовнішній діаметр (мкм)	3478,4±28,92	1233,4±13,44**	604,1±9,94**	424,9±9,06*
Внутрішній діаметр (мкм)	1750,2±12,38	618,4±9,85**	306,7±7,48**	275,3±4,85
Товщина стінки бронхів (мкм)	864,1±9,32	307,4±8,55**	148,7±3,6**	74,8±0,88**
Товщина слизової оболонки (мкм)	367,8±7,78	136,9±3,71**	129,6±1,33*	68,3±1,52**
Товщина волокнисто-хрящової оболонки (мкм)	404,6 ± 4,83	140,2±3,25**	–	–
Товщина адвентиційної оболонки (мкм)	91,7±1,55	30,3±0,82***	19,1±0,61*	6,5±0,26**

Примітка: \* $p \leq 0,05$ , \*\* $p \leq 0,01$ , \*\*\* $p \leq 0,001$  (відносно до величини попередніх бронхів).

міоцитів. Сполучнотканинні волокна зовнішньої адвентиційної оболонки переходять у інтерстиціальну сполучну тканину.

Стінки альвеолярних ходів та альвеолярних мішечків утворені кількома десятками альвеол, які мають форму міхурців. Вони розподілені між собою тонкими міжальвеолярними сполучнотканинними перетинками, які сформовані нижніми прошарками пухкої сполучної тканини у якій виявляються судини гемомікроциркуляторного русла.

Стінка альвеол з середини вистелена одношаровим плоским епітелієм, що знаходиться на базальній мембрані. Вона утворена альвеолоцитами, до складу яких входять респіраторні, секреторні клітини та альвеолярні макрофаги. Виявляються альвеоли різних розмірів – великі, середні, малі (рис. 6).

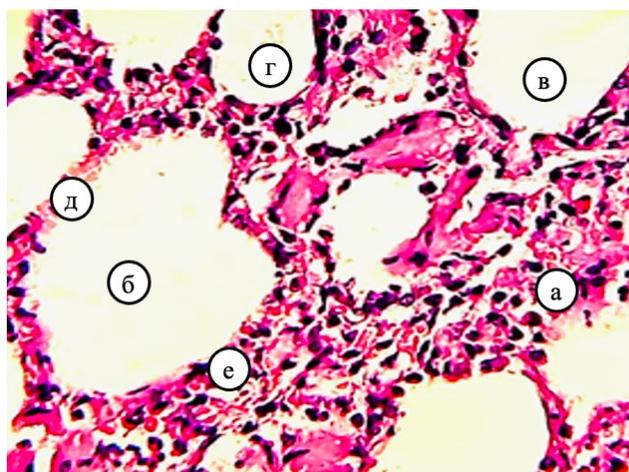


Рис. 6. Фрагмент мікроскопічної будови легень лисиці звичайної: а – респіраторна частина легень; б – велика альвеола; в – середня альвеола; г – мала альвеола; д – міжальвеолярні перетинки; е – альвеоцити. Гематоксилін та еозин. X 600

За результатами гістометрії, респіраторна частина легень лисиці звичайної займає  $52,74 \pm 0,62\%$ , сполучнотканинна основа –  $47,26 \pm 0,75\%$ , а середній об'єм альвеол становить  $90,4 \pm 1,55$  тис. мкм<sup>3</sup> (табл. 3).

Таблиця 3

Гістометричні характеристики легень лисиці звичайної, (М ± м)

Показники	Цифрові дані
Респіраторна частина легень (%)	52,74 ± 0,62
Сполучнотканинна основа легень (%)	47,26 ± 0,75
Середній об'єм альвеол (тис. мкм <sup>3</sup> )	90,4 ± 1,55

### Обговорення

Дослідження морфофункціонального стану організму тварин є та завжди залишається найважливішим морфологічним напрямком у біології (Richter & Wirkner, 2014; Ribitsch et al., 2020). При тім, особливе значення відводиться комплексному дослідженню органів дихання, у тому числі і легень, які виконують в організмі хребетних тварин надзвичайно життєво важливі функції (De Backer et al., 2009), основною яких є газообмін (Bide et al., 2000; Fröhlich, 2024).

Упродовж останніх десятиліть, з'являється велика кількість публікацій у наукових виданнях, що стосуються дослідженню морфології легень у свійських та лабораторних тварин в нормі та в експерименті (Gehr et al., 1981; Hyde et al., 2009; Meeusen et al., 2009; López & Martinson, 2017). Втім, макрота мікроскопічна будова легень, їх органно-гістометричні характеристики у диких тварин класу Ссавці майже відсутні.

Тому, проведені нами дослідження, щодо морфотопографії, макроскопічної та мікроскопічної будови легень у лисиці звичайної є актуальними для порівняльної морфології. Це дасть змогу біологам, зооло-

гам з'ясувати будову тіла, окремих органів та їхніх систем різних систематичних груп тварин, шляхом порівняння закономірностей змін, що зазнають органи та їх системи у процесі еволюції організмів.

За результатами наших досліджень, будова, форма, морфопографія легень, має пряму залежність щодо розташування у грудній порожнині кровоносних судин, м'язів та величини купола діафрагми.

Так, легені лисиці звичайної, відповідно до форми її грудної порожнини, мають вигляд конуса, дещо стиснутого з боків. Така морфологія легень описана також іншими науковцями, які вважають, що форма легень у ссавців, яка подібна до зрізаного конуса та дещо здавлена зі сторін, пов'язана із розміщенням їх у грудній порожнині, яка надає правій та лівій легені в цілому таку форму (Krause & Leeson, 1973; Hsia et al., 2013; Hsia et al., 2016; Blagojević et al., 2018). Саме тому, форма легень у природному стані разом із серцем та іншими органами грудної порожнини (аорта, стравохід, тимус тощо) в цілому відтворюють форму грудної порожнини (Weibel, 2001; Neagu et al., 2019). Деякі зарубіжні морфологи вважають, що у ссавців часточкова будова легень є закономірною та не має видових особливостей (Krause & Leeson, 1973; Duncker, 2004). Наукові дослідження інших науковців (Palchuk et al., 2023) свідчать про наявність індивідуальних морфологічних особливостей, щодо часткової будови легень що підтверджено результатами наших досліджень. Так, за результатами наших досліджень поділ правої та лівої легені у лисиці звичайної на окремі виражені частки, є прямо залежним від самої структури грудної порожнини та індивідуальних фізіологічних ознак характерних для тварин класу Ссавці, а відповідно фізіологічного навантаження на відповідний орган під час дихання.

При тім, у лисиці права та ліва легені краніальною та каудальною глибокими міжчасточковими вирізками поділені на частки: краніальну, середню та каудальну. На правій легені, знаходиться ще й четверта, додаткова частка, яка надає легеням – асиметрію у їх часточковій будові правої. Характерною особливістю у будові легень лисиці звичайної є те, що міжчасткові глибокі вирізки легень доходять до головного бронха, а від так, усі частки правої та лівої легені не поєднанні між собою паренхімою. Винятком є лише краніальна та середня

частки лівої легені, які поєднанні між собою у дорсальній частині паренхіми.

Окрім того у лисиці на правій та лівій легенях дорсальний їх край впродовж перших 4–5-ти грудних хребців не тупий, як прийнято вважати, а гострий. Це пояснюється тим, що бокові стінки грудної клітки здавлені з боків і проміжок між ребрами та тілами цих хребців, на яких кріпиться найдовший м'яз спини, дуже вузький. Саме тому дорсальний край легень, вклинюючись сюди, обмежується вузьким простором та набуває вигляду відносно гостро гребеня.

Передній та вентральний краї краніальних часток мають нерівні контури, а права краніальна частка має два соскоподібних відростки, які заповнюють при вході вільні простори між серцем, стравоходом, трахеєю та великими кровоносними судинами (аортою, плечеголовним стовбуром, краніальною та каудальною венами).

Вентральний та базальний краї легень загострені та відповідають формі проміжків, відповідно між внутрішніми органами грудної порожнини, ребрами та куполом діафрагми. Легенева тканина, так як є більш еластичною, вклинюючись у ці ж вільні простори, не може потовщуватися і саме тому названі краї стають гострими. Краніальна частка лівої легені своєю задньою частиною налягає на передню частину середньої частки, а задній край середньої частки налягає на передню частину каудальної частки.

Морфологічним критерієм розвитку та морфофункціонального стану органів та систем організму тварин є органометричні дослідження, які дають можливість з'ясувати та встановити кількісні характеристики організму на органному, тканинному рівнях у процесі онто- та філогенетичного розвитку тварин та за дії на організм тварин різних чинників довкілля тощо (Horalskyi et al., 2024). При тім основним критерієм розвитку того чи іншого органа, що безпосередньо вказує на його морфофункціональну зрілість, є абсолютна та відносна маса органа (Lee et al., 2007). Проведений нами аналіз органометричних досліджень свідчить, що АМ легень у лисиці звичайної дорівнює дорівнює  $83,2 \pm 1,35$  г, ВМ –  $1,01 \pm 0,03$  %. У порівняльному значенні АМ лівої легені складає  $35,6 \pm 1,13$  г, правої  $47,6 \pm 2,13$  г, що у 1,34 рази більше ніж лівої. Найбільша АМ характерна для каудальних часток правої та лівої легень, потім краніальних, середніх та додаткової часток. За таких показників коефіцієнт асиметрії правої легені до лівої становить 1:1,33.

Морфоархітектоніка легенів ссавців, порівняно з такою у інших класів хребетних тварин – амфібії, плазуни, птахи, є більш досконалою у забезпеченні організму тварин киснем і виділенні з організму вуглекислого газу (Ramchandani et al., 2001; Oizumi et al., 2017). У процесі еволюційного розвитку тварин, у ссавців надзвичайно стабільними ознаками є часткова будова легень та типи галуження бронхіального дерева (Monteiro & Smith, 2014; Hsia et al., 2016; Han et al., 2022). У той же час, основними відмінностями морфологічної будови легенів тварин класу Ссавці, порівняно з іншими хребетними тваринами, є диференціація тканин легень у ссавців на повітроносні шляхи – бронхіальне дерево (головні, великі, середні, малі бронхи). У ссавців, галуження бронхіального дерева у дослідних тварин, майже всіх його структурних компонентів, аж до часточкових бронхів, відбувається по магістральному типу, лише часточкові бронхи галузяться по дихотомічному типу (Patra, 1986; Nakakuki, 1994; Mouton et al., 1999; Einstein et al., 2008; Monteiro & Smith, 2014).

Згідно наших досліджень, бронхи легень лисиці мають різні розміри та відповідну будову, вони поділяються на позалегеві (головні та міжчасточкові) та легеневі, які входять до складу легень, де вони там розгалужуються, формуючи саме таким чином, бронхіальне дерево. Від часточкових бронхів відходять сегментарні бронхи, різного розміру, вони розділяються залежно від напрямку на дорсальні та вентральні сегментарні бронхи. У кожній легені розгалуження головного бронха на великі, середні та малі бронхи, а також на термінальні бронхіоли відбувається в основі їхніх тупих країв у каудальному напрямку.

Перебуваючи між собою у тісному взаємопов'язаному контакті, бронхіальне та альвеолярне дерево, їх структурні компоненти забезпечують зовнішнє дихання організму – газообмін між повітрям і кров'ю (Wang & Kraman, 2004). Для чого у легенях формується тісний контакт між легеневою тканиною та кровоносними судинами (Valerius, 1996; Lindstedt & Schaeffer, 2002). При тім, залежно від видових особливостей тварин, представників класу Ссавці у процесі їх філогенетичного розвитку, макро- та мікроструктура легень набуває різної ступені диференціювання (Maina & Gils, 2001; Majumdar et al., 2005).

За результатами наших досліджень, мікроскопічна будова бронхів легень

у лисиці звичайної, неоднакова впродовж бронхіального дерева, проте має загальні характеристики будови.

Внутрішня оболонка бронхів (слизова), подібно до трахеї, вистелена багаторядним війчастим епітелієм, товщина якого поступово зменшується за рахунок клітин від високих призматичних до низьких кубічних.

Власна пластинка слизової оболонки сформована великою кількістю у поздовжньому напрямку еластичними волокнами, які забезпечують розширення просвіту бронхів при вдихання повітря і повернення їх у вихідне становище при видиху.

Слизова оболонка бронхів має поздовжні складки, унаслідок скороченням косо-циркулярних пучків гладких міоцитів м'язової пластинки слизової оболонки, яка відділяє слизову оболонку від підслизової основи.

У підслизовій основі виявляються кінцеві відділи слизово-білкоки залоз, які знаходяться групами, особливо у місцях, де відсутня хрящова тканина, їхні вивідні протоки проникають у слизову оболонку і сприяють прилипанню та обволіканню частинок пилу та інших, які згодом виводяться назовні. У малих бронхах залози відсутні.

Волокнисто-хрящова оболонка по мірі зменшення величини бронхів характеризується послідовною заміною замкнених хрящових кілець (у головних бронхах) на хрящові пластинки (часточкові, зональні, сегментарні бронхи) та острівці хрящової тканини (середні бронхи).

У бронхах середнього калібру, замість гіалінового хряща, появляється еластичний хрящ. У бронхах малого калібру волокнисто-хрящова оболонка відсутня.

Зовнішня адвентиційна оболонка побудована з волокнисто-сполучної тканини, яка переходить у міжчасточкову сполучну тканину паренхіми легень.

Важливе значення для визначення процесів розвитку та морфофункціонального стану легенів мають гістометричні дослідження. Саме вони дають можливість встановити кількісні характеристики органу тварин на тканинному рівні (Горальський та ін., 2019). Згідно результатів проведеної нами гістометрії, зовнішній діаметр великих бронхів складає  $3478,4 \pm 28,92$  мкм, відповідно внутрішній –  $1750,2 \pm 12,38$  мкм. За таких параметрів, товщина стінки бронхів становить  $864,1 \pm 9,32$  мкм. Значно менші лінійні параметрами характерні для середніх, малих бронхів та термінальних бронхіол: зовнішній діаметр середніх брон-

хів становить  $1233,4 \pm 13,44$  мкм, внутрішній –  $618,4 \pm 9,85$  мкм, товщина стінки –  $307,4 \pm 8,55$  мкм, відповідно для малих бронхів –  $604,1 \pm 9,94$  мкм,  $306,7 \pm 7,48$  мкм,  $148,7 \pm 3,6$  мкм та для термінальних бронхіол –  $424,9 \pm 9,06$  мкм,  $275,3 \pm 4,85$  мкм та  $74,8 \pm 0,88$  мкм.

Структурно-функціональною одиницею дихального апарату ссавців є легеневі ацинуси (Haberthür et al., 2021). Ацинус – це система альвеол, які знаходяться у стінках респіраторних бронхіол, альвеолярних ходів та альвеолярних мішечків, у яких відбувається газообмін між кров'ю та повітрям, яке знаходиться у альвеолах (Vasilescu et al., 2012; Haberthür et al., 2021; Knudsen et al., 2023).

Легеневі ацинуси у лисиці звичайної, як і у інших тварин класу Ссавці, беруть початок від кінцевої бронхіоли, яка в свою чергу розгалужується на дихальні (респіраторні) бронхіоли першого порядку. Останні дитохомічно галузяться на респіраторні бронхіоли другого порядку, які, також дитохомічно розгалужуються на респіраторні бронхіоли третього порядку. Стінка респіраторних бронхіол вистелена одношаровим призматичним епітелієм. Респіраторні бронхіоли третього порядку, вже формують генерації альвеолярних ходів, які розгалужуються на альвеолярні мішечки, стінки яких складаються з альвеол, формуючи таким чином альвеолярне дерево. За мікроскопічної будови, такі розгалуження супроводжують судини, нерви та ніжні прошарки пухкої сполучної тканини.

Згідно проведеної нами гістометрії середній показник об'єму легневих альвеол у Лисиці звичайної дорівнює  $90,4 \pm 1,55$  тис. мкм<sup>3</sup>. При тім респіраторна частина легенів становить  $52,74 \pm 0,62$  %, сполучнотканинна основа –  $47,26 \pm 0,75$  %.

## Висновки

1. Будова легенів Лисиці звичайної характеризується частковою будовою: ліва легеня сформована трьома частками – краніальною, середньою та каудальною, права чотирма – краніальною, середньою, каудальною та додатковою.

2. Абсолютна маса легенів Лисиці звичайної дорівнює  $83,2 \pm 1,35$  г, відносна –  $1,01 \pm 0,03$  %. Ліва легеня незначно менша, ніж права: абсолютна маса лівої легені –  $35,6 \pm 1,13$  г, правої –  $47,6 \pm 2,13$  г. Коефіцієнт асиметрії легенів (АМ правої / АМ лівої) дорівнює  $1:1,33$ .

3. Загальна довжина легенів Лисиці звичайної складає  $14,9 \pm 0,35$  см, ширина  $13,1 \pm 0,3$ , товщина –  $6,8 \pm 0,28$  см. При тім індекс розвитку легенів дорівнює  $114 \pm 0,35$  %, що характеризує їх, як розширено-видовженого типу.

4. Бронхіальне дерево легенів Лисиці звичайної, сформоване правим і лівим головними бронхами, які переходять у позалегеневі часткові бронхи, які потім галузяться на великі бронхи. Великі бронхи в свою чергу діляться на сегментарні легеневі бронхи, потім на середні бронхи, які галузяться на малі бронхи. Останні галузяться у термінальні бронхіоли, після чого починається респіраторний відділ легень.

5. Внутрішня гістоархітектоніка легенів сформована легневими, пірамідальної або ж конусоподібної форми частками, що розмежовані сполучнотканинними перегородками, формуючи сполучнотканинну строму ( $47,26 \pm 0,75$  %), яка утворена пухкою сполучною тканиною, у якій виявляються еластичні волокна, кровоносні та лімфатичні судини.

Респіраторна паренхіма легенів ( $52,74 \pm 0,62$  %) утворена дихальними бронхіолами, альвеолярними ходами та альвеолярними мішечками, у стінках яких знаходяться альвеоли, середній об'єм яких складає  $90,4 \pm 1,55$  тис. мкм<sup>3</sup>.

## Список використаної літератури

Горальський А.П., Хомич В.Т., Кононський О.І. Основи гістологічної техніки і морфофункціональні методи дослідження у нормі та при патології: навчальний посібник. Житомир: Полісся, 2019. 288 с.

Закон України № 3447-IV «Про захист тварин від жорстокого поводження» від 21.02.2006 № 3447-IV [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3447-15#Text> (дата звернення: 07.06.2025).

Закон України «Про мисливське господарство та полювання» від 22.02.2000 № 1478-III [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1478-14#Text> (дата звернення: 07.06.2025).

Хомич В.Т., Левчук В.С., Горальський А.П., Ших Ю. С., Калиновська І.Г. Міжнародна ветеринарна анатомічна номенклатура - Nomina anatomica veterinaria: латинською, українською і англійською мовами / ред.: В. Т. Хомич, В. С. Левчук. Київ. 2005. 389 с.

Хомич В.Т., Мазуркевич Т.А., Дишлюк Н.В., Стегней Ж.Г., Усенко С.І. Міжнародна ветеринарна гістологічна номенклатура: термінологічний словник - Nomina histologica veterinaria / за ред. В. Т. Хомича. Київ. 2019. 273 с.

Яблонська О.В. Використання лабораторних тварин у експериментах: метод. вказівки. Вид. центр НАУ, 2007. С. 316.

Barash A., Preiss-Bloom S., Machluf Y., Fabbri E., Malkinson D., Velli E., Mucci N., Barash A., Caniglia R., Dayan T. Dekel Y. Possible origins and implications of atypical morphologies and domestication-like traits in wild golden jackals (*Canis aureus*). *Scientific reports*. 2023. Vol. 13 №1, 7388. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-34533-w>.

Bide R.W., Armour S.J., Yee E. Allometric respiration/body mass data for animals to be used for estimates of inhalation toxicity to young adult humans. *Journal of applied toxicology: JAT*. 2000. Vol. 20 №4, P. 273-290. [https://doi.org/10.1002/1099-1263\(200007/08\)20:4<273::aid-jat657>3.0.co;2-x](https://doi.org/10.1002/1099-1263(200007/08)20:4<273::aid-jat657>3.0.co;2-x)

Blagojević M., Božičković I., Ušćebrka G., Lozanče O., Đorđević M., Zorić Z., Nešić I. Anatomical and histological characteristics of the lungs in the ground squirrel (*Spermophilus citellus*). *Acta veterinaria Hungarica*. 2018. Vol. 66. Issue 2, 165-176. <https://doi.org/10.1556/004.2018.016>

Buchko O., Havryliak V., Yaremkevych O., Konechna R., Ohorodnyk N. Metabolic processes in the organism of animals under the action of plant extract. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2019. Vol. 10. №2. P. 149-158. <https://doi.org/10.15421/021922>

Buijtendijk M.F.J., Barnett P., van den Hoff M.J. B. Development of the human heart. *American journal of medical genetics. Part C, Seminars in medical genetics*. 2020. Vol. 184. № 1. P. 7–22. <https://doi.org/10.1002/ajmg.c.31778>

Cooper D.M., Loxham M. Particulate matter and the airway epithelium: the special case of the underground? *European respiratory review: an official journal of the European Respiratory Society*. 2019. Vol. 28. №153, 190066. <https://doi.org/10.1183/16000617.0066-2019>

Davenport P.W., von Leupoldt A., Wheeler-Hegland K., Colrain I.M. Frontiers in respiratory physiology - grand challenge. *Frontiers in physiology*. 2010. Vol. 1, 139. <https://doi.org/10.3389/fphys.2010.00139>

De Backer J. W., Vos W.G., Burnell P., Verhulst S.L., Salmon P., De Clerck N. De Backer W. Study of the variability in upper and lower airway morphology in Sprague-Dawley rats using modern micro-CT scan-based segmentation techniques. *Anatomical record (Hoboken N.J.: 2007)*. 2009. Vol. 292. №5. P. 720–727. <https://doi.org/10.1002/ar.20877>

Duncker H.R. Vertebrate lungs: structure, topography and mechanics. A comparative perspective of the progressive integration of respiratory system, locomotor apparatus and ontogenetic development. *Respiratory physiology & neurobiology*. 2004. Vol. 144. № 2–3, P. 111–124. <https://doi.org/10.1016/j.resp.2004.07.020>

Eckhardt C.M., Wu H. Environmental Exposures and Lung Aging: Molecular Mechanisms and Implications for Improving Respiratory Health. *Current environmental health reports*. 2021. Vol. 8. №4, P. 281–293. <https://doi.org/10.1007/s40572-021-00328-2>.

Einstein D.R., Neradilak B., Pollisar N., Minard K.R., Wallis C., Fanucchi M., Carson J.P., Kuprat A.P., Kabilan S., Jacob R. E., Corley R.A. An automated self-similarity analysis of the pulmonary tree of the Sprague-Dawley rat. *Anatomical record (Hoboken N.J.: 2007)*. 2008. Vol. 291. №12. P. 1628–1648. <https://doi.org/10.1002/ar.20771>

European Convention for the protection of vertebrate animals used for research and other scientific purposes. (1986, March). Retrieved from [Electronic resource]. URL: [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994\\_137#Text](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_137#Text) (access date 30.12.2025)

Forestiero S. The historical nature of biological complexity and the ineffectiveness of the mathematical approach to it. Theory in biosciences. *Theorie in den Biowissenschaften*. 2022. Vol. 141. №2. P. 213–231. <https://doi.org/10.1007/s12064-022-00369-7>

Franco N.H. Animal Experiments in Biomedical Research: A Historical Perspective. *Animals: an open access journal from MDPI*. 2013. Vol. 3. №1. P. 238–273. <https://doi.org/10.3390/ani3010238>

Fröhlich E. Animals in Respiratory Research. *International journal of molecular sciences*. 2024. Vol. 25. № 5, 2903. <https://doi.org/10.3390/ijms25052903>

Gehr P., Mwangi D.K., Ammann A., Maloiy G.M., Taylor C.R., Weibel E.R. Design of the mammalian respiratory system. V. Scaling morphometric pulmonary diffusing capacity to body mass: wild and domestic mammals. *Respiration physiology*. 1981. Vol. 44. №1. P. 61–86. [https://doi.org/10.1016/0034-5687\(81\)90077-3](https://doi.org/10.1016/0034-5687(81)90077-3)

Geiger M., Sánchez-Villagra M. R. Similar rates of morphological evolution in domesticated and wild pigs and dogs. 2018. *Frontiers in zoology*, Vol. 15. №23. <https://doi.org/10.1186/s12983-018-0265-x>

- González M.L., Pividori S.M., Fosser G., Pontecorvo A.A., Franco-Riveros V.B., Tubbs R.S., Boezaart A.P., Reina M.A., Buchholz B. Innervation of the heart: Anatomical study with application to better understanding pathologies of the cardiac autonomies. *Clinical anatomy* (New York, N.Y.). 2023. Vol. 36. №3. P. 550–562. <https://doi.org/10.1002/ca.24017>
- Haberthür D., Yao E., Barré S.F., Cremona T.P., Tschanz S.A., Schittny J. C. Pulmonary acini exhibit complex changes during postnatal rat lung development. *PLoS one*. 2021. Vol. 16. №11. P. 1–20 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0257349>
- Han M.N., Kim J.H., Choi S.H. Evaluation of Biomechanical Properties and Morphometric Structures of the Trachea in Pigs and Rabbits. *In vivo* (Athens, Greece). 2022. Vol. 36. №4. P. 1718–1725. <https://doi.org/10.21873/invivo.12884>
- Heck L., Wilson L.A.B., Evin A., Stange M., Sánchez-Villagra M.R. Shape variation and modularity of skull and teeth in domesticated horses and wild equids. *Frontiers in zoology*. 2018. Vol. 15. №14. <https://doi.org/10.1186/s12983-018-0258-9>
- Horalskyi L.P., Ragulya M.R., Kolesnik N.L., Sokulskyi I.M., Guttyj B.V. Peculiarities of macro- and cytometric assessment of morphological structures of the domestic pig heart. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2024. Vol. 15. №1. P. 55–61. <https://doi.org/10.15421/022408>
- Hsia C.C., Hyde D.M., Weibel E.R. Lung Structure and the Intrinsic Challenges of Gas Exchange. *Comprehensive Physiology*. 2016. Vol. 6. №2. P. 827–895. <https://doi.org/10.1002/cphy.c150028>
- Hsia C.C., Schmitz A., Lambertz M., Perry S. F., Maina J. N. Evolution of air breathing: oxygen homeostasis and the transitions from water to land and sky. *Comprehensive Physiology*. 2013. Vol. 3. №2. P. 849–915. <https://doi.org/10.1002/cphy.c120003>
- Hyde D.M., Hamid Q., Irvin C.G. Anatomy, pathology, and physiology of the tracheobronchial tree: emphasis on the distal airways. *The Journal of allergy and clinical immunology*. 2009. Vol. 124 (6 Suppl), P. 72–77. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2009.08.048>
- Iliukha L.M. Systems biology and systems regulation of physiological processes. *Cherkasy university bulletin: biological sciences series*. 2022. Vol. 2. P. 32–37. <https://10.31651/2076-5835-2018-1-2022-2-32-37/>
- Knudsen L., Hummel B., Wrede C., Zimmermann R., Perlman C.E., Smith B.J. Acinar micromechanics in health and lung injury: what we have learned from quantitative morphology. *Frontiers in physiology*. 2023. Vol. 14. P.1142221. <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1142221>
- Kohl P., Crampin E.J., Quinn T.A., Noble D. Systems biology: an approach. *Clinical pharmacology and therapeutics*. 2010. Vol. 88. №1. P. 25–33. <https://doi.org/10.1038/clpt.2010.92>
- Krause W.J., Leeson C.R. The postnatal development of the respiratory system of the opossum. I. Light and scanning electron microscopy. *The American journal of anatomy*. 1973. Vol. 137. №3. P. 337–355. <https://doi.org/10.1002/aja.1001370306>
- Lee J.W., Kang M.Y., Yang H.J., Lee E. Fluid-dynamic optimality in the generation-averaged length-to-diameter ratio of the human bronchial tree. *Medical & biological engineering & computing*. 2007. Vol. 45. №11. P. 1071–1078. <https://doi.org/10.1007/s11517-007-0232-8>
- Lindstedt S.L., Schaeffer P.J. Use of allometry in predicting anatomical and physiological parameters of mammals. *Laboratory animals*. 2002. Vol. 36. №1. P. 1–19. <https://doi.org/10.1258/0023677021911731>
- López A., Martinson S.A. Respiratory System, Mediastinum, and Pleurae. *Pathologic Basis of Veterinary Disease*. 2017. P. 471–560. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-35775-3.00009-6>
- Maina J.N., Gils V.P. Morphometric characterization of the airway and vascular systems of the lung of the domestic pig, *Sus scrofa*: comparison of the airway, arterial and venous systems. *Comparative biochemistry and physiology. Part A, Molecular & integrative physiology*. 2001. Vol. 130. №4. P. 781–798. [https://doi.org/10.1016/s1095-6433\(01\)00411-1](https://doi.org/10.1016/s1095-6433(01)00411-1)
- Majumdar A., Alencar A.M., Buldyrev S.V., Hantos Z., Lutchen K.R., Stanley H.E., Suki B. Relating airway diameter distributions to regular branching asymmetry in the lung. *Physical review letters*. 2005. Vol. 95. №16. 168101. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.95.168101>
- Meeusen E.N., Snibson K.J., Hirst S.J., Bischo R.J. Sheep as a model species for the study and treatment of human asthma and other respiratory diseases. *Drug Discovery Today: Disease Models*. 2009. Vol. 60. №4. P. 101–106. <https://doi.org/10.1016/j.ddmod.2009.12.002>
- Monteiro A., Smith R. Bronchial tree Architecture in Mammals of Diverse Body Mass. of Diverse Body. *International Journal of Morphology*. 2014. Vol. 32. №1. P. 312–316. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-95022014000100050>

- Mouton W.G., Pfitzner J., Bessell J.R., Maddern G.J. Bronchial anatomy and single-lung ventilation in the pig. *Canadian journal of anaesthesia. Journal canadien d'anesthesie*. 1999. Vol. 46. №7. P. 701–703. <https://doi.org/10.1007/BF03013963>
- Nakakuki S. Bronchial tree, lobular division and blood vessels of the pig lung. *The Journal of veterinary medical science*. 1994. Vol. 56. №4. P. 685–689. <https://doi.org/10.1292/jvms.56.685>
- Neagu A., Săvescu M., Angeli G., Tudor N., Vlăgioiu C. Radiographic retrospective study of thoracic cavity alterations in dogs and cats with respiratory diseases. *Scientific Works. Series C. Veterinary Medicine*. 2019. LXV(1). P. 66–69.
- Nichiporuk S., Radzykhovskiy M., Gutyj B. Overview: euthanasia and methods of antanasia of animals. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Veterinary Sciences*, 2022. Vol. 24. №105. P. 141–148. <https://doi.org/10.32718/nlvvet10520>
- Oizumi H., Kato H., Endoh M., Suzuki J., Watarai H., Hamada A., Suzuki K., Nakahashi K., Sadahiro M. Swine model for training surgeons in minimally invasive anatomic lung segmentectomy. *Journal of visualized surgery*. 2017. Vol. 3. №72. <https://doi.org/10.21037/jovs.2017.03.24>
- Palchyk V.V., Kabaliev A.V., Shynkevych V.I., Shlykova O.A. Morphological characteristics of lungs in laboratory balb/c mice. *The Medical and Ecological Problems*. 2023. Vol 27. №1–2. P. 7–24. <https://doi.org/10.31718/mep.2023.27.1-2.05>
- Patra A.L. Comparative anatomy of mammalian respiratory tracts: the nasopharyngeal region and the tracheobronchial region. *Journal of toxicology and environmental health*. 1986. Vol. 17. №2–3. P. 163–174. <https://doi.org/10.1080/15287398609530813>
- Perry S.F., Burggren W.W. Why respiratory biology? The meaning and significance of respiration and its integrative study. *Integrative and comparative biology*. 2007. Vol 47. №4. P.506–509. <https://doi.org/10.1093/icb/icm033>
- Ramchandani R., Bates J.H., Shen X., Suki B., Tepper R.S. Airway branching morphology of mature and immature rabbit lungs. *Journal of applied physiology* (Bethesda, Md.: 1985). 2001. Vol. 90. №4. P. 1584–1592. <https://doi.org/10.1152/jappl.2001.90.4.1584>
- Ribitsch I., Baptista P.M., Lange-Consiglio A., Melotti L., Patruno M., Jenner F., Schnabl-Feichter E., Dutton L.C., Connolly D. J., van Steenbeek F. G., Dudhia J., Penning L.C. Large Animal Models in Regenerative Medicine and Tissue Engineering: To Do or Not to Do. *Frontiers in bioengineering and biotechnology*. 2020. Vol. 8. P. 972. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.00972>
- Richter S., Wirkner C. A research program for Evolutionary Morphology. *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research*. 2014. Vol. 52. №4. P.338–350. <https://doi.org/10.1111/jzs.12061>
- Simões-Costa M.S., Vasconcelos M., Sampaio A. C., Cravo R.M., Linhares V. L., Hochgreb T., Yan C.Y., Davidson B., Xavier-Neto J. The evolutionary origin of cardiac chambers. *Developmental biology*. 2005. Vol. 277. №1. P. 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.ydbio.2004.09.026>
- Sokulskiy I.M., Goralskiy L.P., Kolesnik N.L., Dunaievska O.F., Radzikhovskiy N.L. Histostructure of the gray matter of the spinal cord in cattle (*Bos Taurus*). *Ukrainian Journal of Veterinary and Agricultural Sciences*. 2021. Vol. 4. №3. P. 11–15. <https://doi.org/10.32718/ujvas4-3.02>
- Sterelny K. Humans as model organisms. *Proceedings. Biological sciences*. 2017. Vol. 284. №1869. P. 2115. <https://doi.org/10.1098/rspb.2017.2115>
- Turcotte M.M., Araki H., Karp D.S., Poveda K., Whitehead S.R. The eco-evolutionary impacts of domestication and agricultural practices on wild species. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*. 2017. Vol. 372. №1712. P. 20160033. <https://doi.org/10.1098/rstb.2016.0033>
- Valerius K.P. Size-dependent morphology of the conductive bronchial tree in four species of myomorph rodents. *Journal of morphology*. 1996. Vol 230. №3. P. 291–297.
- Vasilescu D.M., Gao Z., Saha P.K., Yin L., Wan, G., Haefeli-Bleuer B., Ochs M., Weibel E.R., Hoffman E.A. Assessment of morphometry of pulmonary acini in mouse lungs by nondestructive imaging using multiscale microcomputed tomography. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2012. Vol. 109. №42. P. 17105–17110.
- Wang P.M., Kraman S.S. Fractal branching pattern of the monopodial canine airway. *Journal of applied physiology* (Bethesda, Md.: 1985). 2004. Vol. 96. №6. P. 2194–2199. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00604.2003>
- Weibel E.R. Why measure lung structure? *American journal of respiratory and critical care medicine*. 2001. Vol. 163. №2. P. 314–315. <https://doi.org/10.1164/ajrccm.163.2.hh12-00>
- Wishart D.S. Metabolomics for Investigating Physiological and Pathophysiological Processes. *Physiological reviews*. 2019. Vol. 99. №4. P. 1819–1875. <https://doi.org/10.1152/physrev.00035.2018>

## References

- Horalskyi, L.P., Khomych, V.T., & Kononskyi, O.I. (2019). Osnovy histolohichnoyi tekhniky ta morfofunksionalnykh metodiv doslidzhennia v normi ta patolohiyi [Fundamentals of histological technique and morphofunctional research methods in normal and pathology]. Polissia, Zhytomyr. 288 p. [in Ukrainian]
- Zakon Ukrainy № 3447-IV «Pro zakhyst tvaryn vid zhorstokoho povodzhennia» vid 21.02.2006 № 3447-IV. [Law of Ukraine № 3447-IV “About protection of animals from cruelty”. dated 21.02.2006, February]. [Electronic resource]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3447-15#Text> (access date 07.06.2025) [in Ukrainian].
- Zakon Ukrainy «Pro myslyvske hospodarstvo ta poliuvannia» vid 22.02.2000 № 1478-III. [Law of Ukraine About game management and hunting dated 22.02.2000 №. 1478-III]. [Electronic resource]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1478-14#Text> (access date: 07.06.2025) [in Ukrainian].
- Khomych V.T., Levchuk V.S., Horalskyi L.P., Shykh Yu.S., & Kalynovska I.H. (2005). Mizhnarodna veterynarna anatomichna nomenklatura = Nomina anatomica veterinaria: latynskoiu, ukrainskoiu i anhliiskoiu. [International Veterinary Anatomical Nomenclature = Nomina anatomica veterinaria: in Latin, Ukrainian and English]. Kyiv. 389 [in Ukrainian].
- Khomych V.T., Mazurkevych T.A., Dyshliuk N.V., Stehnei Zh.H., & Usenko S.I. (2019). Mizhnarodna veterynarna histolohichna nomenklatura: terminolohichniy slovnyk - Nomina histologica veterinaria. [International Veterinary Histological Nomenclature: Terminological Dictionary - Nomina histologica veterinaria]. Kyiv. 273 [in Ukrainian].
- Yablons'ka, O.V. (2007). Viktoristannya laboratornih tvarin u eksperimentah: metod. Vkazivki. K.: Vid. centr NAU, 3-6. [in Ukrainian]
- Barash, A., Preiss-Bloom, S., Machluf, Y., Fabbri, E., Malkinson, D., Velli, E., Mucci, N., Barash, A., Caniglia, R., Dayan, T., & Dekel, Y. (2023). Possible origins and implications of atypical morphologies and domestication-like traits in wild golden jackals (*Canis aureus*). *Scientific reports*, 13(1), 7388. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-34533-w> [in English].
- Bide, R.W., Armour, S.J., & Yee, E. (2000). Allometric respiration/body mass data for animals to be used for estimates of inhalation toxicity to young adult humans. *Journal of applied toxicology: JAT*, 20(4), 273–290. [https://doi.org/10.1002/1099-1263\(200007/08\)20:4<273::aid-jat657>3.0.co;2-x](https://doi.org/10.1002/1099-1263(200007/08)20:4<273::aid-jat657>3.0.co;2-x) [in English].
- Blagojević, M., Božičković, I., Ušćebrka, G., Lozanče, O., Đorđević, M., Zorić, Z., & Nešić, I. (2018). Anatomical and histological characteristics of the lungs in the ground squirrel (*Spermophilus citellus*). *Acta veterinaria Hungarica*, 66(2), 165–176. <https://doi.org/10.1556/004.2018.016> [in English].
- Buchko, O., Havryliak, V., Yaremkevych, O., Konechna, R., & Ohorodnyk, N. (2019). Metabolic processes in the organism of animals under the action of plant extract. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 10(2), 149–158. <https://doi.org/10.15421/021922> [in English].
- Buijtendijk, M.F.J., Barnett, P., & van den Hoff, M.J.B. (2020). Development of the human heart. *American journal of medical genetics. Part C, Seminars in medical genetics*, 184(1), 7–22. <https://doi.org/10.1002/ajmg.c.31778> [in English].
- Cooper, D.M., & Loxham, M. (2019). Particulate matter and the airway epithelium: the special case of the underground?. *European respiratory review : an official journal of the European Respiratory Society*, 28(153), 190066. <https://doi.org/10.1183/16000617.0066-2019> [in English].
- Davenport, P.W., von Leupoldt, A., Wheeler-Hegland, K., & Colrain, I.M. (2010). Frontiers in respiratory physiology - grand challenge. *Frontiers in physiology*, 1, 139. <https://doi.org/10.3389/fphys.2010.00139> [in English].
- De Backer, J.W., Vos, W.G., Burnell, P., Verhulst, S. L., Salmon, P., De Clerck, N., & De Backer, W. (2009). Study of the variability in upper and lower airway morphology in Sprague-Dawley rats using modern micro-CT scan-based segmentation techniques. *Anatomical record (Hoboken, N.J.: 2007)*, 292(5), 720–727. <https://doi.org/10.1002/ar.20877> [in English].
- Duncker H.R. (2004). Vertebrate lungs: structure, topography and mechanics. A comparative perspective of the progressive integration of respiratory system, locomotor apparatus and ontogenetic development. *Respiratory physiology & neurobiology*, 144(2-3), 111–124. <https://doi.org/10.1016/j.resp.2004.07.020> [in English].
- Eckhardt, C.M., & Wu, H. (2021). Environmental Exposures and Lung Aging: Molecular Mechanisms and Implications for Improving Respiratory Health. *Current environmental health reports*, 8(4), 281–293. <https://doi.org/10.1007/s40572-021-00328-2> [in English].

- Einstein, D.R., Neradilak, B., Pollisar, N., Minard, K.R., Wallis, C., Fanucchi, M., Carson, J.P., Kuprat, A.P., Kabilan, S., Jacob, R.E., & Corley, R.A. (2008). An automated self-similarity analysis of the pulmonary tree of the Sprague-Dawley rat. *Anatomical record* (Hoboken, N.J.: 2007), 291(12), 1628–1648. <https://doi.org/10.1002/ar.20771> [in English].
- European Convention for the protection of vertebrate animals used for research and other scientific purposes. (1986, March). Retrieved from [Electronic resource]. URL: [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994\\_137#Text](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_137#Text) (access date 30.12.2025) [in English].
- Forestiero, S. (2022). The historical nature of biological complexity and the ineffectiveness of the mathematical approach to it. Theory in biosciences. *Theorie in den Biowissenschaften*, 141(2), 213–231. <https://doi.org/10.1007/s12064-022-00369-7> [in English].
- Franco, N.H. (2013). Animal Experiments in Biomedical Research: A Historical Perspective. *Animals: an open access journal from MDPI*, 3(1), 238–273. <https://doi.org/10.3390/ani3010238> [in English].
- Fröhlich E. (2024). Animals in Respiratory Research. *International journal of molecular sciences*, 25(5), 2903. <https://doi.org/10.3390/ijms25052903> [in English].
- Gehr, P., Mwangi, D.K., Ammann, A., Maloiy, G.M., Taylor, C.R., & Weibel, E.R. (1981). Design of the mammalian respiratory system. V. Scaling morphometric pulmonary diffusing capacity to body mass: wild and domestic mammals. *Respiration physiology*, 44(1), 61–86. [https://doi.org/10.1016/0034-5687\(81\)90077-3](https://doi.org/10.1016/0034-5687(81)90077-3) [in English].
- Geiger, M., & Sánchez-Villagra, M.R. (2018). Similar rates of morphological evolution in domesticated and wild pigs and dogs. *Frontiers in zoology*, 15, 23. <https://doi.org/10.1186/s12983-018-0265-x> [in English].
- González, M.L., Pividori, S.M., Fossier, G., Pontecorvo, A.A., Franco-Riveros, V. B., Tubbs, R. S., Boezaart, A. P., Reina, M. A., & Buchholz, B. (2023). Innervation of the heart: Anatomical study with application to better understanding pathologies of the cardiac autonomies. *Clinical anatomy* (New York, N.Y.), 36(3), 550–562. <https://doi.org/10.1002/ca.24017> [in English].
- Haberthür, D., Yao, E., Barré, S.F., Cremona, T.P., Tschanz, S.A., & Schittny, J.C. (2021). Pulmonary acini exhibit complex changes during postnatal rat lung development. *PloS one*, 16(11), e0257349. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0257349> [in English].
- Han, M.N., Kim, J.H., & Choi, S. H. (2022). Evaluation of Biomechanical Properties and Morphometric Structures of the Trachea in Pigs and Rabbits. *In vivo* (Athens, Greece), 36(4), 1718–1725. <https://doi.org/10.21873/invivo.12884> [in English].
- Heck, L., Wilson, L.A.B., Evin, A., Stange, M., & Sánchez-Villagra, M.R. (2018). Shape variation and modularity of skull and teeth in domesticated horses and wild equids. *Frontiers in zoology*, 15, 14. <https://doi.org/10.1186/s12983-018-0258-9> [in English].
- Horalskyi, L.P., Ragulya, M.R., Kolesnik, N.L., Sokulskyi, I.M., & Gutyj, B.V. (2024). Peculiarities of macro- and cytometric assessment of morphological structures of the domestic pig heart. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 15(1), 55–61. <https://doi.org/10.15421/022408> [in English].
- Hsia, C.C., Hyde, D.M., & Weibel, E.R. (2016). Lung Structure and the Intrinsic Challenges of Gas Exchange. *Comprehensive Physiology*, 6(2), 827–895. <https://doi.org/10.1002/cphy.c150028> [in English].
- Hsia, C.C., Schmitz, A., Lambertz, M., Perry, S.F., & Maina, J.N. (2013). Evolution of air breathing: oxygen homeostasis and the transitions from water to land and sky. *Comprehensive Physiology*, 3(2), 849–915. <https://doi.org/10.1002/cphy.c120003> [in English].
- Hyde, D.M., Hamid, Q., & Irvin, C.G. (2009). Anatomy, pathology, and physiology of the tracheobronchial tree: emphasis on the distal airways. *The Journal of allergy and clinical immunology*, 124 (6 Suppl), S72–S77. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2009.08.048> [in English].
- Iliukha, L.M. (2022) Systems biology and systems regulation of physiological processes. *Cherkasy university bulletin: biological sciences series*, 2, 32–37. <https://10.31651/2076-5835-2018-1-2022-2-32-37> [in English].
- Knudsen, L., Hummel, B., Wrede, C., Zimmermann, R., Perlman, C.E., & Smith, B.J. (2023). Acinar micromechanics in health and lung injury: what we have learned from quantitative morphology. *Frontiers in physiology*, 14, 1142221. <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1142221> [in English].
- Kohl, P., Crampin, E.J., Quinn, T.A., & Noble, D. (2010). Systems biology: an approach. *Clinical pharmacology and therapeutics*, 88(1), 25–33. <https://doi.org/10.1038/clpt.2010.92> [in English].
- Krause, W.J., & Leeson, C.R. (1973). The postnatal development of the respiratory system of the opossum. I. Light and scanning electron microscopy. *The American journal of anatomy*, 137(3), 337–355. <https://doi.org/10.1002/aja.1001370306> [in English].

- Lee, J.W., Kang, M.Y., Yang, H.J., & Lee, E. (2007). Fluid-dynamic optimality in the generation-averaged length-to-diameter ratio of the human bronchial tree. *Medical & biological engineering & computing*, 45(11), 1071–1078. <https://doi.org/10.1007/s11517-007-0232-8> [in English].
- Lindstedt, S.L., & Schaeffer, P.J. (2002). Use of allometry in predicting anatomical and physiological parameters of mammals. *Laboratory animals*, 36(1), 1–19. <https://doi.org/10.1258/0023677021911731> [in English].
- López, A., & Martinson, S.A. (2017). Respiratory System, Mediastinum, and Pleurae. *Pathologic Basis of Veterinary Disease*, 471–560.e1. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-35775-3.00009-6> [in English].
- Maina, J.N., & Gils, V.P. (2001). Morphometric characterization of the airway and vascular systems of the lung of the domestic pig, *Sus scrofa*: comparison of the airway, arterial and venous systems. *Comparative biochemistry and physiology. Part A, Molecular & integrative physiology*, 130(4), 781–798. [https://doi.org/10.1016/S1095-6433\(01\)00411-1](https://doi.org/10.1016/S1095-6433(01)00411-1) [in English].
- Majumdar, A., Alencar, A.M., Buldyrev, S.V., Hantos, Z., Lutchen, K.R., Stanley, H. E., & Suki, B. (2005). Relating airway diameter distributions to regular branching asymmetry in the lung. *Physical review letters*, 95(16), 168101. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.95.168101> [in English].
- Meeusen, E.N., Snibson, K.J., Hirst, S.J., Bischof, R.J. (2009). Sheep as a model species for the study and treatment of human asthma and other respiratory diseases. *Drug Discovery Today: Disease Models*. 60 (4), 101–106. <https://doi.org/10.1016/j.ddmod.2009.12.002> [in English].
- Monteiro, A., & Smith, R. (2014). Bronchial tree Architecture in Mammals of Diverse Body Mass. of Diverse Body. *International Journal of Morphology*. 32(1), 312–316. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-95022014000100050> [in English].
- Mouton, W.G., Pfitzner, J., Bessell, J.R., & Maddern, G.J. (1999). Bronchial anatomy and single-lung ventilation in the pig. *Canadian journal of anaesthesia. Journal canadien d'anesthesie*, 46(7), 701–703. <https://doi.org/10.1007/BF03013963> [in English].
- Nakakuki, S. (1994). Bronchial tree, lobular division and blood vessels of the pig lung. *The Journal of veterinary medical science*, 56(4), 685–689. <https://doi.org/10.1292/jvms.56.685> [in English].
- Nanglu, K., de Carle, D., Cullen, T. M., Anderson, E. B., Arif, S., Castañeda, R. A., Chang, L. M., Iwama, R. E., Fellin, E., Manglicmot, R. C., Massey, M. D., & Astudillo-Clavijo, V. (2023). The nature of science: The fundamental role of natural history in ecology, evolution, conservation, and education. *Ecology and evolution*, 13(10), e10621. <https://doi.org/10.1002/ece3.10621> [in English].
- Neagu, A., Săvescu, M., Angeli, G., Tudor, N., Vlăgioiu, C. (2019). Radiographic retrospective study of thoracic cavity alterations in dogs and cats with respiratory diseases. *Scientific Works. Series C. Veterinary Medicine*. LXV(1), 66–69 [in English].
- Nichiporuk, S., Radzykhovskiy, M., & Guttyj, B. (2022). Overview: euthanasia and methods of antanasya of animals. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Veterinary Sciences*, 24(105), 141–148. <https://doi.org/10.32718/nvlvet10520> [in English].
- Oizumi, H., Kato, H., Endoh, M., Suzuki, J., Watarai, H., Hamada, A., Suzuki, K., Nakahashi, K., & Sadahiro, M. (2017). Swine model for training surgeons in minimally invasive anatomic lung segmentectomy. *Journal of visualized surgery*, 3, 72. <https://doi.org/10.21037/jovs.2017.03.24> [in English].
- Palchyk, V.V., Kabaliei, A.V., Shynkevych V.I., & Shlykova, O.A. (2023). Morphological characteristics of lungs in laboratory balb/c mice. *The Medical and Ecological Problems*, 27(1–2), 17–24. <https://doi.org/10.31718/mep.2023.27.1-2.05> [in English].
- Patra, A.L. (1986). Comparative anatomy of mammalian respiratory tracts: the nasopharyngeal region and the tracheobronchial region. *Journal of toxicology and environmental health*, 17(2–3), 163–174. <https://doi.org/10.1080/15287398609530813> [in English].
- Perry, S.F., & Burggren, W.W. (2007). Why respiratory biology? The meaning and significance of respiration and its integrative study. *Integrative and comparative biology*, 47(4), 506–509. <https://doi.org/10.1093/icb/icm033> [in English].
- Ramchandani, R., Bates, J.H., Shen, X., Suki, B., & Tepper, R.S. (2001). Airway branching morphology of mature and immature rabbit lungs. *Journal of applied physiology* (Bethesda, Md.: 1985), 90(4), 1584–1592. <https://doi.org/10.1152/jappl.2001.90.4.1584> [in English].
- Ribitsch, I., Baptista, P.M., Lange-Consiglio, A., Melotti, L., Patruno, M., Jenner, F., Schnabl-Feichter, E., Dutton, L. C., Connolly, D.J., van Steenbeek, F.G., Dudhia, J., & Penning, L.C. (2020). Large Animal Models in Regenerative Medicine and Tissue Engineering: To Do or Not to Do. *Frontiers in bioengineering and biotechnology*, 8, 972. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.00972> [in English].

Richter, S., & Wirkner, C. (2014). A research program for Evolutionary Morphology. *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research*, 52(4), 338–350. <https://doi.org/10.1111/jzs.12061> [in English].

Simões-Costa, M. S., Vasconcelos, M., Sampaio, A. C., Cravo, R. M., Linhares, V. L., Hochgreb, T., Yan, C. Y., Davidson, B., & Xavier-Neto, J. (2005). The evolutionary origin of cardiac chambers. *Developmental biology*, 277(1), 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.ydbio.2004.09.026> [in English].

Sokulskyi, I.M., Goralskyi, L.P., Kolesnik, N.L., Dunaievska, O.F., & Radzikhovsky, N.L. (2021). Histostructure of the gray matter of the spinal cord in cattle (*Bos Taurus*). *Ukrainian Journal of Veterinary and Agricultural Sciences*, 4(3), 11–15. <https://10.32718/ujvas4-3.02> [in English].

Sterelny, K. (2017). Humans as model organisms. *Proceedings. Biological sciences*, 284(1869), 20172115. <https://doi.org/10.1098/rspb.2017.2115> [in English].

Turcotte, M.M., Araki, H., Karp, D.S., Poveda, K., & Whitehead, S.R. (2017). The eco-evolutionary impacts of domestication and agricultural practices on wild species. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*, 372(1712). [in English].

Valerius, K.P. (1996). Size-dependent morphology of the conductive bronchial tree in four species of myomorph rodents. *Journal of morphology*, 230(3), 291–297. [in English].

Vasilescu, D.M., Gao, Z., Saha, P. K., Yin, L., Wang, G., Haefeli-Bleuer, B., Ochs, M., Weibel, E.R., & Hoffman, E.A. (2012). Assessment of morphometry of pulmonary acini in mouse lungs by nondestructive imaging using multiscale microcomputed tomography. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 109(42), 17105–17110. [in English].

Wang, P.M., & Kraman, S.S. (2004). Fractal branching pattern of the monopodial canine airway. *Journal of applied physiology* (Bethesda, Md. : 1985), 96(6), 2194–2199. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00604.2003> [in English].

Weibel, E.R. (2001). Why measure lung structure?. *American journal of respiratory and critical care medicine*, 163(2), 314–315. <https://doi.org/10.1164/ajrccm.163.2.hh12-00> [in English].

Wishart, D.S. (2019). Metabolomics for Investigating Physiological and Pathophysiological Processes. *Physiological reviews*, 99(4), 1819–1875. <https://doi.org/10.1152/physrev.00035.2018> [in English].

Дата першого надходження статті до видання: 01.01.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 10.02.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 31.03.2026

Стаття поширюється на умовах  
ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

