



УДК 591.412:597.551.4
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.13.2025.4>

МОРФОЛОГІЯ СЕРЦЯ КЛАРІЄВОГО СОМА (*CLARIAS GARIEPINUS*)

А. П. Горальський¹, О. В. Овдіюк², Б. В. Гутий³

Одним із перспективних видів риб, що відносно нещодавно почав розводитись в Україні, є кларієвий сом (*Clarias gariepinus*) родини сомових. Це прісноводна, теплолюбна, усеїдна риба, що може дихати атмосферним повітрям.

Метою роботи є морфологічна оцінка макроскопічної будови серця кларієвого сома, дводишних хребетних (*Chordata*), класу Променепері (*Actinopterygii*), родини Кларієві, виду кларії нільський (*Clarias gariepinus*).

За використання морфологічних, морфометричних, статистичних методів досліджень представлені результати щодо будови серця кларієвого сома, які переконливо свідчать, що його морфологічна будова та морфотопографія у дводишних риб, у яких у процесі філогенетичного розвитку, окрім зябрового дихання, з'явилося і легеневе, відрізняються від таких у кісткових риб. Показано, що серце у кларієвого сома топографічно міститься у краніальній частині тулуба із черевного боку тіла, поблизу до голови, у трикутнику між кістками плечового пояса, у центрі між зябрами. Серце кларієвого сома побудоване з венозного синуса, передсердя, шлуночка й артеріального конуса, які розділені клапанами, що надає можливість рухатись крові тільки в одному напрямку – від венозного синуса до артеріального конуса, а не навпаки. Передсердя міститься справа від шлуночка, як відокремлена структура, у якій наявна неповна перегородка, яка частково поділяє передсердя на праву та ліву половинки (камери). Шлуночок серця – це порожнистий орган, який має видовжено-овальну форму. У шлуночку краніально знаходиться розширена основа, каудально – випукла верхівка. Артеріальний конус серця має розширену основу, яка прилягає до шлуночка, зворотна частина конуса звужена, що надає цій структурі конічної (лійкоподібної) форми. За результатами органомерії, лінійні показники складників серця різні й залежать від виконання ними функціонального навантаження під час ритмічних скорочень серцевого м'яза

¹ 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
ORCID: 0000-0002-4251-614X

² аспірант кафедри зоології, біологічного моніторингу та охорони природи
(Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)
e-mail: Skilex57@gmail.com
ORCID: 0009-0000-5964-7907

³ доктор ветеринарних наук, професор,
професор, завідувач кафедри гігієни, санітарії та загальної ветеринарної
профілактики імені М.В. Демчука
(Львівський національний університет ветеринарної медицини
та біотехнологій імені С.З. Гжицького, м. Львів)
e-mail: bvh@ukr.net
ORCID: 0000-0002-5971-8776

за серцевого ритму, коли кров протікає по судинах і досягає всіх органів. Найбільші лінійні параметри – довжина, ширина та товщина, характерні для шлуночка серця. Отже, значно менші параметри таких лінійних показників властиві артеріальному конусу та передсердю. За індексом розвитку шлуночка серце у кларієвого сома визначається як звужено-видовжене.

Установлено, що товщина стінки шлуночка серця з усіх його анатомічних структур є найбільшою і становить $3,2 \pm 0,4$ мм. Достовірно меншою в 1,47 раза, порівняно зі стінкою шлуночка, є товщина артеріального конуса, найменшою (8,0) – товщина передсердя. Абсолютна та відносна маса шлуночка, артеріального конуса та передсердя серця корелює з їхніми лінійними параметрами: найбільша абсолютна маса характерна для шлуночка – $0,52 \pm 0,2$ г, потім для артеріального конуса – $0,21 \pm 0,03$ г, передсердя – $0,16 \pm 0,03$ г. За таких результатів морфометрії коефіцієнт відношення абсолютної маси шлуночка до абсолютної маси серця дорівнює $1 : 0,58$, коефіцієнт відношення абсолютної маси артеріального конуса до абсолютної маси серця – $1 : 0,24$, коефіцієнт відношення абсолютної маси передсердя до абсолютної маси шлуночків – $1 : 0,18$.

Дослідження структурних особливостей органів серцево-судинної системи є основою для іхтіологів-риводів, для проведення профілактики захворювань та за впливу на організм стресових і несприятливих чинників довкілля під час вирощування риби в аквакультурі.

Ключові слова: хребетні тварини, серцево-судинна система, серце, шлуночок, передсердя, артеріальний конус, морфометрія.

HEART MORPHOLOGY OF THE CLARII CATFISH (*CLARIAS GARIEPINUS*)

L. P. Horalskyi, O. V. Ovdiiuk, B. V. Gutyj

One of the promising fish species that has relatively recently started to be farmed in Ukraine is the African catfish (*Clarias gariepinus*) from the catfish family. It is a freshwater, warm-water, omnivorous fish that can breathe atmospheric air.

The purpose of this study is the morphological evaluation of the macroscopic structure of the heart of the African catfish, a member of the class Actinopterygii, family Clariidae, species *Clarias gariepinus*.

Using morphological, morphometric, and statistical research methods, the results regarding the heart structure of the African catfish are presented, which convincingly show that its morphological structure and morpho-topography in the bony fish, which during their phylogenetic development have evolved to breathe both through gills and lungs, differ from those in bony fishes. It is shown that the heart of the African catfish is topographically located in the cranial part of the body, on the ventral side, near the head in the triangle between the shoulder girdle bones, occupying a central position between the gills. The heart of the African catfish consists of the venous sinus, atrium, ventricle, and arterial cone, which are separated by valves, allowing blood to move only in one direction – from the venous sinus to the arterial cone and not vice versa. As a distinct structure, the atrium is located to the right of the ventricle, with an incomplete septum partially dividing the atrium into right and left halves (chambers). The ventricle of the heart is a hollow organ with an elongated oval shape. The cranial part of the ventricle has an expanded base, while the caudal part has a convex apex. The arterial cone of the heart has an expanded base, which adjoins the ventricle, and its opposite part is narrowed, giving the structure a conical (funnel-like) shape. According to organometry results, the linear dimensions of the heart components vary and depend on their functional load during the rhythmic contractions of the heart muscle in the cardiac rhythm, during which blood flows through the vessels to all organs. The ventricle's largest linear parameters – length, width, and thickness – are characteristic.

In contrast, the linear parameters of the arterial cone and atrium are significantly smaller. Based on the ventricular development index, the heart of the African catfish is classified as narrow-elongated.

It has been established that the thickness of the ventricle wall is the largest among all its anatomical structures, measuring $3,2 \pm 0,4$ mm. It is statistically 1,47 times thinner than the ventricle wall in the arterial cone and the smallest (8,0 times smaller) compared to the ventricle. The absolute and relative masses of the ventricle, arterial cone, and atrium correlate with their linear parameters: the greatest absolute mass is found in the ventricle – $0,52 \pm 0,02$ g, followed by the arterial cone – $0,21 \pm 0,03$ g, and the atrium – $0,16 \pm 0,03$ g.

According to these morphometric results, the coefficient of the ratio of the ventricle's absolute mass to the total heart mass is $1 : 0,58$, the ratio of the arterial cone's absolute mass to the total heart mass is $1 : 0,24$, and the ratio of the atrium's absolute mass to the total mass of the ventricles is $1 : 0,18$.

The study of the structural characteristics of the cardiovascular organs serves as a foundation for ichthyologists and fish farmers to conduct disease prevention and to mitigate the impact of stress and adverse environmental factors on the fish during aquaculture.

Key words: vertebrate animals, cardiovascular system, heart, ventricle, atrium, arterial cone, morphometry.

Вступ

Останніми роками в харчовій промисловості намітилася тенденція до збільшення обсягу виробництва тваринної продукції. Важлива роль відводиться галузі рибного господарства, яка включає добування, переробку, відтворення та збільшення запасів риби й інших водних організмів у природних і штучних водоймах. Водночас для отримання максимальних обсягів виробництва харчових рибних продуктів призначено вирощування риби в аквакультурі, що як напрям нині динамічно розвивається (Yu et al., 2020; Roobab et al., 2022; Hashemi et al., 2023).

Перевагами цього напряму є вирощування кларієвого сома, що пов'язано з його біологічними властивостями: невибагливістю до умов утримання, домінуванням росту та розвитку, витривалістю до захворювань, іншими особливостями, які зумовлюють невисоку собівартість, що має велике економічне значення (Ukagwu et al., 2017; Juin et al., 2017; Strauch et al., 2018; Truter et al., 2023).

У багатьох країнах кларієвий сом має досить велике економічне значення через швидкий темп росту, витривалість, усеїдність, здатність розмножуватися у штучних умовах і витримувати надцільні посадки, невибагливість до якісних показників води (Lawal et al., 2017; Baßmann et al., 2017; Zadorozhnii & Bekh, 2024).

Нині вирощування кларієвого сома у штучних умовах України – це надзвичайно новий напрям рибної галузі, який почав розвиватись відносно нещодавно (Задорожній і Бех, 2023; Zadorozhnii & Bekh, 2024).

Для успішного розвитку даної галузі, що включає підвищення продуктивних якостей, профілактики захворювань різноманітного генезу тощо, разом з організаційно-господарськими заходами, є необхідність здійснювати глибокі дослідження організму, морфологічної будови всіх органів і систем на органному, тканинному та клітинному рівнях (Muller & Marc, 1984; Olson, 1991; Gould et al., 2013).

Велика увага приділяється дослідженням структурних особливостей органів серцево-судинної системи, що має пізнавальне значення для біологів і є основою для іхтіологів-рибоводів, для проведення профілактики захворювань та за впливу на організм стресових і несприятливих

чинників довкілля під час вирощування риби в аквакультурі (Belão et al., 2011; Song & Song, 2012; Ghedotti et al., 2021).

Серцево-судинна система відіграє важливу роль у регуляції функцій органів і систем організму, бере участь у забезпеченні трофічної, дихальної та екскреторних функцій (Horalskyi et al., 2022; Horalskyi et al., 2023).

Завдяки серцево-судинній системі, яка є складником соматичного (великого) та легеневого (малого) кола кровообігу у ссавців, із кров'ю до тканин органів поступають поживні речовини, гормони, кисень, виводяться з них продукти обміну речовин (Svendsen et al., 2019; Horalskyi et al., 2023; Рагуля та ін., 2023).

Центральним органом серцево-судинної системи є серце. Саме завдяки скороченню кардіоміоцитів міокарда здійснюється течія крові в замкнутій системі кровоносних судинах, забезпечує таким чином газообмін речовин в організмі (Ben-Shachar et al., 1985; Horalskyi et al., 2022).

У кісткових риб м'язи передсердя та шлуночка серця, які скорочуються та розслабляються (почергово), сприяють руху крові по судинах (Spaink et al., 2014; Martins et al., 2021; Chan et al., 2022). Через серце риб тече венозна кров по великій артерії – аорті, вона рухається від серця до дрібних зябрових судин, де насичується киснем, тобто стає артеріальною.

У двоцихрибних риб, представником яких є кларієвий сом (*Clarias gariepinus*), наявна індивідуальна особливість морфологічної будови органів серцево-судинної системи, унаслідок появи в них, окрім зябрового дихання, ще й легеневого дихання атмосферним повітрям. Отже, метою дослідження є здійснення порівняльного оцінювання морфологічних структур серця у двоцихрибних риб на прикладі кларієвого сома.

Матеріал і методи

Дослідження виконано з дотриманням міжнародних засад Європейської конвенції щодо захисту хребетних тварин, які використовують в експерименті й інших наукових цілях (Страсбург, 1986 р.) та Правил проведення робіт з використанням експериментальних тварин, затверджених наказом МОЗ № 281 від 1 листопада 2000 р. «Про заходи щодо подальшого вдосконалення організаційних форм роботи з використанням експериментальних тварин», відповідного Закону України «Про

захист тварин від жорстокого поводження» № 3447–IV від 21 лютого 2006 р. Під час проведення експериментів на тваринах урахували вимоги щодо загальних правил належної лабораторної практики GLP (1981 р.) та положень «Загальних етичних принципів експериментів на тваринах», які затверджені першим Національним конгресом з біоетики (м. Київ, 2001 р.) (Рагуля та ін., 2023).

Кларієвого сома – *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) вирощували в домашніх умовах, з використанням штучно сформованих нами водних екосистем, які відповідали належним умовам (температурний режим, кислотність, солоність води) для утримання. Для вирощування риби використовували басейни (об'ємом до 500 л), які були обладнані належними технічними засобами та пристроями – системи механічної, біологічної та бактеріологічної фільтрації – Eheim Professional 3 1200XL (Німеччина), ультрафіолетові стерилізатори зовнішнього типу “Resun UV – 08”, 24 Вт. (Китай); компресори радіаторного типу “Resun ACO – 001” (Китай) для насичення води киснем. Приміщення з басейнами у світлу пору доби були затемнені.

Якість водного середовища для утримання риби, щільність її посадки відповідали вимогам щодо вирощування кларієвого сома (Nescht et al., 1996). Джерелом водопостачання була водопровідна вода, яка попередньо відстоювалась, прогрівалась до температури басейна та щодобово в кількості 10% від загального об'єму доливалась у басейн. Відповідну температуру (25–28°C) води контролювали та, за необхідності, підтримували нагрівачем зовнішнього типу “JBL ProTemp e500” (Німеччина), потужністю 500 Вт.

Гідрохімічний аналіз якості води проводили раз на добу, визначали рівень рН (за допомогою лабораторного рН-метра SX-620), температуру (електронним термометром), рівень NH_3 , NH_4 , NO_2 , NO_3 (набором тестів контролю якості води Ptero).

Для годівлі риби використовували комбікорм, який задавали двічі на добу – зранку та ввечері. Клінічний стан риби оцінювали шляхом візуального щодобового її огляду, урахували її рухливість, загальну поведінку (активність), апетит тощо.

У роботі використовували морфологічні, морфометричні та статистичні

методи досліджень. Об'єктом для дослідження було відпрепароване серце кларієвого сома ($n = 5$).

Проведення клінічного огляду щойно виловленої риби, оцінювання її екстер'єрних (зовнішній вигляд, маса тіла тварин), інтер'єрних (лінійні параметри, абсолютна та відносна маса серця) величин, здійснювали після анатомічного розтину, згідно з рекомендаціями іхтіологічних і морфологічних (Горальський та ін., 2019) посібників. Для запобігання негативному впливу стрес-чинників рибу перед розтином присипляли розчином гіпнодиду (5–10 мл/л).

Масу тіла кларієвого сома визначали шляхом його зважування, за допомогою ваг ВТД-3/0,1ФД «Днепрвес» (Україна), з точністю до 0,1 г. Абсолютну масу серця та його структурних елементів визначали за допомогою електронних ваг. Відносну масу (далі – ВМ) серця вираховували за формулою: $\text{ВМ} = (\text{абсолютна маса серця} / \text{маса тіла тварини}) \times 100 \%$.

Визначення довжини, ширини, товщини серця проводили шляхом вимірювання, за допомогою штангель-циркуля. Індекс розвитку серця (далі – ІРС) визначали шляхом відношення загальної довжини до ширини, за формулою: $\text{ІРС} = (\text{довжина серця} / \text{ширина серця}) \times 100\%$.

Морфологічні терміни структурних частин серця подано згідно з Міжнародною ветеринарною анатомічною номенклатурою.

Цифрова обробка морфометричних досліджень проведена статистично, за використання програмного пакета “Statistica 7.0” програмного забезпечення (StatSoft, Талса, США). Відмінності між величинами визначали за допомогою ANOVA, уважали достовірними за $P < 0,05$ (з урахуванням похибки Бонферроні).

Результати

Серце у кларієвого сома топографічно розташоване у краніальній частині тулуба із черевного боку тіла, поблизу до голови, у трикутнику між кістками плечового пояса, у центрі між зябрами (рис. 1). Серце двокамерне, розташоване в навколосерцевій сумці.

У дводишних риб завдяки унікальній будові органів дихання та серцево-судинної системи, окрім великого кола кровообігу, з'являється друге коло кровообігу – легеневе. У великому колі кровообігу венозна (дезоксигенована) кров із перед-

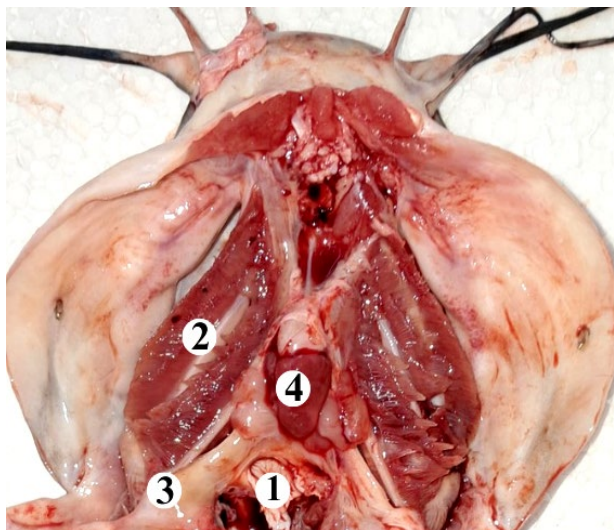


Рис. 1. Топографія серця кларієвого сома:
1 – краніальна частина тулуба; 2 – зябра;
3 – кістки плечового пояса; 4 – серце
(макропрепарат)

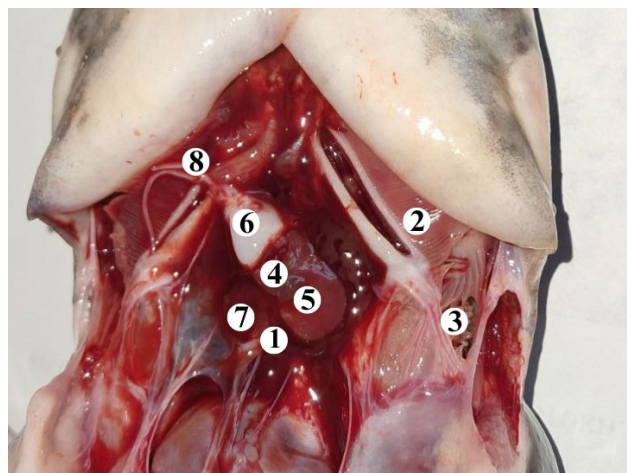


Рис. 2. Топографія та будова серця
кларієвого сома: 1 – краніальна частина
тулуба; 2 – зябра; 3 – легені; 4 – серце;
5 – шлуночок; 6 – артеріальний конус;
7 – передсердя; 8 – черевна аорта
(макропрепарат)

серця потрапляє у шлуночок серця, а потім у його артеріальний конус, через черевну аорту по вихідним зябровим артеріям надходить до зябер (рис. 2), де насичується киснем, уже оксигенована (насичена киснем) кров по зябровим судинам (артеріям) надходить в органи й тканини, де відбувається газообмін, повертається по зябровим венам у праву частину передсердя.

У малому колі кровообігу венозна кров із передсердя потрапляє у шлуночок, потім до артеріального конуса, звідки через черевну аорту, по вихідним легене-вим артеріям кров надходить до легень, де відбувається газообмін, потім оксигенована кров (насичена киснем) із легень по легене-вим венам потрапляє в ліву половинку передсердя. Згодом, із правої та лівої частини передсердя кров знову потрапляє у шлуночок, звідки частково змішана кров надходить в артеріальний конус, які поєднуються одне з одним неповною перегородкою, а з артеріального конуса кров по легене-вим і зябровим артеріям знову потрапляє до зябер і легень, де відбувається газообмін.

За таких особливостей будови органів дихання у дводішних риб (поява легень), які функціонально поєднанні із серцево-судинною системою, серце кларієвого сома у процесі філогенетичного розвитку зазнає суттєвих морфологічних змін.

Так, морфологічними структурами серця кларієвого сома є венозний синус,

передсердя, шлуночок і артеріальний конус (рис. 2, 3), які є послідовно сформованою анатомічною мережею, по якій рухається деоксигенована (венозна) кров. Камери серця розділені клапанами, які дозволяють крові за скорочення стінок серця рухатись тільки у прямому напрямку (від венозного синуса до артеріального конуса), але не навпаки.

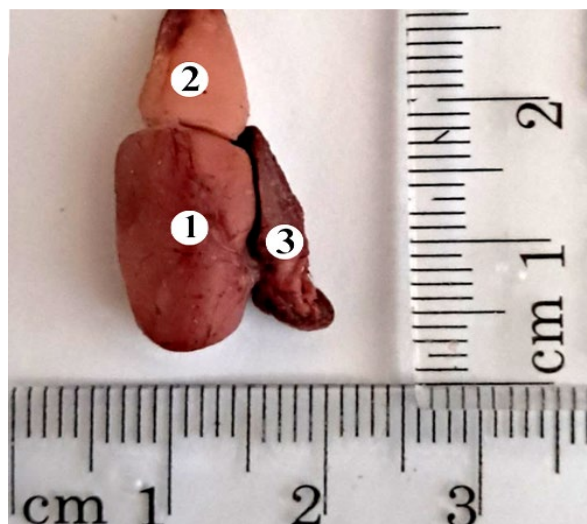


Рис. 3. Макроскопічна будова серця
(дорсальне положення) кларієвого сома:
1 – шлуночок; 2 – артеріальний конус;
3 – передсердя (макропрепарат)

Шлуночок серця кларієвого сома має видовжено-овальну форму та є порожни-

стим органом. Краніально на шлуночку розрізняють розширену основу, а каудально – випуклу верхівку (рис. 4).

Стінка шлуночка складається із трьох оболонок: внутрішньої (ендокард), середньої м'язової (міокард) та зовнішньої (епікард) (рис. 5). Найбільш розвинутою оболонкою шлуночка є м'язова оболонка – міокард, який із середини вистелений одношаровим плоским епітелієм (ендотелієм), що формує внутрішню досить тонку сполучнотканинну оболонку стінки серця – ендокард. Зовні міокард покритий зовнішньою сполучнотканинною оболонкою серця – перикардом (рис. 5).



Рис. 4. Анатомічні структури серця кларієвого сома: 1 – шлуночок; 2 – пересердя; 3 – артеріальний конус (макропрепарат)

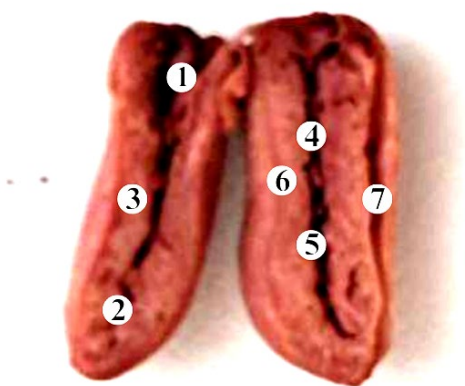


Рис. 5. Будова стінки шлуночка серця (повдовжній розріз) кларієвого сома: 1 – основа шлуночка; 2 – верхівка шлуночка; 3 – стінка шлуночка; 4 – порожнина шлуночка; 5 – ендокард; 6 – міокард; 7 – епікард (макропрепарат)

Біля основи шлуночка краніально, у формі товстостінної м'язової трубки, конічної (лійкоподібної) форми міститься пульсуючий порожнистий орган – артеріальний конус (див. рис. 4) (рис. 6, 7). Його стінка потовщена, сформована м'язовою тканиною. Артеріальний конус за зовнішнім виглядом має розширену основу, яка прилягає до краніальної частини (основи) шлуночка, зворотний бік конуса, його верхня поверхня звужена й переходить у черевну аорту (див. рис. 2).

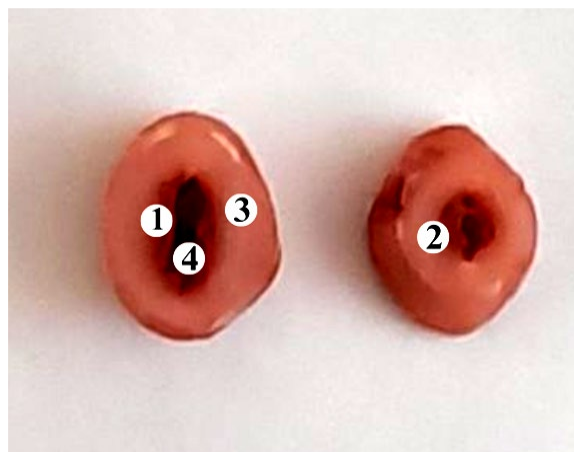


Рис. 6. Будова стінки артеріального конуса серця (поперечний розріз) кларієвого сома: 1 – зріз розширеної основи; 2 – зріз верхівки; 3 – стінка артеріального конуса; 4 – порожнина артеріального конуса (макропрепарат)

Передсердя серця у кларієвого сома має темно-коричнєве забарвлення. На відмінну від будови серця хребетних тварин класів птахів, ссавців, де передсердя разом зі шлуночками серця формують єдину морфологічну структуру, у кларієвого сома передсердя у формі тонкостінного мішка, відокремленого від шлуночка, топографічно міститься справа від нього, поєднуючись отвором (див. рис. 7) (рис. 8).

У каудальному напрямку до передсердя прилягає венозна пазуха (венозний синус) (див. рис. 7). У кларієвого сома в передсерді є незначна (неповна) перегородка, яка частково поділяє передсердя на праву та ліву половинки (камери), що особливо помітно під час діастолі (розслаблення шлуночків і передсердь) серцевого ритму (див. рис. 8). Це пов'язано з появою у дво-дишних риб, окрім зябрового, легеневого дихання, яке відсутнє в кісткових риб.

Згідно із проведеними нами морфометричними дослідженнями щодо ана-

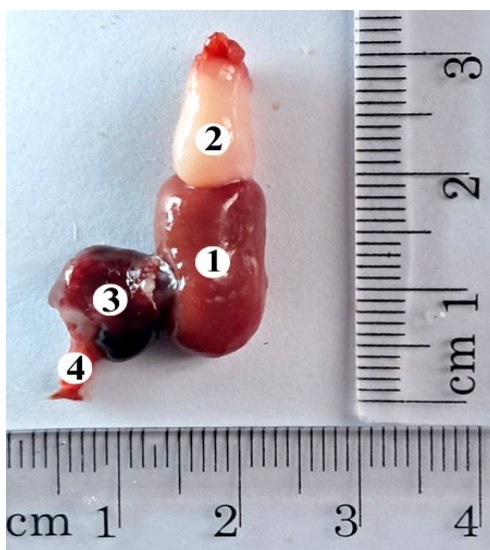


Рис. 7. Макроскопічна будова серця (вентральне положення) кларієвого сома:
1 – шлуночок; 2 – артеріальний конус;
3 – передсердя; 4 – венозна пазуха (макропрепарат)

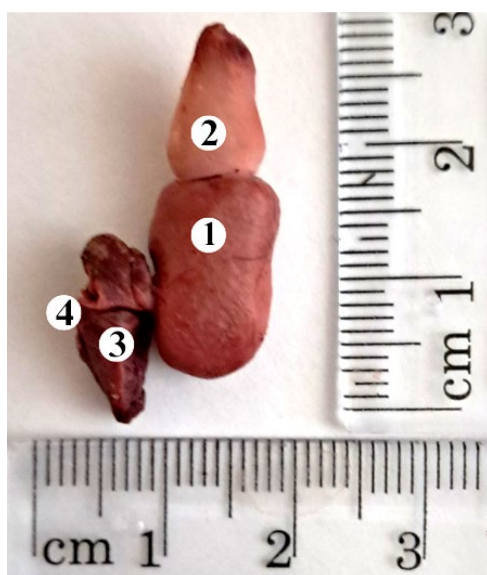


Рис. 8. Макроскопічна будова серця (вентральне положення) кларієвого сома:
1 – шлуночок; 2 – артеріальний конус;
3 – передсердя; 4 – неповна перегородка (макропрепарат)

лізу лінійних промірів (висота, ширина, товщина, окружність, індекс розвитку) структурних компонентів серця у кларієвого сома, їх значення різні та мають пряму залежність із виконанням ними функціонального навантаження.

Так, найбільші показники – довжина, ширина та товщина – характерні для шлу-

ночка серця, які відповідно становлять $14,0 \pm 0,7$, $8,12 \pm 0,81$ та $6,30 \pm 0,78$ мм. Окружність серця (шлуночка) дорівнює $28,9 \pm 1,95$ мм (табл. 1). Індекс розвитку серця у кларієвого сома за лінійними параметри його шлуночка дорівнює $172,66 \pm 5,62\%$. Тому серце у кларієвого сома визначається як звужено-видовжене. Лінійні параметри артеріального конуса значно менші, порівняно з такими у шлуночка серця: його довжина дорівнює $10,0 \pm 0,4$ мм, ширина – $6,32 \pm 0,54$ мм, товщина – $5,1 \pm 0,3$ мм. Проте довжина передсердя становить $13,8 \pm 0,8$ мм, ширина – $7,3 \pm 0,7$ мм, товщина – $3,6 \pm 0,4$ мм (див. табл. 1). Товщина стінки шлуночка серця у кларієвого сома є найбільшою і дорівнює $3,2 \pm 0,4$ мм. Значно меншою, в 1,47 рази ($p < 0,01$), є товщина стінки артеріального конуса ($2,18 \pm 0,21$ мм), найменшою ($p < 0,001$), у 8,0 рази порівняно зі стінкою шлуночка й у 5,4 рази ($p < 0,001$) порівняно зі стінкою артеріального конуса, є товщина стінки передсердь – $0,41 \pm 0,05$ мм (див. табл. 1).

Таблиця 1
Лінійні параметри серця кларієвого сома
($M \pm m$, $n = 5$)

Показники	Цифрові значення
Довжина шлуночка, мм	$14,0 \pm 0,7$
Ширина шлуночка, мм	$8,12 \pm 0,81$
Товщина шлуночка, мм	$6,30 \pm 0,78$
Товщина стінки шлуночка, мм	$3,21 \pm 0,42$
Окружність серця (шлуночка), мм	$28,9 \pm 2,0$
Індекс розвитку (шлуночка) серця, %	$172,7 \pm 5,6$
Довжина артеріального конуса, мм	$10,0 \pm 0,4$
Ширина артеріального конуса, мм	$6,32 \pm 0,54$
Товщина артеріального конуса, мм	$5,1 \pm 0,3$
Товщина стінки артеріального конуса, мм	$2,18 \pm 0,21$
Довжина передсердя, мм	$13,8 \pm 0,8$
Ширина передсердя, мм	$7,3 \pm 0,7$
Товщина передсердя (мм)	$3,6 \pm 0,4$
Товщина стінки передсердя (мм)	$0,41 \pm 0,05$

Згідно з аналізом результатів проведеної нами морфометрії, абсолютна маса серця у кларієвого сома дорівнює $0,89 \pm 0,03$ г, відносна маса – $0,07 \pm 0,01\%$ (табл. 2).

За результатами досліджень абсолютної та відносної маси структурних складників серця їхні показники безпосередньо корелюють із їхніми лінійними параметрами,

Таблиця 2

Морфометричні показники структурних частин серця кларієвого сома ($M \pm m$, $n = 5$)

Показники	Цифрові значення	
	АМ (г)	ВМ (%)
1. Маса серця (до маси тіла тварин)	$0,89 \pm 0,03$	$0,07 \pm 0,01$
2. Маса шлуночка (до АМ серця)	$0,52 \pm 0,02$	$58,3 \pm 3,7$
3. Артеріальний конус (до АМ серця)	$0,21 \pm 0,03$	$23,3 \pm 2,9$
4. Передсердя (до АМ серця)	$0,16 \pm 0,03$	$17,6 \pm 3,1$

найбільш високими є для шлуночка, потім артеріального конуса та передсердя. Так, абсолютна маса шлуночка серця є найбільшою і становить $0,52 \pm 0,02$ г ($58,3 \pm 3,7\%$), абсолютна маса артеріального конуса, порівняно з абсолютною масою шлуночка, є достовірно ($p < 0,01$) меншою і дорівнює $0,21 \pm 0,03$ г ($23,3 \pm 2,9\%$), найменшою ($p < 0,001$) є абсолютна маса передсердя – $0,16 \pm 0,03$ г ($17,6 \pm 3,1\%$) (див. табл. 2). За таких параметрів коефіцієнт відношення маси шлуночка до маси серця становить $1 : 0,58$, коефіцієнт відношення маси артеріального конуса до маси серця – $1 : 0,24$, коефіцієнт відношення маси передсердя до маси шлуночків – $1 : 0,18$. Це пов'язано з тим, що скоротливі кардіоміоцити м'язів шлуночка серця та відповідно артеріального конуса під час роботи здійснюють посилене навантаження, перекачують під тиском кров до органів і тканин, а з передсердя кров потрапляє лише у шлуночок серця, для чого необхідне значно менше навантаження.

Обговорення

Останнім часом опубліковано багато праць, у яких узагальнено сучасні концепції та досягнення морфологічних досліджень щодо закономірностей будови та розвитку серця, його складників у порівняльному видовому та віковому аспектах у різних тварин класів птахів і ссавців (Гнатюк та ін., 2016; Гнатюк і Слабий, 2016; Гнатюк та ін., 2017).

Виконані останніми роками дослідження щодо характеристики серцево-судинної системи хребетних тварин, зокрема свійських, привели до відкриття нових, раніше невідомих фактів, що потребують подальшого глибокого вивчення серця та його структур у порівняльно-анатомічному, видовому, пород-

ному та віковому аспектах (Horalskyi et al., 2022; Рагуля та ін., 2023; Горальський та ін., 2024).

Водночас у літературних джерелах мало публікацій щодо будови серця у хребетних тварин класу риб, амфібій, плазунів. Тому виконані нами дослідження щодо морфотопографії, макроскопічної будови серця у дводишних хребетних тварин, представником яких є кларієвий сом, є актуальним завданням біології (Weyl et al., 2016; Mahmoud et al., 2019; Mbokane & Moyo, 2022).

Кровоносна система риби, до складу якої входить центральний орган – серце, здійснює рух крові від серця через зябра та тканини тіла. На відміну від серця інших хребетних (амфібії, плазуни, птахи, ссавці), серце риб непристосоване для відокремлення (навіть часткового) збагаченої киснем крові від незбагаченої.

За морфологічної будови, серце в усіх риб двокамерне, складається з одного передсердя та одного шлуночка, що з'єднуються одне з одним спільним отвором. Окрім цього, є ще венозний синус, який прилягає до передсердя.

У серці хрящових риб є ще один відділ, так званий артеріальний конус, що є видозміненою кінцевою частиною шлуночка (підтвердженням цього є поперечно-посмугована мускулатура його стінок, як і шлуночка) (Власенко і Кузьменко, 2010).

У процесі еволюційного розвитку та формування класу кісткових риб, у зв'язку з активізацією в них усіх життєвих процесів, артеріальний конус серця зникає, оскільки зростає потужність стінок самого шлуночка. Водночас у кісткових риб формується товстостінне здуття початкової частини черевної аорти – цибулина аорти, м'язова оболонка стінки якої побудована із гладких м'язових клітин, що пом'якшує сильні пульсові поштовхи шлуночка (Власенко і Кузьменко, 2010).

У дводишних риб, представником яких є кларієвий сом, у яких у процесі філогенетичного розвитку, окрім зябрового дихання, з'явилося і легеневе, морфологічна будова та морфотопографія серця мають особливості та дещо відрізняються від таких у кісткових риб.

Так, у серці кларієвого сома (кісткові риби), окрім венозного синуса, передсердя та шлуночка, з'являється ще й артеріальний конус, який характерний лише для хрящових риб. Отже, у передсерді фор-

мується перегородка, яка відходить від черевної його стінки та не повністю розділяє передсердя на праву та ліву частини. Така перегородка виділяється частково у шлуночку серця через антріовентрикулярний отвір. У праву половину потрапляє вся венозна кров, а в ліву – артеріальна кров, принесена по легеневій вені. За морфологічною будовою артеріальний конус серця у кларієвого сома є кінцевою частиною серцевого шлуночка, про що свідчать мікроскопічні дослідження його м'язової оболонки, яка так само, як і оболонка шлуночка серця, сформована поперечно-посмугованою м'язовою тканиною. Отже, у дводишних риб до складу серця входять венозний синус, передсердя, шлуночок і артеріальний конус, які формують послідовну анатомічну судинну мережу, по якій рухається венозна кров. Така будова та формування артеріального конуса на етапі еволюційного розвитку хребетних тварин надали перевагу у прискоренні кровотоку, оскільки послідовне скорочення шлуночка, а потім і артеріального конуса, підвищує кров'яний тиск, завдяки чому пришвидшується рух крові по судинам (Власенко і Кузьменко, 2010).

Саме тому повітряне дихання у кларієвого сома, у якого, окрім зябер, у процесі історичного розвитку формуються ще й парні легені, дає можливість йому, за потреби, відносно тривалий строк (до 48 годин) жити без води, або ж у мутній воді з низьким вмістом кисню, а також пересуватися по поверхні наземного середовища.

Отже, у кісткових риб, кровоносна система яких має двокамерне серце й одне коло кровообігу, кров по зябровим венам тече у венозний синус, потім у передсердя, шлуночок та по черевній аорті в зябра, де відбувається газообмін, а вже від зябер артеріальна кров по судинах потрапляє до різних органів, де віддає кисень і насичується вуглекислим газом, перетворюючись на венозну, потім від різних тканин і органів венозна кров по венах знову повертається до серця (Victor et al., 1999; Grant, 2015).

У дводишних риб, яким властиве зяброве та легеневе дихання, завдяки появи в них легень, окрім великого кола кровообігу, з'являється друге коло кровообігу – легеневе.

У великому колі кровообігу венозна кров із передсердя потрапляє у шлуночок,

далі в артеріальний конус і через черевну аорту по вихідним зябровим артеріям до зябер, де насичується киснем і по зябровим артеріям потрапляє в органи й тканини, де відбувається газообмін, потім по зябровим венам деоксигенована кров повертається у праву частину передсердя.

У малому колі кровообігу венозна кров із передсердя потрапляє у шлуночок серця, далі до артеріального конуса, звідки через черевну аорту по вихідним легеним артеріям надходить до легень, де відбувається газообмін, та вже оксигенована кров із легень по легеним венам потрапляє в ліву половинку передсердя.

Згодом, із правої та лівої частин передсердя кров знову потрапляє у шлуночок серця, після чого частково змішана кров надходить в артеріальний конус, які поєднуються неповною перегородкою, а з артеріального конуса кров по легеним і зябровим артеріям знову надходить до зябер і легень, де відбувається газообмін.

Сучасним пріоритетним напрямом дослідження, що дозволяє встановити критерії розвитку організму тварин на органному, тканинному та клітинному рівнях, є морфометричні дослідження органів і систем у клінічно здорових тварин у нормі, експерименті у видовому аспекті тощо (Dzau et al., 2006; Гнатюк і Слабий, 2016; Гнатюк та ін., 2017).

Саме тому математичний аналіз структур морфологічних об'єктів здобув визнання як сучасний метод, який характеризується об'єктивністю і достовірністю, що дає можливість глибше розкрити морфогенез органів і тканин за індивідуального й еволюційного їхнього розвитку, логічно інтерпретувати результати наукових досліджень (Стахурська і Пришляк, 2014; Dunaievska et al., 2023; Horalskyi et al., 2024).

Морфологічними критеріями росту та розвитку органів і їх систем є лінійні параметри (довжина, ширина, товщина, окружність). За їхніми показниками можна визначити форму органів, індекс їхнього розвитку тощо (Миц та ін., 2016; Dukhnytskyi et al., 2024).

Форма, розміри, маса серця у хребетних є індивідуальною особливістю і залежать від класу тварин, їхнього виду, віку, статі, будови тіла тощо. Ступінь видовженості (форми) серця (його морфологічних складників) – це відношення його найбіль-

ших поздовжнього (довжина) та поперечного (ширина в основі) лінійних розмірів (Шевченко, 2018).

Важливим критерієм фізіологічного стану роботи серця є товщина його стінок – шлуночка та передсердя у тварин класів птахів, ссавців, у дводишних риб ще й артеріального конуса, які, окрім шлуночка та передсердя, формують разом анатомічну будову серця (Мельник та ін., 2008; Власенко і Кузьменко, 2010).

Такі неоднозначні морфометричні параметри товщини стінок структурних складників серця у кларієвого сома, а саме найбільша товщина стінки його шлуночка й артеріального конуса та найменша товщина стінки передсердя, пояснюються їхнім функціональним навантаженням за відповідної роботи серця. Так, більша товщина стінок шлуночка й артеріального конуса та значно менша в передсердя пов'язані з тим, що завдяки скороченню м'язової оболонки шлуночка й артеріального конуса кров під високим тиском рухається в зябра та легені, де насичується киснем, а потім потрапляє в органи й тканини, де відбувається газообмін (насичення вуглекислим газом), та повертається по венам від органів і тканин у передсердя під низьким тиском, звідки знову потрапляє у шлуночок і артеріальний конус серця (Власенко і Кузьменко, 2010).

Суттєве значення в розвитку органів і тканин організму мають показники абсолютної та відносної маси, які не тільки свідчать про розвиток та морфофункціональну зрілість органа (Миц та ін., 2016), але й мають пізнавальне значення та є основою для визначення форми органа, встановлення індексу його розвитку та іншого (Horalskyi et al., 2019; Horalskyi et al., 2024).

У кларієвого сома коефіцієнт відношення маси шлуночка серця до його абсолютної маси дорівнює $1 : 0,58$, коефіцієнт відношення маси артеріального конуса до абсолютної маси серця становить $1 : 0,24$, а коефіцієнт відношення маси передсердя до маси шлуночків дорівнює $1 : 0,18$. Серце кларієвого сома, згідно з індексом розвитку ($172,7 \pm 5,6\%$) шлуночка серця, характеризується як звужено-видовжене.

За результатами наших досліджень, АМ серця у кларієвого сома становить $0,89 \pm 0,03$ г, відносна маса – $0,07 \pm 0,01\%$. Абсолютна і відносна маси структурних складників серця корелюють з їхніми лінійними параметрами та найбільші для шлуночка, потім артеріального конуса та передсердя.

Висновки

1. Серце кларієвого сома двокамерне й міститься у краніальній частині тулуба із черевного боку тіла, поблизу голови (у трикутнику між кістками плечового пояса), у центрі між зябрами.

2. Морфологічними складниками серця є шлуночок, передсердя та артеріальний конус: шлуночок серця видовжено-овальної форми, є порожнистим органом, у якого краніально знаходиться розширена основа, каудально – випукла верхівка; передсердя розташоване справа від шлуночка, у формі відокремленої структури, поєднуючись отвором. У передсерді наявна незначна (неповна) перегородка, яка частково поділяє його на праву та ліву половинки (камери); артеріальний конус – орган конічної (лійкоподібної) форми, має розширену основу, яка прилягає до шлуночка, зворотна частина конуса звужена та переходить у черевну аорту.

3. Лінійні параметри структурних частин серця, залежно від виконання ними функціонального навантаження, неоднозначні. Найбільша довжина, ширина та товщина, характерні для шлуночка серця. Лінійні параметри артеріального конуса та передсердя значно менші. За індексом розвитку шлуночка, серце кларієвого сома звужено-видовжене.

4. Абсолютна маса серця у кларієвого сома дорівнює $0,89 \pm 0,03$ г, відносна маса – $0,07 \pm 0,01\%$. Абсолютна та відносна маси структурних складників серця корелюють із їхніми лінійними параметрами, найбільші для шлуночка, потім артеріального конуса та передсердя.

Коефіцієнт відношення маси шлуночка до маси серця становить $1 : 0,58$, коефіцієнт відношення маси артеріального конуса до маси серця – $1 : 0,24$, коефіцієнт відношення маси передсердя до маси шлуночків – $1 : 0,18$.

Список використаної літератури

Власенко Р.П., Кузьменко Л.П. Зоологія хребетних : навчальний посібник. Житомир : Видавництво Житомирського державного університету імені Івана Франка, 2010. 250 с.

Гнатюк М.С., Слабий О.Б. Морфометрична оцінка особливостей ремоделювання камер легеневого серця з різними типами кровопостачання. *Здобутки клінічної і експериментальної медицини*. 2016. Т. 25. № 1. <https://doi.org/10.11603/1811-2471.2016.v25.i1.5996>.

Гнатюк М.С., Слабий О.Б., Татарчук Л.В. Ядерно-цитоплазматичні відносини в кардіоміоцитах та ендотеліоцитах шлуночків легеневого серця. *Клінічна анатомія та оперативна хірургія*. 2016. Т. 15. № 55. С. 67–70.

Гнатюк М.С., Слабий О.Б., Татарчук Л.В. Просторова характеристика камер серця дослідних тварин з різними типами вегетативної регуляції. *Біомедицина та біосоціальна антропологія*. 2017. № 28. С. 35–39.

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

Горальський А.П., Рагуля М.Р., Костюк В.К., Сокульський І.М. Визначення об'єму кардіоміоцитів та їх ядерно-цитоплазматичного відношення : науково-методичні рекомендації. Київ : Науково-методичний центр вищої та фахової передвищої освіти, 2024. 32 с.

Задорожній М.В., Бех В.В. Мінімально допустимі температури при вирощуванні африканського кларієвого сома (*Clarias gariepinus*). *Таврійський науковий вісник*. 2023. № 135. Ч. 1. С. 232–238.

Мельник О.П., Костюк В.В., Шевченко П.Г. Анатомія риб : підручник. Київ, 2008. 620 с.

Міц І.Р., Денефіль О.В., Андрішшин О.П. Морфологічні зміни внутрішніх органів у тварин різної статі, які зазнали хронічного стресу. *Вісник наукових досліджень*. 2016. № 3. С. 107–110. <https://doi.org/10.11603/2415-8798.2016.3.6994>.

Рагуля М.Р., Горальський А.П., Сокульський І.М., Колесник Н.А. Особливості морфоархітектури та морфометрії серця кроля (*Oryctolagus cuniculus* L. 1758). *Аграрний вісник Причорномор'я*. 2023. № 108. С. 51–62. <https://doi.org/10.37000/abbsl.2023.108.07>.

Стахурська І.О., Пришляк А.М. Морфометрична характеристика камер серця тварин різної статі. *Вісник проблем біології і медицини*. 2014. № 1 (106). С. 269–272.

Шевченко І.В. Морфологічні основи морфогенезу серця в ранньому постнатальному розвитку в нормі. *Вісник проблем біології і медицини*. 2018. № 3 (145). С. 340–344. <https://doi.org/10.29254/2077-4214-2018-3-145-340-344>.

Baßmann B., Brenner M., Palm H.W. Stress and welfare of african catfish (*Clarias gariepinus* Burchell, 1822) in a coupled aquaponic system. *Water*. 2017. Vol. 9. № 7. P. 504. <https://doi.org/10.3390/w9070504>.

Belão T.C., Leite C.A., Florindo L.H., Kalinin A.L., Rantin F.T. Cardiorespiratory responses to hypoxia in the African catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell 1822), an air-breathing fish. *Journal of Comparative Physiology B*. 2011. Vol. 181. № 7. P. 905–916. <https://doi.org/10.1007/s00360-011-0577-z>.

Ben-Shachar G., Arcilla R.A., Lucas R.V., Manasek, F.J. Ventricular trabeculations in the chick embryo heart and their contribution to ventricular and muscular septal development. *Circulation Research*. 1985. Vol. 57. № 5. P. 759–766. <https://doi.org/10.1161/01.res.57.5.759>.

Chan J.H., Kadri S., Köllner B., Rebl A., Korytář T. RNA-Seq of single fish cells - seeking out the leukocytes mediating immunity in teleost fishes. *Frontiers in Immunology*. 2022. Vol. 13. P. 712–798. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2022.798712>.

Dukhnyskyi V.B., Horalskyi L.P., Sokolyuk V.M., Gutty B.V., Ishchenko, V.D., Ligomina I.P., Kolesnik N.L., Dzhmil V.I. Morphofunctional changes in the internal organs of laying hens affected by chronic thiamethoxam intoxication. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2024. Vol. 15. № 3. P. 578–586. <https://doi.org/10.15421/022481>.

Dunaievska O.F., Horalskyi L.P., Sokulskiy I.M., Radzikhovskiy M.L., Gutty B.V. Influence of protein-vitamin mineral supplements on the splenic morphometric parameters of quails. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2023. Vol. 14. № 2. P. 242–247. <https://doi.org/10.15421/022336>.

Dzau V.J., Antman E.M., Black H.R., Hayes D.L., Manson J.E., Plutzky J., Popma J.J., Stevenson W. The cardiovascular disease continuum validated: clinical evidence of improved patient outcomes: part I: Pathophysiology and clinical trial evidence (risk factors through stable coronary artery disease). *Circulation*. 2006. Vol. 114. № 25. P. 2850–2870. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.106.655688>.

Ghedotti M.J., DeKay H.M., Maile A.J., Smith W.L., Davis M.P. Anatomy and evolution of bioluminescent organs in the slimeheads (Teleostei: Trachichthyidae). *Journal of Morphology*. 2021. Vol. 282. № 6. P. 820–832. <https://doi.org/10.1002/jmor.21349>.

- Gould R.A., Aboulmouna L.M., Varner J.D., Butcher J.T. Hierarchical approaches for systems modeling in cardiac development. *Wiley interdisciplinary reviews. Systems biology and medicine*. 2013. Vol. 5. № 3. P. 289–305. <https://doi.org/10.1002/wsbm.1217>.
- Grant K.R. Fish hematology and associated disorders. The veterinary clinics of North America. *Exotic animal practice*. 2015. Vol. 18. № 1. P. 83–103. <https://doi.org/10.1016/j.cvex.2014.09.007>.
- Hashemi S., Kaveh S., Abedi E., Phimolsiripol Y. Polysaccharide-based edible films/coatings for the preservation of meat and fish products: emphasis on incorporation of lipid-based nanosystems loaded with bioactive compounds. *Foods (Basel, Switzerland)*. 2023. Vol. 12. № 17. P. 32–68. <https://doi.org/10.3390/foods12173268>.
- Hecht T., Oellermann L., Verheust L. Perspectives on clarid culture in Africa. *The Biology and Culture of Catfishes*. 1996. V. 9. P. 197–206.
- Horalskyi L.P., Ragulya M.R., Glukhova N.M., Sokulskiy I.M., Kolesnik N.L., Dunaievskaya O.F., Gutij B.V., Goralska I.Y. Morphology and specifics of morphometry of lungs and myocardium of heart ventricles of cattle, sheep and horses. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2022. Vol. 13. № 1. P. 53–59. <https://doi.org/10.15421/022207>.
- Horalskyi L., Ragulya M., Kolesnik N., Sokulskiy I. Peculiarities of organometry and morphoarchitectonics of the heart of the Domestic ram (*Ovis aries* L., 1758). *Ukrainian Journal of Veterinary Sciences*. 2023. Vol. 14. № 4. P. 40–56. <https://doi.org/10.31548/veterinary4.2023.40>.
- Horalskyi L.P., Ragulya M.R., Kolesnik N.L., Sokulskiy I.M., Gutij 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>.
- Juin S., Sarkar S., Maitra S., Nath P. Effect of fish vitellogenin on the growth of juvenile catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822). *Aquaculture Reports*. 2017. Vol. 7. P. 16–26. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2017.05.001>.
- Lawal B.M., Adewole H.A., Olaleye V.F. Digestibility study and nutrient re-evaluation in *clarias gariepinus* fed blood meal-rumen digesta blend diet. *Notulae Scientia Biologicae*. 2017. Vol. 9. № 3. P. 344–349. <https://doi.org/10.15835/nsb9310047>.
- Mahmoud U.M., Mekkiawy I.A.A., Naguib M., Sayed A.E.H. Silver nanoparticle-induced nephrotoxicity in *Clarias gariepinus*: physio-histological biomarkers. *Fish Physiology and Biochemistry*. 2019. Vol. 45. № 6. P. 1895–1905. <https://doi.org/10.1007/s10695-019-00686-7>.
- Martins B.O., Franco-Belussi L., Siqueira M.S., Fernandes C.E., Provete D.B. The evolution of red blood cell shape in fishes. *Journal of Evolutionary Biology*. 2021. Vol. 34. № 3. P. 537–548. <https://doi.org/10.1111/jeb.13757>.
- Mbokane E.M., Moyo N.A.G. Use of medicinal plants as feed additives in the diets of Mozambique tilapia (*Oreochromis mossambicus*) and the African Sharptooth catfish (*Clarias gariepinus*) in Southern Africa. *Frontiers in Veterinary Science*. 2022. Vol. 9. P. 1–14. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.1072369>.
- Muller J.F., Marc R.E. Three distinct morphological classes of receptors in fish olfactory organs. *The Journal of Comparative Neurology*. 1984. Vol. 222. № 4. P. 482–495. <https://doi.org/10.1002/cne.902220403>.
- Olson K.R. Vasculature of the fish gill: anatomical correlates of physiological functions. *Journal of Electron Microscopy Technique*. 1991. Vol. 19. № 4. P. 389–405. <https://doi.org/10.1002/jemt.1060190402>.
- Roobab U., Fidalgo L.G., Arshad R.N., Khan A.W., Zeng X.A., Bhat Z.F., Bekhit A.E.A., Batool Z., Aadil R.M. High-pressure processing of fish and shellfish products: Safety, quality, and research prospects. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2022. Vol. 21. № 4. P. 3297–3325. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12977>.
- Song W., Song J. Morphological structure and peripheral innervation of the lateral line system in the Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*). *Integrative Zoology*. 2012. Vol. 7. № 1. P. 83–93. <https://doi.org/10.1111/j.1749-4877.2011.00271.x>.
- Spaink H.P., Jansen H.J., Dirks R.P. Advances in genomics of bony fish. *Briefings in Functional Genomics*. 2014. Vol. 13. № 2. P. 144–156. <https://doi.org/10.1093/bfgp/elt046>.
- Strauch S.M., Wenzel L.C., Bischoff A., Dellwig O., Klein J., Schüch A., Wasenitz B., Palm H.W. Commercial African Catfish (*Clarias gariepinus*) Recirculating Aquaculture Systems: Assessment of Element and Energy Pathways with Special Focus on the Phosphorus Cycle. *Sustainability*. 2018. Vol. 10. № 6. P. 1805. <https://doi.org/10.3390/su10061805>.
- Svendsen M.S., Johansen J.L., Bushnell P.G., Skov P.V., Norin T., Domenici P., Steffensen J.F., Abe A. Are all bony fishes oxygen regulators? Evidence for oxygen regulation in a putative oxygen

conformer, the swamp eel *Synbranchus marmoratus*. *Journal of Fish Biology*. 2019. Vol. 94. № 1. P. 178–182. <https://doi.org/10.1111/jfb.13861>.

Truter M., Hadfield K., Smit N. Review of the metazoan parasites of the economically and ecologically important African sharptooth catfish *Clarias gariepinus* in Africa: Current status and novel records. *Advances in Parasitology*. 2023. Vol. 119. P. 65–222. <https://doi.org/10.1016/bs.apar.2022.11.001>.

Ukagwu J.I., Anyanwu D.C., Offor J.I., Nduka C.O. Comparative studies of nutrient composition of wild caught and pond reared african catfish, *Clarias gariepinus*. *International Journal of Research in Applied, Natural and Social Sciences*. 2017. Vol. 5. № 7. P. 63–68.

Victor S., Nayak V.M., Rajasingh R. Evolution of the ventricles. *Texas Heart Institute Journal*. 1999. Vol. 26. № 3. P. 168–176.

Weyl O.L. Daga V.S., Ellender B.R., Vitule J.R. A review of *Clarias gariepinus* invasions in Brazil and South Africa. *Journal of Fish Biology*. 2016. Vol. 89. № 1. P. 386–402. <https://doi.org/10.1111/jfb.12958>.

Yu D., Wu L., Regenstein J.M., Jiang Q., Yang F., Xu Y., Xia W. Recent advances in quality retention of non-frozen fish and fishery products : A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2020. Vol. 60. № 10. P. 1747–1759. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1596067>.

Zadorozhnii M., Bekh V. First experience of cultivating african catfish (*Clarias gariepinus* Burchell, 1822) under natural temperature conditions in water bodies of Polissiya of Ukraine. *Ribogospodars'ka Nauka Ukraini*. 2024. Vol. 1. № 67. P. 74–88. <https://doi.org/10.61976/fsu2024.01.074>.

References

Vlasenko, R.P., & Kuzmenko, L.P. (2010). *Zoolohiia khrebetnykh: navchalnyi posibnyk* [Vertebrate Zoology: study Guide]. Zhytomyr: Vydavnytstvo Zhytomyrskoho derzhavnoho universytetu imeni Ivana Franka [in Ukrainian].

Hnatiuk, M.S., & Slabyi, O.B. (2016). Morfometrychna otsinka osoblyvosti remodeliuvannia kamer lehenevoho sertsia z riznymi typamy krovopostachannia [Morphometric assessment of the remodeling features of the pulmonary heart chambers with different types of blood supply]. *Zdobutky klinichnoi i eksperymentalnoi medytsyny* [Achievements of clinical and experimental medicine], 1, 17–20 [in Ukrainian].

Hnatiuk, M.S., Slabyi, O.B., & Tatarchuk, L.V. (2016). Yaderno-tsytoplazmatychni vidnoshennia u kardiomiotsytakh ta endoteliotsytakh shlunochkiv lehenevoho sertsia [Nuclear-cytoplasmic relationships in cardiomyocytes and endothelial cells of the ventricles of the pulmonary cor pulmonale]. *Klinichna Anatomiiia ta Operatyvna Khirurhiia* [Clinical anatomy and operative surgery], 15 (55), 67–70 [in Ukrainian].

Hnatiuk, M.S., Slabyi, O.B., & Tatarchuk, L.V. (2017). Prostorova kharakterystyka kamer sertsia doslidnykh tvaryn z riznymi typamy vehetativnoi rehulatsii [Spatial characteristics of heart chambers of experimental animals with different types of autonomic regulation]. *Biomedychna ta biosotsial'na antropolohiia* [Biomedical and Biosocial Anthropology], 28, 35–39 [in Ukrainian].

Horalskyi, L.P., Khomych, V.T., & Kononskyi, O.I. (2019). Osnovy histolohichnoi tekhniky i morfofunktsionalni metody doslidzhennia u normi ta pry patolohii [Basics of histological technique and morphofunctional methods of research in normal and pathology]. Zhytomyr: Polissia [in Ukrainian].

Horalskyi, L.P., Rahulia, M.R., Kostiuk, V.K., & Sokulskyi, I.M. (2024). Vyznachennia obiemu kardiomiotsytiv ta yikh yaderno-tsytoplazmatychnoho vidnoshennia [Determination of cardiomyocyte volume and their nuclear-cytoplasmic ratio.]. *Naukovo-metodychni rekomendatsii* [Scientific and methodological recommendations]. Kyiv: Naukovo-metodychnyi tsentr vyshchoi ta fakhovoi peredvyshchoi osvity [in Ukrainian].

Zadorozhnii, M.V., & Bekh, V.V. (2024). Minimalno dopustymi temperatury pry vyroshchuvanni afrykansko klariiivoho soma (*Slarias gariepinus*) [Minimum permissible temperatures for growing African *Clarias* catfish (*Clarias gariepinus*)]. *Tavriiskyi Naukovyi Visnyk* [Tavria Scientific Bulletin], 135, 232–238. <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.135.1.31> [in Ukrainian].

Melnyk, O.P., Kostiuk, V.V., & Shevchenko, P.H. (2008). *Anatomiiia ryb* [Fish anatomy]. Kyiv: Tsentr uchbovoi literatury [in Ukrainian].

Mits, I.R., Denefil, O.V., & Andriishyn, O.P. (2016). Morfolohichni zminy vnutrishnykh orhaniv u tvaryn riznoi stati, yaki zaznaly khronichnoho stresu [Morphological changes of internal organs in animals of different sexes with chronic stress]. *Visnyk Naukovykh Doslidzen* [Bulletin of Scientific Research], 3, 107–110. <https://doi.org/10.11603/2415-8798.2016.3.6994> [in Ukrainian].

Rahulia, M., Horalskyi, L., Sokulskyi, I., & Kolesnik, N. (2023). Osoblyvosti morfoarkhitektoniky ta morfometrii sertsia krolia (*Oryctolagus Cuniculus* L. 1758) [Features of morphoarchitectonics and morphometry of the rabbit heart (*Oryctolagus cuniculus* L. 1758)]. *Ahrarnyi Visnyk Prychornomoria* [Agrarian Bulletin of the Black Sea Region], 108, 51–62. <https://doi.org/10.37000/abbsl.2023.108.07> [in Ukrainian].

- Stakhurska, I.O., & Pryshliak, A.M. (2014). Morfometrychna kharakterystyka kamer sertsia tvaryn riznoi stati [Morphometric characteristics of heart chambers of animals of different sexes]. *Visnyk Problem Biologii i Medytsyny [Bulletin of Problems of Biology and Medicine]*, 1 (106), 269–272 [in Ukrainian].
- Shevchenko, I.V. (2018). Morfolohichni osnovy morfohenezu sertsia u rannomu postnatalnomu rozvytku v normi [Morphological basis of cardiac morphogenesis in early postnatal development in normal]. *Visnyk Problem Biologii i Medytsyny [Bulletin of Problems of Biology and Medicine]*, 3 (145), 340–344. <https://doi.org/10.29254/2077-4214-2018-3-145-340-344> [in Ukrainian].
- Baßmann, B., Brenner, M., & Palm, H.W. (2017). Stress and welfare of african catfish (*Clarias gariepinus* Burchell, 1822) in a coupled aquaponic system. *Water*, 9 (7), 504. <https://doi.org/10.3390/w9070504> [in English].
- Belão, T.C., Leite, C.A., Florindo, L.H., Kalinin, A.L., & Rantin, F.T. (2011). Cardiorespiratory responses to hypoxia in the African catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell 1822), an air-breathing fish. *Journal of Comparative physiology. B, Biochemical, Systemic, and Environmental Physiology*, 181 (7), 905–916. <https://doi.org/10.1007/s00360-011-0577-z> [in English].
- Ben-Shachar, G., Arcilla, R.A., Lucas, R.V., & Manasek, F.J. (1985). Ventricular trabeculations in the chick embryo heart and their contribution to ventricular and muscular septal development. *Circulation Research*, 57 (5), 759–766. <https://doi.org/10.1161/01.res.57.5.759> [in English].
- Chan, J.T.H., Kadri, S., Köllner, B., Rebl, A., & Korytář, T. (2022). RNA-Seq of single fish cells – seeking out the leukocytes mediating immunity in teleost fishes. *Frontiers in Immunology*, 13, 798712. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2022.798712> [in English].
- Dukhnytskyi, V.B., Horalskyi, L.P., Sokolyuk, V.M., Gutyj, B.V., Ishchenko, V.D., Ligomina, I.P., Kolesnik, N.L., & Dzhmil, V.I. (2024). Morphofunctional changes in the internal organs of laying hens affected by chronic thiamethoxam intoxication. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 15 (3), 578–586. <https://doi.org/10.15421/022481> [in English].
- Dunaievska, O.F., Horalskyi, L.P., Sokulskiy, I.M., Radzikhovskiy, M.L., & Gutyj, B.V. (2023). Influence of protein-vitamin mineral supplements on the splenic morphometric parameters of quails. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 14 (2), 242–247. <https://doi.org/10.15421/022336> [in English].
- Dzau, V.J., Antman, E.M., Black, H.R., Hayes, D.L., Manson, J.E., Plutzky, J., Popma, J.J., & Stevenson, W. (2006). The cardiovascular disease continuum validated: clinical evidence of improved patient outcomes: part I: Pathophysiology and clinical trial evidence (risk factors through stable coronary artery disease). *Circulation*, 114 (25), 2850–2870. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.106.655688> [in English].
- Ghedotti, M.J., DeKay, H.M., Maile, A.J., Smith, W.L., & Davis, M.P. (2021). Anatomy and evolution of bioluminescent organs in the slimeheads (Teleostei: Trachichthyidae). *Journal of Morphology*, 282 (6), 820–832. <https://doi.org/10.1002/jmor.21349> [in English].
- Gould, R.A., Aboulmouna, L.M., Varner, J.D., & Butcher, J.T. (2013). Hierarchical approaches for systems modeling in cardiac development. Wiley interdisciplinary reviews. *Systems biology and medicine*, 5 (3), 289–305. <https://doi.org/10.1002/wsbm.1217> [in English].
- Grant, K.R. (2015). Fish hematology and associated disorders. *The veterinary clinics of North America. Exotic animal practice*, 18 (1), 83–103. <https://doi.org/10.1016/j.cvex.2014.09.007> [in English].
- Hashemi, S., Kaveh, S., Abedi, E., & Phimolsiripol, Y. (2023). Polysaccharide-based edible films/coatings for the preservation of meat and fish products: emphasis on incorporation of lipid-based nanosystems loaded with bioactive compounds. *Foods (Basel, Switzerland)*, 12 (17), 3268. <https://doi.org/10.3390/foods12173268> [in English].
- Hecht, T., Oellermann, L., & Verheust, L. (1996). Perspectives on clarid culture in Africa. The Biology and Culture of Catfishes, 9, 197–206. [in English].
- Horalskyi, L.P., Ragulya, M.R., Glukhova, N.M., Sokulskiy, I.M., Kolesnik, N.L., Dunaievska, O.F., Gutyj, B.V., & Goralska, I.Y. (2022). Morphology and specifics of morphometry of lungs and myocardium of heart ventricles of cattle, sheep and horses. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 13 (1), 53–59. <https://doi.org/10.15421/022207> [in English].
- Horalskyi, L., Ragulya, M., Kolesnik, N., & Sokulskiy, I. (2023). Peculiarities of organometry and morphoarchitectonics of the heart of the Domestic ram (*Ovis aries* L., 1758). *Ukrainian Journal of Veterinary Sciences*, 14 (4), 40–56. <https://doi.org/10.31548/veterinary4.2023.40> [in English].
- Horalskyi, L.P., Ragulya, M.R., Kolesnik, N.L., Sokulskiy, 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].
- Juin, S., Sarkar, S., Maitra, S., & Nath, P. (2017). Effect of fish vitellogenin on the growth of juvenile catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822). *Aquaculture Reports*, 7, 16–26. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2017.05.001> [in English].
- Lawal, B.M., Adewole, H.A., & Olaleye, V.F. (2017). Digestibility study and nutrient re-evaluation in *clarias gariepinus* fed blood meal-rumen digesta blend diet. *Notulae Scientia Biologicae*, 9 (3), 344–349. <https://doi.org/10.15835/nsb9310047> [in English].

- Mahmoud, U.M., Mekki, I.A.A., Naguib, M., & Sayed, A.E.H. (2019). Silver nanoparticle-induced nephrotoxicity in *Clarias gariepinus*: physio-histological biomarkers. *Fish Physiology and Biochemistry*, 45 (6), 1895–1905. <https://doi.org/10.1007/s10695-019-00686-7> [in English].
- Martins, B.O., Franco-Belussi, L., Siqueira, M.S., Fernandes, C.E., & Provete, D.B. (2021). The evolution of red blood cell shape in fishes. *Journal of Evolutionary Biology*, 34 (3), 537–548. <https://doi.org/10.1111/jeb.13757> [in English].
- Mbokane, E.M., & Moyo, N.A.G. (2022). Use of medicinal plants as feed additives in the diets of Mozambique tilapia (*Oreochromis mossambicus*) and the African Sharptooth catfish (*Clarias gariepinus*) in Southern Africa. *Frontiers in Veterinary Science*, 9, 1072369. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.1072369> [in English].
- Muller, J.F., & Marc, R.E. (1984). Three distinct morphological classes of receptors in fish olfactory organs. *The Journal of Comparative Neurology*, 222 (4), 482–495. <https://doi.org/10.1002/cne.902220403> [in English].
- Olson, K.R. (1991). Vasculature of the fish gill: anatomical correlates of physiological functions. *Journal of Electron Microscopy Technique*, 19 (4), 389–405. <https://doi.org/10.1002/jemt.1060190402> [in English].
- Roobab, U., Fidalgo, L.G., Arshad, R.N., Khan, A.W., Zeng, X.A., Bhat, Z.F., Bekhit, A.E.A., Batool, Z., & Aadil, R.M. (2022). High-pressure processing of fish and shellfish products: Safety, quality, and research prospects. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 21 (4), 3297–3325. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12977> [in English].
- Song, W., & Song, J. (2012). Morphological structure and peripheral innervation of the lateral line system in the Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*). *Integrative Zoology*, 7 (1), 83–93. <https://doi.org/10.1111/j.1749-4877.2011.00271.x> [in English].
- Spaink, H.P., Jansen, H.J., & Dirks, R.P. (2014). Advances in genomics of bony fish. *Briefings in Functional Genomics*, 13 (2), 144–156. <https://doi.org/10.1093/bfpg/elt046> [in English].
- Strauch, S.M., Wenzel, L.C., Bischoff, A., Dellwig, O., Klein, J., Schüch, A., Wasenitz, B., & Palm, H.W. (2018). Commercial African Catfish (*Clarias gariepinus*) Recirculating Aquaculture Systems: Assessment of Element and Energy Pathways with Special Focus on the Phosphorus Cycle. *Sustainability*, 10 (6), 1805. <https://doi.org/10.3390/su10061805> [in English].
- Svendsen, M.S., Johansen, J.L., Bushnell, P.G., Skov, P.V., Norin, T., Domenici, P., Steffensen, J.F., & Abe, A. (2019). Are all bony fishes oxygen regulators? Evidence for oxygen regulation in a putative oxygen conformer, the swamp eel *Synbranchus marmoratus*. *Journal of Fish Biology*, 94 (1), 178–182. <https://doi.org/10.1111/jfb.13861> [in English].
- Truter, M., Hadfield, K.A., & Smit, N.J. (2023). Review of the metazoan parasites of the economically and ecologically important African sharptooth catfish *Clarias gariepinus* in Africa: Current status and novel records. *Advances in Parasitology*, 119, 65–222. <https://doi.org/10.1016/bs.apar.2022.11.001> [in English].
- Ukagwu, J.I., Anyanwu, D.C., Offor, J.I., & Nduka, C.O. (2017). Comparative studies of nutrient composition of wild caught and pond reared african catfish, *Clarias gariepinus*. *International Journal of Research in Applied, Natural and Social Sciences*, 5 (7), 63–68 [in English].
- Victor, S., Nayak, V.M., & Rajasingh, R. (1999). Evolution of the ventricles. *Texas Heart Institute Journal*, 26 (3), 168–176 [in English].
- Weyl, O.L., Daga, V.S., Ellender, B.R., & Vitule, J.R. (2016). A review of *Clarias gariepinus* invasions in Brazil and South Africa. *Journal of Fish Biology*, 89 (1), 386–402. <https://doi.org/10.1111/jfb.12958> [in English].
- Yu, D., Wu, L., Regenstein, J.M., Jiang, Q., Yang, F., Xu, Y., & Xia, W. (2020). Recent advances in quality retention of non-frozen fish and fishery products: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60 (10), 1747–1759. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1596067> [in English].
- Zadorozhnyi, M., & Bekh, V. (2024). First experience of cultivating african catfish (*Clarias gariepinus* Burchell, 1822) under natural temperature conditions in water bodies of Polissiya of Ukraine. *Ribogospodars'ka Nauka Ukraini*, 1 (67), 74–88. <https://doi.org/10.61976/fsu2024.01.074> [in English].

Отримано: 31.07.2025
Прийнято: 05.09.2025
Опубліковано: 17.10.2025

