

М.М. Шевчук^{1, 2}¹ ДНП «Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького»² Державна спеціалізована установа «Львівське обласне бюро судово-медичної експертизи»

Львів, Україна

Morphologia
2026;20(1):67-75DOI: <https://doi.org/10.26641/1997-9665.2026.1.67-75>

Морфологія / Morphologia / Morfologiâ

ISSN 1997-9665



УДК 611.1-091-018-078.73-076.4-074-019

АНАТОМО-МОРФОЛОГІЧНІ, ГІСТОЛОГІЧНІ ТА ІМУНОГІСТОХІМІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ СЕРЦЕВО-СУДИННОЇ СИСТЕМИ ІНТАКТНОГО БІЛОГО ЩУРАShevchuk M.M.   Anatomical-morphological, histological and immunohistochemical features of the cardiovascular system of the intact white rats.

Danylo Halytsky Lviv National Medical University; State Specialized Institution «Lviv Regional Bureau of Forensic Medical Examination», Lviv, Ukraine.

ABSTRACT. Background. The rat heart is one of the standard objects in experimental studies that model human cardiovascular pathologies. The high degree of homology of the mammalian heart structure allows the use of the results of morphological studies for comparative anatomy and pathophysiology. **Objective:** To study the anatomical-morphological, histological, and immunohistochemical features of the cardiovascular system of intact laboratory white rats. **Methods.** Experimental studies were conducted on 10 sexually mature white non-linear male rats weighing 180-230 g. During the 10 days of quarantine, daily observations were made of the appearance, behavior, food intake and general condition of the animals. After preparation, rat heart tissue was fixed in 10% buffered formalin solution, followed by alcohols of increasing concentration and paraffin embedding according to standard protocols. Then, histological sections with a thickness of $5 \pm 1 \mu\text{m}$ and semi-thin sections with a thickness of $1 \mu\text{m}$ were prepared. Immunohistochemical studies were performed using monoclonal antibodies for vascular endothelium CD31 (Clone JC70A, Thermo Fisher scientific). Visualization of IGH reactions was performed using the DAKO EnVision+System detection system with diaminobenzidine chromogen. Morphometry of rat heart vessels, in particular their diameters and wall thickness, was performed using Aperio ImageScope v12.3.3 software (Leica biosystems, Wetzlar, Germany). **Results.** The anatomical and morphological features of the heart of laboratory white male rats under normal functional conditions are considered. A detailed description of the macroscopic structure of the heart is given, the histological structure of the heart muscle, endocardium, pericardium and heart vessels is investigated. The results of macroscopic and histological studies of the structure of the heart muscle, endocardium, pericardium and vascular network of the heart supplement data on the norm of the cardiovascular system, which is important for fundamental and experimental cardiology, as well as for the assessment of pathological changes in models of cardiovascular diseases. Immunohistochemical and morphometric analysis confirmed that in the myocardium of intact rats the vascular bed is represented by arteries of various calibers, arterioles, a dense capillary network and venous vessels. The arterial wall had a clearly expressed intima, media and adventitia. Arterioles were characterized by thin but clearly defined media, while venules had thin walls with a minimal muscular component. The combination of histological description of vessels with morphometry creates a reliable basis for further control-experimental comparisons. In rat myocardium, uniform expression of CD31 reflects the integrity of the vascular endothelial layer and the absence of inflammatory or dystrophic damage. The obtained indicators can serve as a reference morphological basis for experimental studies of cardiovascular pathology. **Conclusion.** The identified features of macro- and microscopic organization and morphometric parameters of the vascular bed of the heart are important for establishing a reference basis and subsequently for comparison with the detected changes obtained in experimental models of induced pathologies.

Key words: heart, vessels, morphology, histology, immunohistochemistry, morphometry, intact rats. Shevchuk M.M. 0000-0001-7852-5980For correspondence:  Shevchukmm@gmail.com

© The Author(s) 2026. This is an open access article under the Creative Commons CC BY 4.0 license, which allows other people to freely distribute the published work with a mandatory reference to the authors of the original work and the first publication of the work in this journal.

**Citation:** Shevchuk MM. [Anatomical-morphological, histological and immunohistochemical features of the cardiovascular system of the intact white rats]. Morphologia. 2026;20(1):67-75. Ukrainian[doi: https://doi.org/10.26641/1997-9665.2026.1.67-75](https://doi.org/10.26641/1997-9665.2026.1.67-75)

Отримано / Received: 25.12.2025

Рецензовано / Revised: 26.02.2026

Прийнято / Accepted: 20.03.2026

Опубліковано / Published: 27.03.2026

Вступ

На сьогоднішній день захворювання серцево-судинної системи займають лідируюче місце у структурі смертності у багатьох країнах світу. За оцінками Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ), серцево-судинні захворювання стали причиною 17,9 мільйона смертей у 2019 році, що становить 32% усіх смертей у світі [1]. Прогнозується, що тягар серцево-судинних захворювань зростатиме в наступні роки внаслідок старіння населення, урбанізації та змін способу життя [2, 3]. В Україні реєструється також один із найвищих рівнів смертності від серцево-судинної патології серед країн Європи, що асоціюється з високими рівнями захворюваності [4]. Тому досі актуальними є не тільки лікування серцево-судинної патології, а й профілактика. Важливу роль у профілактиці й лікуванні серцево-судинних захворювань приділяється фармакотерапії і фітотерапії, а доклінічні дослідження на лабораторних тваринах з визначенням безпеки застосування лікарських засобів мають велике значення і результати можуть використовуватися для клінічних випробувань [5]. Серце щурів є одним із стандартних об'єктів в експериментальних дослідженнях, а експериментальні моделі серцевих захворювань відіграють ключову роль у розумінні патофізіології захворювання та розробці нових методів лікування [6]. Високий ступінь гомології структури серця щурів і людини дозволяє використовувати результати морфологічних досліджень для порівняльної анатомії та патофізіології [7, 8]. Таким чином, знання анатомо-морфологічних і гістологічних особливостей серцево-судинної системи лабораторних білих щурів є важливими для дослідників, які працюють у галузі доклінічних досліджень лікарських речовин, а також для фахівців, які вивчають гістологію, фізіологію та патологію серцево-судинної системи.

Метою роботи було вивчити анатомо-морфологічні, гістологічні, імуногістохімічні особливості серцево-судинної системи лабораторних білих щурів в нормі.

Матеріали та методи

Експериментальне дослідження виконане на 10 статевозрілих білих нелінійних щурах-самцях масою 180–230 г, віком 5–7 місяців. Для проведення дослідження тварин ретельно відбирали, оглядали, зважували. Впродовж 10 діб щури проходили адаптаційний період в стандартних умовах віварію Львівського національного медичного університету імені Данила Галицького. Тварини мали стандартний раціон з вільним доступом до води. Під час адаптаційного періоду велися щоденні спостереження за зовнішнім виглядом, поведінкою, поїданням корму та загальним станом тварин.

Перед проведенням забору матеріалу щурів виводили з експерименту шляхом використання

диетилового ефіру. Експеримент проведений з дотриманням морально-етичних норм у відповідності до положень Європейської конвенції щодо захисту хребетних тварин, яких використовують в експериментальних та інших наукових цілях (Страсбург, 1986), Директиви Ради Європи 2010/63/ EU, Закону України №3447-IV «Про захист тварин від жорсткого поводження» [9, 10]. Проведення дослідження було схвалене членами комісії з питань біоетики Львівського національного медичного університету імені Данила Галицького і встановлено, що наукові дослідження відповідають етичним вимогам згідно наказу МОЗ України № 231 від 01. 11. 2000 року (протокол №7 від 29 серпня 2022 року).

Тканину серця щурів після їх препарування фіксували в 10% забуференому розчині формаліну, проводку за допомогою спиртів зростаючої концентрації і заливку в парафін проводили за стандартними протоколами. В подальшому виготовляли гістологічні зрізи завтовшки 5 ± 1 мкм, які потім наносили на предметні спеціальні адгезивні скельця, проводили депарафінізацію і забарвлювали гематоксиліном та еозином за стандартною методикою [11]. Також виготовляли напівтонкі зрізи завтовшки 1 мкм, які фарбували метиленовим синім і досліджували під світловим мікроскопом за допомогою імерсії при збільшенні мікроскопа $\times 1000$ [12]. Імуногістохімічні дослідження проводили на гістологічних зрізах з парафінових блоків, призначених для стандартного морфологічного дослідження. У роботі використовувалися моноклональні антитіла для ендотелію судин CD31 (Клон JC70A, Thermo Fisher scientific). Дослідження проводили відповідно до протоколу виробника з необхідними контролюми. Візуалізацію ІГХ реакції виконували за допомогою системи детекції DAKO EnVision+System з хромогеном діамінобензидином [13]. Для аналізу та мікрофотографування гістологічних препаратів використовували світлооптичний мікроскоп Leica DM 2500 (Leica Microsystems GmbH, Німеччина) з цифровою камерою Leica DFC450 C (Німеччина) та ліцензованим програмним забезпеченням Leica Application Suit Version 3.8. Морфометрію судин серця щурів, зокрема їх діаметри і товщину стінки здійснювали за допомогою програмного забезпечення Aperio ImageScope v12.3.3 (Leica biosystems, Wetzlar, Німеччина). Середні показники діаметрів нами представлені у вигляді середнього арифметичного із середнім квадратичним відхиленням ($M \pm SD$) [14].

Результати

При макроскопічному дослідженні серце розташоване у грудній порожнині у передньому середостінні грудної клітки, у перикардії. У щура верхівка серця більше спрямована до грудини, а лівий шлуночок до передньої стінки грудної клітки. Форма серця овоїдно-сферична. На поверхні

серця добре візуалізувалася поперечно розташована венозна борозна і поздовжня передня міжшлуночкова борозна. Серце щура чотирикамерної будови, розділене на праву та ліву частини. Кожна частина включала передсердя та шлуночок. Ліве передсердя кулястої форми отримує артеріальну кров із чотирьох легеневих вен, але особливість в тому, що одна легенева вена йде від лівої легені і три – від правої легені. Лівий шлуночок мав товстіший міокард, ніж правий, формував основну частину серцевого конусу і забезпечував системний кровообіг через аорту. Праве передсердя приймає венозну кров через верхню і нижню порожнисті вени, але особливістю у щура є дві краніальні порожнисті вени – права і ліва, які утворені злиттям відповідних яремних та підключичних вен, що впадають у праве передсердя окремо.

Правий шлуночок мав тоншу стінку порівняно з лівим. Основними судинами є аорта, що виходить із лівого шлуночка і має краніальний напрямок, легенева артерія, що бере початок у правому шлуночку, а також коронарні артерії, які забезпечують м'яз кровопостачанням. Кровоопостачання серця щура загалом схоже з анатомією коронарних судин людини. У щурів виділяли перегородкові гілки правої коронарної артерії, які беруть участь у кровопостачанні міжшлуночкової перегородки. Крім того, кровопостачання міжшлуночкової перегородки здійснювалося і лівою коронарною артерією.

Примітно, що у щурів великі коронарні артерії майже відразу розташовувалися інтрамурально, розгалужувалися на артерії середнього і дрібного калібру, і далі на артеріоли і капіляри. Капіляри здебільшого були орієнтовані паралельно до міокардіоцитів і утворювали великі анастомози між собою. Венозна кров збиралася у найменші вени серця, які впадали у вени більшого калібру і формували його основні вени. У щурів розгалуження коронарних вен дуже мінливе і варіабельне, проте у більшості випадків венозна система була представлена лівою веною, великою каудальною веною, правою та лівою конічною венами.

При гістологічному дослідженні структур серця складалася з трьох оболонок. Це внутрішня оболонка – ендокард, середня оболонка – міокард, який становив основну масу серця і зовнішня оболонка – епікард, який є вісцеральним листком перикарда. Ендокард покривав всю поверхню шлуночків та передсердь, а також клапани, трабекули, сосочкові м'язи, які виступали у їхній просвіт. У щурів ендокард не був виразний, дуже тоненький і шари практично не помітні. При світловій мікроскопії вдалося розрізнити лише ендотелій та невелику кількість пухкої сполучної тканини. Клапани серця тоненькі, візуалізувалися як складка ендокарда з прошарком сполучної тканини. Межі шарів нечіткі, спонгіозний шар був дуже тонкий і

помітний тільки біля основи клапанів.

Епікард і перикард тоненькі, з малою кількістю сполучної тканини. Також в епікарді щурів була майже відсутня жирова тканина, згрупована в ділянки міжшлуночкової та міжпередсердної борозен. Перикард складався з двох листків: фіброзного зовнішнього та серозного внутрішнього (пристінкового і вісцерального шару).

Міокард на поздовжніх зрізах був представлений поперечно-смугастою м'язовою тканиною. Звертали увагу на те, що більшість кардіоміоцитів були двоядерними. Ядра кардіоміоцитів округлої або овальної форми, займали центральну частину клітин. Кардіоміоцити по краях були з'єднані між собою чіткими вставними дисками для забезпечення скоротливої спроможності міокарда. Поперечна посмугованість скоротливих кардіоміоцитів добре виразна, поздовжня посмугованість також чітко визначалася. Між кардіоміоцитами розташовувалася строма у вигляді вузького простору з тонкими прошарками пухкої волокнистої сполучної тканини і судинами (рис. 1).

При гістологічному та імуногістохімічному дослідженнях встановлено, що судинне русло міокарда щурів було представлене артеріями різного калібру, артеріолами, густою капілярною сіткою і венозними судинами. Стінка артерій мала чітко виражені інтиму, медію та адвентицію. Артеріоли характеризувалися тонкою, чітко окресленою медією, тоді як венули мали тонкі стінки з мінімальним м'язовим компонентом (рис. 2, 3).

Для візуалізації судинного русла застосовували імуногістохімічний маркер ендотелію CD31 (PECAM-1), який забезпечував чітку мембранну експресію в ендотелії всіх типів судин, максимальна щільність експресії була характерною для капілярів. Так, в артеріях великого і середнього калібру візуалізувалася чітка лінійна мембранна імунопозитивність уздовж внутрішньої поверхні інтими, ендотелій формував безперервний шар сплосчених клітин, експресія CD31 рівномірна, інтенсивність середня або помірно висока, гладком'язові клітини медії залишалися імунонегативними. У дрібних артеріях та артеріолах спостерігалася виразна CD31-позитивна вистилка просвіту, у дрібних артеріолах експресія CD31 особливо чітка через маленьку товщину стінки. Імуномаркування також дозволило легко відмежувати артеріоли від венул у товщі міокарда. У капілярах візуалізувалася найбільш інтенсивна і часта експресія CD31, капіляри виглядали як тонкі, чітко окреслені трубчасті структури між кардіоміоцитами. У венулах CD31-позитивний ендотелій з менш чіткою організацією просвіту порівняно з артеріолами, стінка тонка, медія практично відсутня, що добре корелювало з морфологічними особливостями. У венах експресія була слабшою, ніж у капілярах, через більший діаметр просвіту та меншу щільність ендотеліальних клітин у стінці (рис. 4).

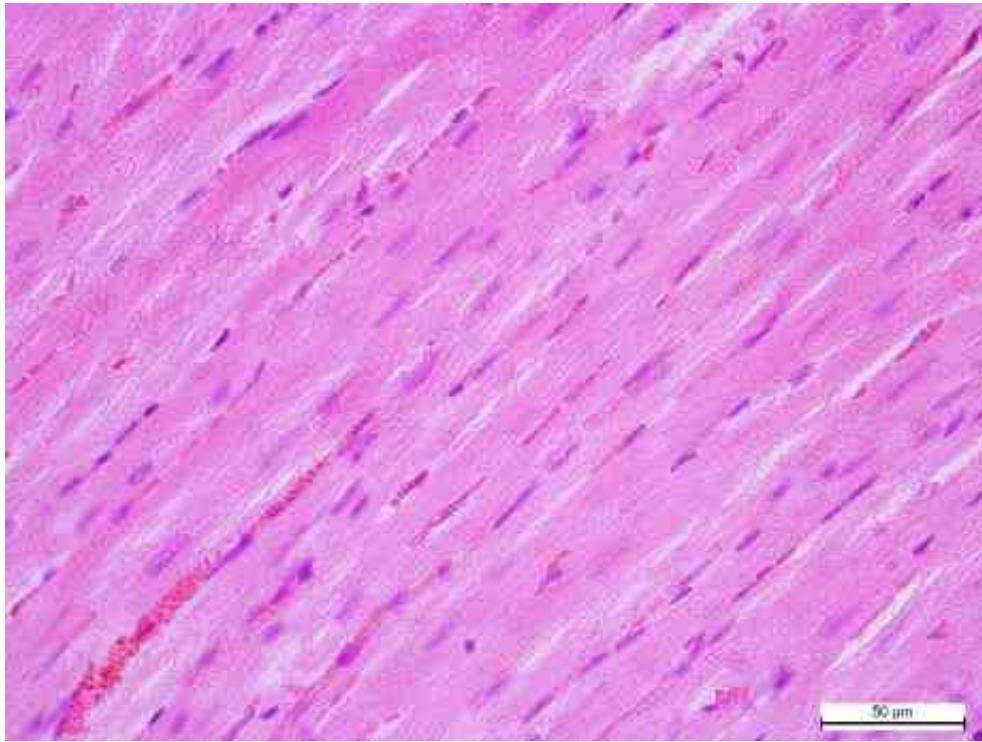


Рис. 1. Міокард інтактного щура. Поперечна і поздовжня посмугованість скоротливих кардіоміоцитів добре виразна, між кардіоміоцитами строма у вигляді вузького простору з тонкими прошарками пухкої волокнистої сполучної тканини і судинами. Забарвлення гематоксиліном та еозином. $\times 400$.



Рис. 2. Гістологічна структура міокарда та судин. В інтактному міокарді артерія великого калібру зі збереженими оболонками, чітко організованою гладком'язовою оболонкою, внутрішня оболонка утворена ендотелієм, тонкою підендотеліальною сполучною тканиною, внутрішньою еластичною мембраною, зовнішня оболонка з колагеновими волокнами, фібробластами та нервовими елементами. Забарвлення гематоксиліном та еозином. $\times 400$.

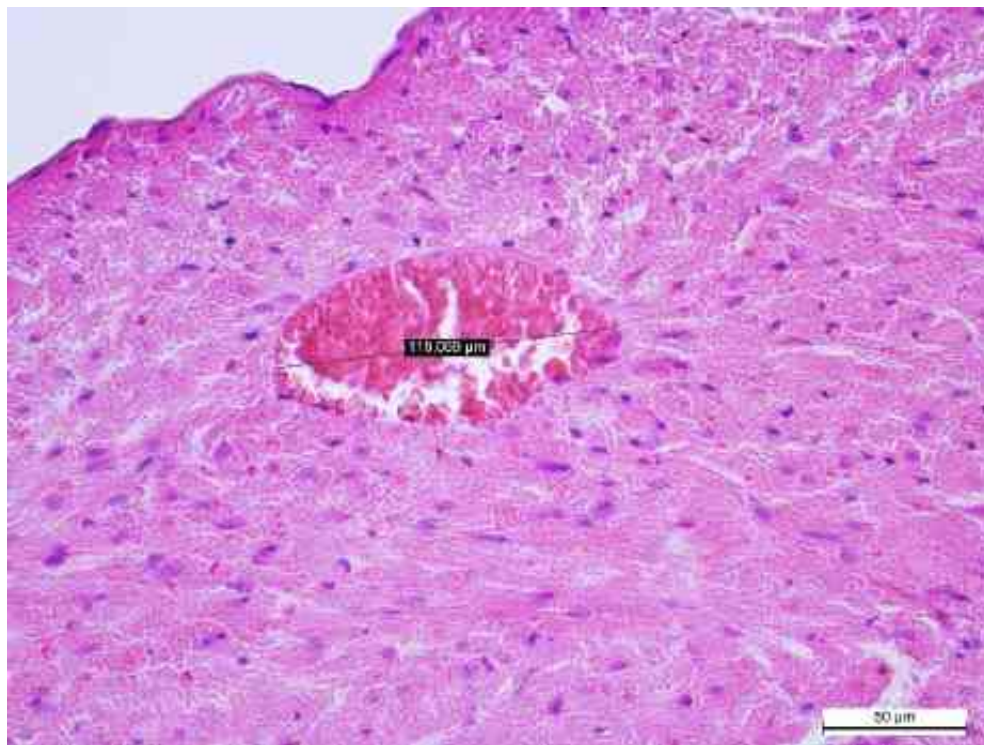


Рис. 3. Гістологічна структура міокарда та судин. В інтактному міокарді вена дрібного калібру з тонкою стінкою і малою кількістю м'язових клітин. Забарвлення гематоксиліном та еозином. $\times 400$.

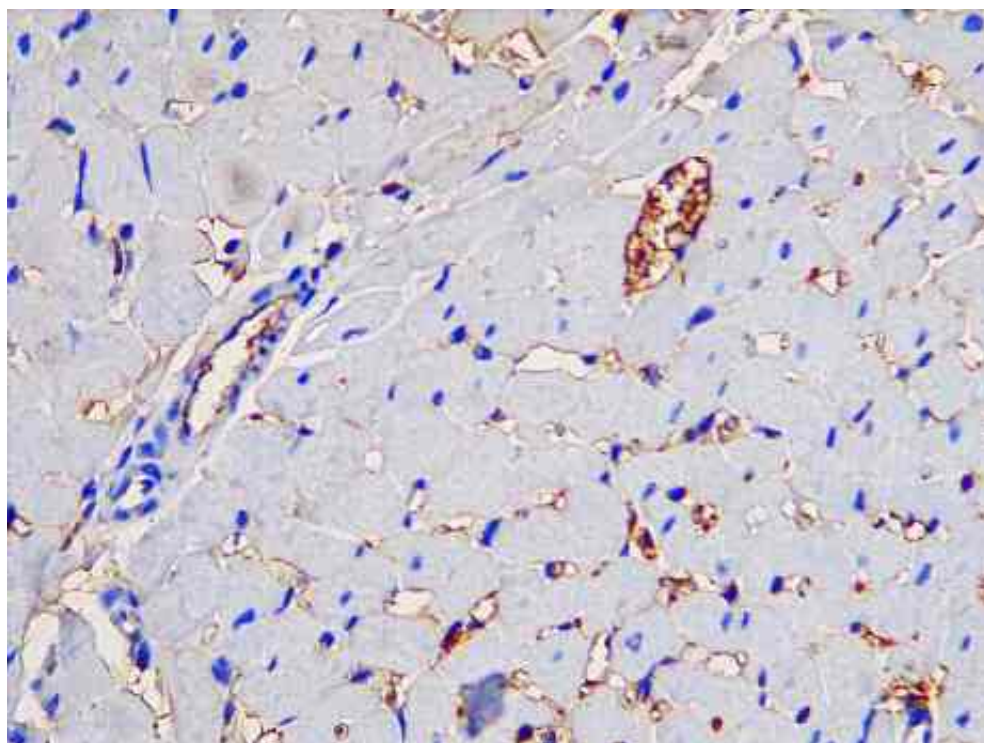


Рис. 4. В інтактному міокарді висока щільність CD31-позитивних мікросудин, переважно капілярів, рівномірно розподілених між кардіоміоцитами. Репрезентативні результати імуногістохімії для CD31. CD31-позитивні ендотеліоцити капілярів, вени і артерії дрібного калібру зафарбовані у коричневий колір. ІГХ типування ендотеліоцитів за допомогою маркера CD31 (Клон JC70A, Thermo Fisher scientific). $\times 400$.

При морфометричному дослідженні діаметрів судин різного калібру і товщини їх стінки було встановлено, що зовнішній діаметр коронарних артерій великого калібру був у діапазоні від 126–300 мкм і більше і становив в середньому $197,83 \pm 25,17$ мкм, внутрішній діаметр – $161,51 \pm 23,12$ мкм, в середньому становила $35,13 \pm 6,02$ мкм. Структурно товщина інтими була 2–5 мкм, медії – $23,51 \pm 4,12$ мкм, адвентиції 9–14 мкм. Медія формувала основну частину товщини. Діаметр деяких артерій великого калібру був менший і коливався в діапазоні від 126 мкм до 155 мкм, середній діаметр становив $140,57 \pm 12,15$ мкм.

Інтрамуральні артерії середнього і дрібного калібру були помірно кровонаповнені, з чіткою тонкою медією, ендотелієм на базальній мембрані був на вигляд сплюснений, ядра ендотеліальних клітин мали витягнуту форму, базофільні при забарвленні гематоксиліном та еозином. За результатами морфометрії артерій середнього калібру середній зовнішній діаметр становив $87,65 \pm 2,12$ мкм, внутрішній – $58,47 \pm 2,07$ мкм. Розрахована товщина судинної стінки становила $14,59 \pm 1,13$ мкм. Діаметр артерій дрібного калібру коливався від 26 мкм до 50 мкм, середній зовнішній діаметр становив $35,69 \pm 1,23$ мкм, внутрішній діаметр – $23,54 \pm 1,12$ мкм. Товщина стінки становила $6,08 \pm 0,83$ мкм. Артеріоли є судинами м'язового типу дрібного калібру, з діаметром в діапазоні 10–30 мкм, які відіграють ключову роль у регуляції периферичного опору та мікроциркуляції. У гістологічних препаратах при забарвленні гематоксиліном та еозином артеріоли характеризувалися наявністю просвіту округлої або овальної форми, стінка артеріол відносно товста порівняно з діаметром просвіту, чітко візуалізувався шар гладком'язових клітин. Інтима була представлена плоскими ендотеліальними клітинами, ядра витягнуті, підендотеліальний шар слабо виражений, внутрішня еластична мембрана не завжди виразна, в окремих полях зору в артеріолах відсутня, на відміну від артерій середнього калібру. Медія була представлена 1–2 концентричними шарами гладком'язових клітин, інколи таких шарів було 3, ядра гладком'язових клітин видовжені, розташовані циркулярно. Адвентиція характеризувалася тонким шаром пухкої сполучної тканини. У міокарді артеріоли локалізувалися між кардіоміоцитами, часто супроводжували венули. Середній зовнішній діаметр артеріол становив $26,57 \pm 0,15$ мкм, внутрішній діаметр – $18 \pm 0,11$ мкм. Товщина стінки становила $4,29 \pm 0,09$. Капіляри міокарда характеризувалися тоненькою ендотеліальною висилкою і розташовувалися паралельно до м'язових волокон. У просвіті капілярів діаметром від 5 мкм до 8 мкм містилися еритроцити.

Посткапілярні венули міокарда діаметром від 10 мкм до 50 мкм характеризувалися тонкою стінкою, представленою плоским ендотелієм, з

відсутніми гладком'язовими клітинами і слабо виразною базальною мембраною. Просвіт судин мав здебільшого неправильну форму, в якому візуалізувалися формені елементи крові. Будова венул відповідала судинам мікроциркуляторного русла венозного відділу.

Вени міокарда у гістологічних препаратах мали ширший просвіт, ніж супровідні артерії, часто неправильної або сплющеної форми, характеризувалися тоншою стінкою, ніж артерії того ж калібру. Медія була слабо розвинена, адвентиція переважала за товщиною та містила щільні колагенові волокна й фіброласти. У товщі міокарда найчастіше зустрічалися вени дрібного і середнього калібру. Діаметр вен був у діапазоні від 51 мкм до 150 мкм, причому середній діаметр вен і венул достовірно перевищував середній діаметр артеріол ($p < 0,05$). У стінці вен і венул ендотеліоцити на вигляд чіткі, еухромні, розташовані одні від одних на значній відстані.

Таким чином, судини міокарда щура формують послідовний морфофункціональний ряд від артерій до вен, при цьому відбувається закономірне зменшення товщини медії та збільшення питомої ваги адвентиції у венозному сегменті. Артеріоли виступають основною ланкою регуляції мікроциркуляції, тоді як посткапілярні венули є ключовою ділянкою судинної проникності та клітинної міграції.

Обговорення

Отримані нами дані щодо гістологічної будови та морфометричних параметрів судин міокарда інтактних білих щурів-самців відображають типову для серця ссавців ієрархічну організацію коронарного русла: від провідних артерій і артерій середнього калібру до регуляторного артеріолярного сегмента, обмінної капілярної ланки та емнісного венозного відділу. Зіставлення морфологічної картини з морфометричними параметрами дозволяє інтерпретувати отримані величини не лише як “геометрію” судини, а як прояв її функціональної ролі в коронарній гемодинаміці.

Показники, що характеризують відносну “потовщеність” стінки артерії, такі як індекси Керногана і Вогенворта, закономірно зростають в артеріях дрібного калібру та артеріолах, оскільки саме цей сегмент визначає основну частку коронарного опору і забезпечує тонке узгодження перфузії з метаболічними потребами міокарда. У сучасних оглядах підкреслюється, що головні локуси коронарного опору припадають на малі артерії та артеріоли, тоді як капіляри та венули значно менше впливають на сумарний опір [15]. Це пояснює, чому саме в дрібному артеріальному руслі відносні індекси стінки є найінформативнішими для опису норми та ремоделювання, навіть, якщо це стосується інших басейнів, проте принципи інтерпретації для мікроциркуляції універсальні [16]. У нашому матеріалі дрібні артерії та артері-

оли мають відносно більший вміст м'язових елементів у стінці, що забезпечує ефективну вазомоторну регуляцію.

Важливим контекстом для інтерпретації морфології є те, що капілярна сітка міокарда є неоднорідною. Класичні кількісні дослідження геометрії мікросудин серця щура показали систематичні відмінності між артеріолярними та венулярними капілярними ділянками. Так, у венулярній ділянці автори описували вищу щільність капілярів, більш рівномірне розташування і збільшений їх діаметр, що пояснює кращу дифузію кисню при нижчому парціальному тиску у напрямку венозної ділянки капілярного русла [17]. Капіляри міокарду належать до соматичного типу, а стан ендотелію є раннім індикатором мікросудинної дисфункції. В експериментальних роботах на щурах було показано, що при метаболічних або гемодинамічних порушеннях виникають фокальні зміни ендотеліальної ферментативної активності та ультраструктури капілярного ендотелію, що розглядають як компоненти мікросудинного ураження й передумови капілярної дисфункції [18]. Тому важливим є дослідження ендотелію в інтактних тварин для подальших експериментальних серій із оцінкою ендотеліальної реактивності, в тому числі за експресією CD31/PECAM-1 при імуногістохімічному дослідженні. CD31 є надійним універсальним маркером ендотелію судин серця щурів. У нормі спостерігається безперервна мембранна експресія у всіх ланках судинного русла, найбільш інтенсивна — у капілярах та артеріолах. Це дозволяє використовувати CD31 для морфометричного аналізу мікроциркуляції та оцінки судинної інтеграції в експериментальній кардіології.

Посткапілярні венули вважаються ключовою ділянкою для трансендотеліальної міграції лейкоцитів та регуляції судинної проникності. Сучасні експериментальні моделі підкреслюють, що стінка посткапілярної венули — це не лише ендотелій, але й перицити і базальна мембрана, притому що взаємодія цих компонентів модулює адгезію та діapedез нейтрофілів [19]. На рівні механізмів діapedезу показано, що лейкоцити проходять переважно через посткапілярні венули [20]. Це узгоджується з нашими морфологічними критеріями ідентифікації венул, в яких тоненька стінка, відсутність або мінімум гладком'язових клітин, неправильний просвіт і підвищена лабільність форми в гістологічному препараті.

Окремо варто підкреслити те, що сучасні морфологічні реконструкції та модельні підходи до вивчення бар'єрних властивостей прекапілярних артеріол і посткапілярних венул демонструють принципові відмінності їхньої архітектоніки стінки, що потрібно враховувати при інтерпретації будь-яких експериментальних змін проникності/набряку міокарда [21].

Для вен міокарда характерні широкий про-

світ, тонша медія і відносно домінування адвентиції, що відповідає їх ємнісній функції та здатності адаптуватися до змін об'єму крові. У нашій роботі опис венозного сегмента доповнює цілісну характеристику русла, так як посткапілярні венули є функціональною зоною бар'єра чи запалення, а вени є зоною депонування або відтоку, і зміни у венозному руслі при експериментальних впливах можуть мати інший характер, як застій, дилатація, периваскулярний набряк, ніж в артеріолах, в яких зміни можуть бути у вигляді ремоделювання чи гіпертрофії медії. Показники товщини стінки судин, отримані в інтактних тварин, можуть бути використані як референтні значення для кількісної оцінки при експериментальних моделях метаболічних чи інших порушень [22].

Висновки

Результати макроскопічного та гістологічного дослідження структури серцевого м'яза, ендокарда, перикарда та судинної сітки серця щурів доповнюють дані щодо норми серцево-судинної системи, що є важливим для фундаментальної та експериментальної кардіології, а також для оцінки патологічних змін у моделях серцево-судинних захворювань.

Імуногістохімічний та морфометричний аналіз підтвердив, що в міокарді інтактних щурів судинне русло представлене артеріями різного калібру, артеріолами, густою капілярною сіткою та венозними судинами. Стінка артерій мала чітко виражені інтиму, медію та адвентицію. Артеріоли характеризувалися тонкою, але чітко окресленою медією, тоді як венули мали тонкі стінки з мінімальним м'язовим компонентом. Поєднання гістологічного опису судин із морфометрією створює надійну основу для подальших порівнянь «контроль-експеримент».

У міокарді щура рівномірна експресія CD31 відображає інтактність ендотеліального шару судин та відсутність запального чи дистрофічного ушкодження. Отримані показники можуть слугувати референтною морфологічною базою для експериментальних досліджень серцево-судинної патології.

Перспективи подальших досліджень

Отримані дані щодо гістологічної будови та морфометричних параметрів судин міокарда інтактних білих щурів-самців мають велике значення для подальших експериментальних досліджень впливу олії КБД та конопляної олії.

Інформація про конфлікт інтересів

Потенційних або явних конфліктів інтересів, що пов'язані з цим рукописом, на момент публікації не існує та не передбачається.

Інформація про фінансування

Це дослідження не отримувало спеціального гранту від жодної фінансової установи у державному, комерційному чи некомерційному секторі.

Літературні джерела References

1. World Health Organization. Cardiovascular diseases (CVDs). Available from: [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-\(cvds\)](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-(cvds)). Accessed: Sep 22, 2023.
2. Ma LY, Chen WW, Gao RL, Liu LS, Zhu ML, Wang YJ, Wu ZS, Li HJ, Gu DF, Yang YJ, Zheng Z, Hu SS. China cardiovascular diseases report 2018: an updated summary. *J Geriatr Cardiol.* 2020;17(1):1-8. doi: 10.11909/j.issn.1671-5411.2020.01.001.Jan
3. Luo Y, Liu J, Zeng J, Pan H. Global burden of cardiovascular diseases attributed to low physical activity: An analysis of 204 countries and territories between 1990 and 2019. *Am J Prev Cardiol.* 2024;17:100633. doi: 10.1016/j.ajpc.2024.100633
4. Hutor TH, Kolinkovskyi OM, Lafarenko ORV, Tyshko LO, Timchenko NF, Omelyash UV. [Epidemiology of cardiovascular diseases in Ukraine: general trends]. *Public Health Journal.* 2025;1(7):77-84. Ukrainian. doi: 10.32782/pub.health.2025.1.11
5. Ritskes-Hoitinga M, Leenaars M, Avey M, Rovers M, Scholten R. Systematic reviews of preclinical animal studies can make significant contributions to health care and more transparent translational medicine. *Cochrane Database Syst Rev.* 2014;2014(3):ED000078. doi: 10.1002/14651858.ED000078
6. Oh JG, Kho C, Hajjar RJ, Ishikawa K. Experimental models of cardiac physiology and pathology. *Heart Fail Rev.* 2019;24(4):601-15. doi: 10.1007/s10741-019-09769-2
7. Buetow BS, Laflamme MA. Chapter 10 – Cardiovascular Research/Editor(s): Piper M. Treuting, Suzanne M. Dintzis, Kathleen S. Montine. *Comparative Anatomy and Histology (Second Edition)*, Academic Press; 2018:163-189. ISBN 9780128029008. doi: 10.1016/B978-0-12-802900-8.00010-5
8. Allen PS, Dell'Italia LG, Esvelt M, Conte ML, Cadillac JM, Myers DD. Chapter 25 - Cardiovascular Research/Editor(s): Mark A. Suckow, F. Claire Hankenson, Ronald P. Wilson, Patricia L. Foley. *The Laboratory Rat (Third Edition)*, Academic Press; 2020:927-65. ISBN 9780128143384. doi: 10.1016/B978-0-12-814338-4.00025-8
9. European Convention for the protection of vertebrate animals used for experimental and other scientific purposes. Strasburg; Council of Europe. 1986;123:52. Available from: <https://rm.coe.int/168007a67b>.
10. Directive 2010/63/EU of the European Parliament and of the Council of 22 September 2010 on the Protection of Animals Used for Scientific Purposes. *Off J Eur Union.* 2010;53(L276):33-79. Available from: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:276:0033:0079:en:PDF>
11. Suvana SK, Layton C, Bancroft GD. (Eds.). *Bancroft's Theory and Practice of Histological Techniques*, 8th Edition. Elsevier; 2019. 558 p. doi: 10.1016/B978-0-7020-6864-5.00008-6
12. Hayat MA. *Principles and techniques of electron microscopy: Biological applications* [4th ed.]. Cambridge: Cambridge University Press; 2000. 543 p. doi: 10.1006/anbo.2001.1367
13. Nguyen T. *Immunohistochemistry: A Technical Guide to Current Practices*. Cambridge: Cambridge University Press; 2022. 264 p.
14. Hruziova TS, Lekhan VM, Ohniev VA, Haliienko LI, Kriachkova LV, Palamar BI, et al. [Biostatistics]. Vinnitsia: New Book; 2020. 384 p. ISBN 978-966-382-857-2. Ukrainian.
15. Brandt MM, Cheng C, Merkus D, Duncker DJ, Sorop O. *Mechanobiology of Microvascular Function and Structure in Health and Disease: Focus on the Coronary Circulation*. *Front Physiol.* 2021;12:771960. doi: 10.3389/fphys.2021.771960
16. Ritt M, Schmieder RE. Wall-to-lumen ratio of retinal arterioles as a tool to assess vascular changes. *Hypertension.* 2009;54(2):384-7. doi: 10.1161/HYPERTENSIONAHA.109.133025
17. Batra S, Koyama T, Gao M, Horimoto M, Rakusan K. Microvascular geometry of the rat heart. Arteriolar and venular capillary regions. *Jpn Heart J.* 1992;33(6):817-28. doi: 10.1536/ihj.33.817
18. Okruhlicova L, Tribulova N, Weismann P, Sotnikova R. Ultrastructure and histochemistry of rat myocardial capillary endothelial cells in response to diabetes and hypertension. *Cell Res.* 2005;15(7):532-8. doi: 10.1038/sj.cr.7290322
19. Lauridsen HM, Pober JS, Gonzalez AL. A composite model of the human postcapillary venule for investigation of microvascular leukocyte recruitment. *FASEB J.* 2014;28(3):1166-80. doi: 10.1096/fj.13-240986
20. Alon R, van Buul JD. Leukocyte Breaching of Endothelial Barriers: The Actin Link. *Trends Immunol.* 2017;38(8):606-15. doi: 10.1016/j.it.2017.05.002
21. Nees S, Juchem G, Eberhorn N, Thallmair M, Förch S, Knott M, Senftl A, Fischlein T, Reichart B, Weiss DR. Wall structures of myocardial precapillary arterioles and postcapillary venules reexamined and reconstructed in vitro for studies on barrier functions. *Am J Physiol Heart Circ Physiol.* 2012;302(1):H51-68. doi: 10.1152/ajpheart.00358.2011
22. Hollander MR, de Waard GA, Konijnenberg LS, Meijer-van Putten RM, van den Brom CE, Paauw N, de Vries HE, van de Ven PM, Aman J, Van Nieuw-

Amerongen GP, Hordijk PL, Niessen HW, Horrevoets AJ, Van Royen N. Dissecting the Effects of Ischemia and Reperfusion on the Coronary Microcir-

ulation in a Rat Model of Acute Myocardial Infarction. PLoS One. 2016;11(7):e0157233. doi: 10.1371/journal.pone.0157233

Шевчук М.М. Анатомо-морфологічні, гістологічні та імуногістохімічні особливості серцево-судинної системи інтактного білого щура.

ДНП «Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького»; Державна спеціалізована установа «Львівське обласне бюро судово-медичної експертизи», Львів, Україна.

РЕФЕРАТ. Актуальність. Серце щурів є одним із стандартних об'єктів в експериментальних дослідженнях, що моделюють серцево-судинні патології людини. Високий ступінь гомології структури серця ссавців дозволяє використовувати результати морфологічних досліджень для порівняльної анатомії та патофізіології. **Мета.** Вивчити анатомо-морфологічні, гістологічні, імуногістохімічні особливості серцево-судинної системи лабораторних білих щурів в нормі. **Методи.** Експериментальні дослідження проведені на 10 статевозрілих білих нелінійних щурах-самцях масою 180-230 г. Експерименти проведені з дотриманням морально-етичних норм. Тканину сердець щурів після їх препарування фіксували в 10% забуференому розчині формаліну, проводку за допомогою спиртів зростаючої концентрації і заливку в парафін проводили за стандартними протоколами. В подальшому виготовляли гістологічні зрізи завтовшки 5 ± 1 мкм, напівтонкі зрізи завтовшки 1 мкм. Імуногістохімічні дослідження проводили із використанням моноклональних антитіл для ендотелію судин CD31 (Клон JC70A, Thermo Fisher scientific). Дослідження проводили відповідно до протоколу виробника з необхідними контролюми. Візуалізацію ІГХ реакції виконували за допомогою системи детекції DAKO EnVision+System з хромогеном діамінобензидином. Для аналізу та мікрофотографування гістологічних препаратів використовували світлооптичний мікроскоп Leica DM 2500 (Leica Microsystems GmbH, Німеччина) з цифровою камерою Leica DFC450 C (Німеччина) та ліцензованим програмним забезпеченням Leica Application Suit Version 3.8. Морфометрію судин серця щурів, зокрема їх діаметри і товщину стінки здійснювали за допомогою програмного забезпечення Aperio ImageScope v12.3.3 (Leica biosystems, Wetzlar, Німеччина). Середні показники діаметрів нами представлені у вигляді середнього арифметичного із середнім квадратичним відхиленням ($M \pm SD$). **Результати.** Розглянуто анатомо-морфологічні особливості серця лабораторних білих щурів-самців за умов функціональної норми. Наведено детальний опис макроскопічної будови серця, досліджено гістологічну структуру серцевого м'яза, ендокарда, перикарда та судин серця. Результати макроскопічного та гістологічного дослідження структури серцевого м'яза, ендокарда, перикарда та судинної сітки серця доповнюють дані щодо норми серцево-судинної системи, що є важливим для фундаментальної та експериментальної кардіології, а також для оцінки патологічних змін у моделях серцево-судинних захворювань. Імуногістохімічний та морфометричний аналіз підтвердив, що в міокарді інтактних щурів судинне русло представлене артеріями різного калібру, артеріолами, густою капілярною сіткою та венозними судинами. Стінка артерій мала чітко виражені інтиму, медію та адвентицію. Артеріоли характеризувалися тонкою, але чітко окресленою медією, тоді як вени мали тонкі стінки з мінімальним м'язовим компонентом. Поєднання гістологічного опису судин із морфометрією створює надійну основу для подальших порівнянь контроль-експеримент. У міокарді щура рівномірна експресія CD31 відображає інтактність ендотеліального шару судин та відсутність запального чи дистрофічного ушкодження. Отримані показники можуть слугувати референтною морфологічною базою для експериментальних досліджень серцево-судинної патології. **Підсумок.** Визначені особливості макро-мікроскопічної організації та морфометричні параметри судинного русла серця є важливими для встановлення еталонної основи і в подальшому для співставлення з виявленими змінами, отриманими на експериментальних моделях індукованих патологій.

Ключові слова: серце, судини, морфологія, гістологія, імуногістохімія, морфометрія, щури, норма.