

## УЛЬТРАСТРУКТУРНІ ОСОБЛИВОСТІ БУДОВИ СЕРЦЯ БІЛОГО ЩУРА В НОРМІ

©М. М. Шевчук

*Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького*

**РЕЗЮМЕ. Мета** – провести ультраструктурне дослідження міокарда та мікроциркуляторного русла серця білих щурів у нормі.

**Матеріал і методи.** Матеріалом для дослідження є біоптати серця білих щурів самців масою 180–230 г. Дослідження проведено за допомогою трансмісійної електронної мікроскопії.

**Результати.** За допомогою методу трансмісійної електронної мікроскопії підтверджено, що серцевий м'яз білого щура сформований м'язовими волокнами. Будова міокарда щурів на ультраструктурному рівні відповідає будові серцевої м'язової тканини. М'язовий компонент утворений тісно пов'язаними між собою поперечносмугастими клітинами – кардіоміоцитами [2, 3]. М'язові волокна міокарда утворені одно- або двоядерними кардіоміоцитами, які на поперечному зрізі мають прямокутну форму. Скоротливі кардіоміоцити утворені пучками паралельно розташованих міофібрил, що обмежені сарколемою. Міофібрили, в свою чергу, складаються з низки саркомерів, обмежених Z-лініями, на кожен з яких припадає 2–3 мітохондрії. Кардіоміоцити з'єднуються між собою за допомогою вставних дисків. Міжклітинний простір між кардіоміоцитами заповнений пухкою сполучною тканиною з нервами та ланками мікроциркуляторного русла. У міокарді мікроциркуляторне русло представлене: артеріолами, передкапілярними артеріолами, гемокапілярами соматичного, нефенестрованого типу, закапілярними венулами та венулами. Окрім типових скоротливих кардіоміоцитів розрізняють і другий вид клітин міокарда – атипові провідні кардіоміоцити, які утворюють провідну систему серця. У передсердях та на передсердно-шлуночкової перегородці виділяються секреторні кардіоміоцити. Щілинні контакти чергуються з десмосомами та виявляються між бічними поверхнями передсердних кардіоміоцитів. Вздовж бічної поверхні м'язових клітин виявлено множинні тонкі фібрили, один кінець яких влітається в базальну мембрану кардіоміоцита, а інший – в базальну мембрану ендотеліоцита капіляра або сусіднього кардіоміоцита. У просторах між м'язовими волокнами міокарда виявлено колагенові фібрили. На поверхні кардіоміоцитів виявлено значну кількість дрібних везикул. У передсердних кардіоміоцитах є безліч мітохондрій і міофібрил. Найщільніше розташування міофібрил спостерігали на периферії кардіоміоцитів, а в центральній зоні локалізуються ядро, каналці агранулярної ендоплазматичної сітки, комплекс Гольджі, мітохондрії та секреторні гранули. Мітохондрії округлої форми з численними кристами і світлим матриксом. У просторах між мітохондріями розташовані елементи агранулярної ендоплазматичної сітки [4, 5], апарата Гольджі та численні секреторні гранули. У саркоплазмі міститься незначна кількість гранул глікогену та поодинокі ліпідні включення [6, 7].

**Висновки.** 1. Будова міокарда щурів на ультраструктурному рівні відповідає будові серцевої м'язової тканини. М'язовий компонент утворений тісно пов'язаними між собою поперечносмугастими клітинами – кардіоміоцитами. 2. М'язові волокна міокарда утворені одно- або двоядерними кардіоміоцитами, які на поперечному зрізі мають прямокутну форму. 3. Скоротливі кардіоміоцити утворені пучками паралельно розташованих міофібрил, що обмежені сарколемою. 4. Ядра переважно округлої та овальної форм, містять 1–2 ядерця і 3 різновиди хроматину у вигляді великих грудочок, оптично-щільні інтерхроматинові гранули та дрібнодисперсний хроматин.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** кардіоміоцит; міокард; мікроциркуляторне русло.

**Вступ.** Результати даних досліджень отримані автором при виконанні науково-дослідної роботи ЛНМУ імені Д. Галицького (кафедра патологічної анатомії та судової медицини) на тему: «Вивчення патоморфологічних особливостей захворювань щитоподібної залози, серцево-судинної, травної, сечовидільної та репродуктивної систем і перинатального періоду з метою удосконалення їх морфологічної діагностики» (№ державної реєстрації 0118U000100. Протокол № 7 від 15.04.2015 року).

За даними ВООЗ, ураження серцево-судинної системи є однією з визначальних проблем сучасної медицини. Серцево-судинні захворювання стають основною причиною смертності та інвалідності населення у більшості країн світу. Згідно з прогностичними даними ВООЗ, до 2030 року понад 25 млн осіб помре від цих недуг. В Європі сер-

цево-судинна патологія зумовлює близько 40 % усіх випадків смерті осіб віком менше 75 років, з яких раптова серцева смерть становить понад 60 %. Україна ж посідає одне з перших місць в Європі за показниками смертності від захворювань серцево-судинної системи (459,48 на 100 000 населення) [1].

**Мета** – провести ультраструктурне дослідження міокарда та ланок мікроциркуляторного русла серця білих щурів у нормі.

**Матеріал і методи дослідження.** Щурів утримували на стандартному харчовому раціоні віварію з вільним необмеженим доступом до води. Усіх тварин утримували в умовах віварію Львівського національного медичного університету імені Данила Галицького, експерименти проведені у відповідності з положенням Європейської конвен-

Огляди літератури, **оригінальні дослідження**, погляд на проблему, випадок з практики, короткі повідомлення

ції щодо захисту хребетних тварин, яких використовують в експериментальних та інших наукових цілях (Страсбург, 1986), Директиви Ради Європи 86/609/ЕЕС (1986), Закону України №3447-IV «Про захист тварин від жорстокого поводження». Експериментальні дослідження проведено згідно з протоколом № 7 від 29.08.2022 комісії з етики наукових досліджень, експериментальних розробок і наукових творів Львівського національного медичного університету імені Данила Галицького. Забір матеріалу для дослідження проводився під дією ефірного наркозу. Матеріалом для дослідження є біоптати серця щурів-самців масою 180–230 г. Для отримання ультратонких зрізів за допомогою леза вирізали фрагменти тканини серця щура, яку відразу ж поміщали у велику краплю 2 % розчину чотириокису осмію на 0,1 М фосфатному буфері (рН 7,36) з сахарозою. Після цього, знежиреним в ацетоні лезом, вирізали смужки тканини серця розміром 0,8×0,1×0,1 см і швидко перенесли їх в іншу краплю фіксуючого розчину цього ж складу, розміщеного на пластинці зуболікарського воску, що була розташована на льодяній плиті.

Зі смужок вирізали шматочки тканини серця кубічної форми об'ємом 1 мм<sup>3</sup>. Тканинні блоки фіксували у 2 % розчині чотириокису осмію на 0,1 М фосфатному буфері (рН 7,36) з додаванням сахарози впродовж 2 год. Після цього їх відмивали буферним розчином цього ж складу (4 свіжі порції по 15 хвилин у кожній). Для дегідратації і підготовки до просякнення водонерозчинними смолами відмиті від залишків фіксаторів тканинні блоки проводили через спирти висхідної концентрації і абсолютний ацетон. Схема проведення в розчинах етилового спирту: 40 % – три свіжі порції по 10 хвилин; 70 % – три свіжі порції по 10 хвилин; 96 % – дві свіжі порції по 20 хвилин. Схема проведення в ацетоні: ацетон марки «особливо чистий» (абсолютно чистий) – шість свіжих порції по 15 хвилин. Потім зневоднені шматочки поміщали в суміш епоксидних смол епон-аралдіт. Склад водонерозчинного заливного середовища (смоли) містить епон 812 і аралдіт : епон 812 – 5 мл, аралдіт М – 3 мл, DDSA – 11 мл, дибутилфталат 0,4 мл, ДМП-30 – 15 крапель.

Тканинні блоки поміщали в епон-аралдіт шляхом проведення через розчини смоли зростаючої концентрації (схема проведення: суміш ацетону і смоли у співвідношенні 3:1 – одна свіжа порція на дві години; суміш ацетону і смоли у співвідношенні 1:1 – одна свіжа порція на дві години; суміш ацетону і смоли у співвідношенні 3:1 – одна свіжа порція на дві години; чиста смола – одна свіжа порція на дванадцять годин при кімнатній температурі). Для кращого просякнення матеріал разом із сумішшю смола – ацетон ставили у гнізда центрифуги з 10 обертами на хвилину. Потім блоки тканин по-

міщали шляхом самовтоплення в епон-аралдіт, що знаходився в гліцеринових капсулах.

Полімеризацію матеріалу проводили поетапно при температурі 36, 45, 60 °С впродовж 24 годин при кожному температурному режимі. Ультратонкі зрізи готували на ультратримікромомі УМТП-3М за допомогою скляних ножів, виготовлених на приладі ССН-1. Для дослідження відбирали зрізи сріблястого або ніжно-лимонного кольору. Зрізи контрастували спочатку в 2 % розчині уранілацетату, а потім – цитрату свинцю. Вивчення і фотографування матеріалу проводили за допомогою мікроскопа УЕМВ-100К (Україна) при прискорювальній напрузі 75 кВ і збільшеннях на екрані мікроскопа ААА 4000 – 12000.

**Результати й обговорення.** При ультраструктурному дослідженні міокарда білого щура в нормі встановлено, що тканина міокарда є посмугованою. Кардіоміоцити видовженої циліндричної форми, на поперечному зрізі прямокутної форми. Ця особливість зумовлена паралельними пучками міофібрил. Сарколема оточує кардіоміоцити, створюючи своєрідний футляр. Міофібрили складаються з саркомерів, що обмежені Z-лініями. Довжина міофібрил залежить від кількості саркомерів, які їх утворювали. Міофібрили займають близько 65 % площі кардіоміоцита (рис. 1).

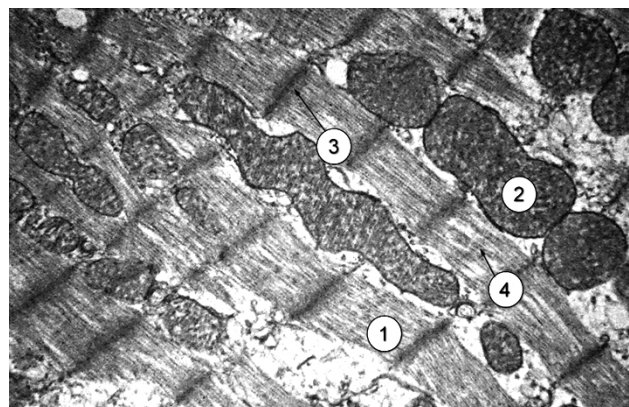


Рис. 1. Ділянка кардіоміоцита серця білого щура в нормі. Електронна мікрофотографія. 36. × 10 000.

Позначення: 1 – саркомер; 2 – мітохондрія; 3 – Z-лінія; 4 – M-лінія.

Кардіоміоцити передсердь мають добре розвинену гранулярну ендоплазматичну сітку. Канали ендоплазматичної сітки чітко прослідковуються між Z-лініями сусідніх саркомерів, виразний комплекс Гольджі. Спостерігається незначна кількість мітохондрій та міофібрил. Міофіламенти з'єднують між собою саркомери та Z-лінії. Дана особливість обумовлює дугоподібний вигляд сарколеми.

Кардіоміоцити шлуночків містять велику кількість саркоплазми, в якій розміщується велика кількість мітохондрій і незначна кількість міофібрил. У парануклеарному просторі виявлено



Огляди літератури, **оригінальні дослідження**, погляд на проблему, випадок з практики, короткі повідомлення товстий шар саркоплазми. У саркоплазматичних цистернах кардіоміоцита візуалізується велика кількість гранул глікогену. Ядро кардіоміоцита локалізується здебільшого в центрі клітини, розміщується паралельно до поздовжньої осі міофібрил. Ядро округлої, овальної або видовженої форми із незначно вираженими інвагінаціями ядерної оболонки (рис. 2).

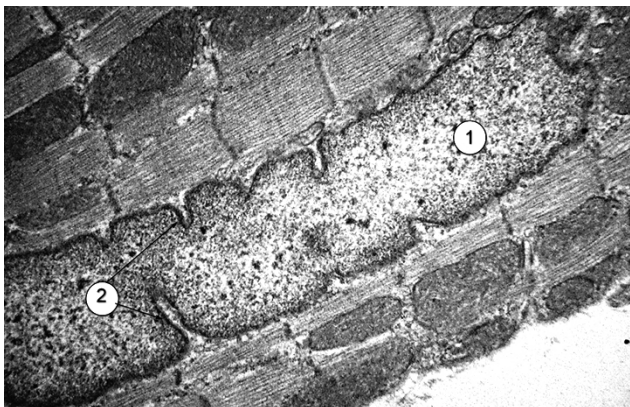


Рис. 2. Міокард шлуночка серця білого щура в нормі. Електронна мікрофотографія. 36. × 10 000.  
Позначення: 1 – ядро кардіоміоцита; 2 – ядерна оболонка з інвагінаціями.

Кінці кардіоміоцитів, що контактують, утворюють інтердигітації (пальцеподібні випинання і заглиблення). Кардіоміоцити з'єднуються між собою, утворюючи вставні диски, які чітко візуалізуються у вигляді темних смужок, що розташовані впоперек волокна. Вставні диски щільні, впорядковані, охоплювали все волокно по ширині. Особливістю вставного диска міокарда, як передсердь так і шлуночків, є його східчастість. У поперечних ділянках вставного диска розрізняємо два типи міжклітинних контактів: десмосомні та адгезивні контакти. На бічній поверхні кардіоміоцити формують множинні контакти – нексуси (рис. 3).

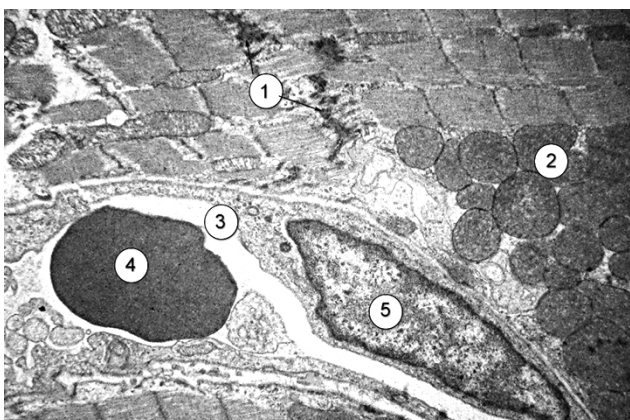


Рис. 3. Ділянка міокарда серця білого щура в нормі. Електронна мікрофотографія. 36. × 10 000.  
Позначення: 1 – вставний диск; 2 – мітохондрія; 3 – просвіт капіляра; 4 – еритроцит у просвіті капіляра; 5 – ядро ендотеліоцита.

Кровоносні капіляри тонкостінні. Стінки утворені ендотелієм, перицитами та базальною мембраною. Уздовж поверхонь ендотеліоцитів розташовувалися піноцитозні пухирці. Ззовні до ендотеліальної клітини прилягала базальна мембрана. Ендотеліоцити з'єднуються між собою – нексусами. У просвіті деяких капілярів містяться поодинокі еритроцити. Частина капілярів має щілиноподібний просвіт, де міститься тільки плазма крові (рис. 4).

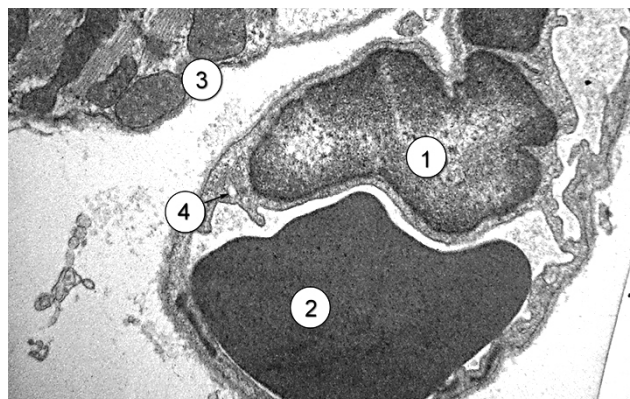


Рис. 4. Мікрокапіляр міокарда білого щура в нормі. Електронна мікрофотографія. 36. × 10 000.  
Позначення: 1 – ядро ендотеліоцита; 2 – еритроцит; 3 – мітохондрія кардіоміоцита; 4 – піноцитозний пухирець.

Кардіоміоцити передсердь, що виконують секреторну функцію ендокринного апарату серця, містять осміюфільні гранули. Секреторні передсердні кардіоміоцити містять значну кількість саркоплазми, мало міофібрил, великі мітохондрії, добре розвинений комплекс Гольджі. Секреторні гранули розташовувалися ланцюжками або скупчувалися невеликими групами в просторі між міофібрилами у ділянках комплексу Гольджі або поблизу ядра (рис. 5), інколи секреторні гранули розміщувалися і в інших частинах цитоплазми.

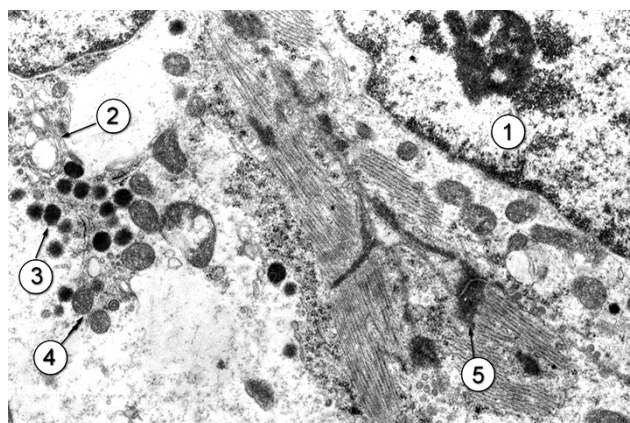


Рис. 5. Секреторні передсердні кардіоміоцити правого передсердя. Електронна мікрофотографія. 36. × 11 000.  
Позначення: 1 – ядро секреторного кардіоміоцита; 2 – комплекс Гольджі; 3 – секреторна гранула; 4 – мітохондрія; 5 – вставний диск.

Огляди літератури, **оригінальні дослідження**, погляд на проблему, випадок з практики, короткі повідомлення

**Висновки.** 1. Будова міокарда щурів на ультраструктурному рівні відповідає будові серцевої м'язової тканини. М'язовий компонент утворений тісно пов'язаними між собою поперечносмугастими клітинами – кардіоміоцитами.

2. М'язові волокна міокарда утворені одно- або двоядерними кардіоміоцитами, які на поперечному зрізі мають прямокутну форму.

3. Скоротливі кардіоміоцити утворені пучками паралельно розташованих міофібрил, що обмежені сарколемою.

4. Ядра переважно округлої та овальної форм, містять 1–2 ядерця і 3 різновиди хроматину у вигляді великих грудочок, оптично-щільні інтерхроматинові гранули та дрібнодисперсний хроматин.

**Перспективи подальших досліджень.** Матеріали наших досліджень слугуватимуть морфологічним підґрунтям для подальших експериментальних досліджень, що будуть проводитися на експериментальних тваринах (білих щурах).

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Сіренко Ю. М. Стан проблеми серцево-судинної захворюваності та смертності в Україні / Ю. М. Сіренко // Ліки України. – 2022. – № 2 (258). – С. 11–14.

2. Andries L. J. Endocardial endothelium in the rat: functional organization and permeability / L. J. Andries, D. L. Brutsaert // Cell Tissue Res. – 1994. – No. 277 (3). – P. 391–400.

3. Di Maio A. Ultrastructure of the sarcoplasmic reticulum in cardiac myocytes / A. Di Maio, B. A. Block // Cell Tissue Res. – 2008. – No. 334 (1). – P. 121–134. DOI: 10.1007/s00441-008-0669-6.

4. Pokotylo V. U. Peculiarities of myocardial ultrastructure of rats at the late terms of opioid intoxication / V. U. Pokotylo // Deutscher Wissenschaftsherold. – 2017. – No. 6. – P. 14–20.

5. Іванченко М. В. Ультраструктурна характеристика мітохондрій кардіоміоцитів у ранньому кардіогенезі щурів / М. В. Іванченко, І. В. Твердохліб // Мофрология. – 2012. – № 4 (3). – С. 19–25.

6. Мишалов В. Д. Состояние секреторного аппарата предсердных кардиомиоцитов крысы в разных участках предсердий / В. Д. Мишалов // Морфология. – 2007. – № 1 (1). – С. 92–99.

7. Шепітько В. І. Структурна організація міокарда передсердь у інтактних щурів / В. І. Шепітько, О. Д. Лисаченко, І. М. Донець // Вісник проблеми біології і медицини. – 2016. – № 2-2 (129). – С. 392–395.

#### REFERENCES

1. Sirenko, Yu.M. (2022). Stan problemy sertsevo-sudynnoyi zakhvoryuvanosti ta smertnosti v Ukraini [The state of the problem of cardiovascular morbidity and mortality in Ukraine]. *Liky Ukrainy – Medicines of Ukraine*, 2(258), 11-14 [in Ukrainian].

2. Andries, L.J., & Brutsaert, D.L. (1994). Endocardial endothelium in the rat: functional organization and permeability. *Cell Tissue Res.*, 277(3), 391-400.

3. Di Maio, A., & Block, B.A. (2008). Ultrastructure of the sarcoplasmic reticulum in cardiac myocytes. *Cell Tissue Res.*, 334(1), 121-134. DOI: 10.1007/s00441-008-0669-6.

4. Pokotylo, V.U. (2017). Peculiarities of myocardial ultrastructure of rats at the late terms of opioid intoxication. *Deutscher Wissenschaftsherold*, 6, 14-20.

5. Ivanchenko, M.V., & Tverdokhlib, I.V. (2012). Ultrastrukturna kharakterystyka mitokhondriy kardiomiotsytiv

u rannomu kardiogenezі shchuriv [Ultrastructural characteristics of cardiomyocyte mitochondria in early rat cardiogenesis]. *Morfologiya – Morphology*, 4(3), 19-25 [in Ukrainian].

6. Mishalov, V.D. (2007). Sostoyaniye sekretornogo apparata predserdykh kardiomiotsitov krysy v raznykh uchastkakh predserdiy [The state of the atrial secretory apparatus of chris cardiomyocytes in different parts of the atria]. *Morfologiya – Morphology*, 1(1), 92-99 [in Russian].

7. Shepitko, V.I., Lysachenko, O.D., & Donets, I.M. (2016). Strukturna orhanizatsiya miokardu peredserd u intaktnykh shchuriv [Structural organization of atrial myocardium in intact rats]. *Visnyk problem biologiyi i medytsyny – Bulletin of Problems of Biology and Medicine*, 2-2(129), 392-395 [in Ukrainian].

## ULTRASTRUCTURAL FEATURES OF THE STRUCTURE OF THE HEART OF A NORMAL WHITE RAT

©M. M. Shevchuk

*Danylo Halytsky Lviv National Medical University*

**SUMMARY. The aim** – to conduct an ultrastructural study of the myocardium and the microcirculatory channel of the heart of healthy white rats.

**Material and Methods.** The material for research is heart biopsies of white male rats weighing 180–230 g. The study was carried out using transmission electron microscopy.

Огляди літератури, **оригінальні дослідження**, погляд на проблему, випадок з практики, короткі повідомлення

**Results.** Using the method of transmission electron microscopy, it was confirmed that the heart muscle of a white rat is formed by muscle fibers. The structure of rat myocardium at the ultrastructural level corresponds to the structure of cardiac muscle tissue. The muscle component is formed by closely interconnected striated cells – cardiomyocytes [2,3]. Myocardial muscle fibers are formed by mono- or binucleate cardiomyocytes, which are rectangular in cross-section. Contractile cardiomyocytes are formed by bundles of parallel myofibrils bounded by the sarcolemma. Myofibrils, in turn, consist of a number of sarcomeres bounded by Z-lines, each of which has 2–3 mitochondria. Cardiomyocytes are connected to each other with the help of intercalated discs. The intercellular space between cardiomyocytes is filled with loose connective tissue with nerves and links of the microcirculatory channel. In the myocardium, the microcirculatory channel is represented by: arterioles, precapillary arterioles, hemocapillaries of the somatic, unfenestrated type, postcapillary venules and venules. In addition to typical contractile cardiomyocytes, a second type of myocardial cells is also distinguished - atypical conducting cardiomyocytes, which form the conducting system of the heart. Secretory cardiomyocytes are secreted in the atria and on the atrioventricular septum. Gap junctions alternate with desmosomes and are found between the lateral surfaces of atrial cardiomyocytes. Multiple thin fibrils were found along the lateral surface of muscle cells, one end of which is woven into the basal membrane of a cardiomyocyte, and the other into the basal membrane of an endotheliocyte of a capillary or a neighboring cardiomyocyte. Collagen fibrils were found in the spaces between the muscle fibers of the myocardium. A significant number of small vesicles was found on the surface of cardiomyocytes. Atrial cardiomyocytes have many mitochondria and myofibrils. The most dense arrangement of myofibrils was observed on the periphery of cardiomyocytes, while the nucleus, tubules of the agranular endoplasmic reticulum, Golgi complex, mitochondria and secretory granules are located in the central zone. Mitochondria are round in shape with numerous cristae and a light matrix. Elements of the agranular endoplasmic reticulum [4,5], the Golgi apparatus, and numerous secretory granules are located in the spaces between mitochondria. The sarcoplasm contains a small amount of glycogen granules and single lipid inclusions [6,7].

**Conclusions.** 1. The structure of rat myocardium at the ultrastructural level have a similar structure of cardiac muscle tissue. The muscle component is formed by closely interconnected striated cells – cardiomyocytes. 2. Myocardial muscle fibers are formed by uni- or binucleate cardiomyocytes. 3. Contractile cardiomyocytes are formed by bundles of parallel myofibrils bounded by the sarcolemma. 4. The nuclei are mostly round and oval in shape, contain 1–2 nucleoli and 3 types of chromatin in the form of large granules, optically dense interchromatin granules and finely dispersed chromatin.

**KEY WORDS:** cardiomyocyte; myocardium; microcirculatory vassels.

Отримано 02.11.2022

Електронна адреса для листування: mykolashvchuk1973@gmail.com