

Г.Є. Загоруйко ¹
В.П. Марциновський ¹
В.Л. Філатова ²
Т.М. Матвієнко ²
О.В. Філатова ²
О.Д. Саргош ²

¹ Рівненський державний гуманітарний університет

² Полтавський державний медичний університет
Рівне, Полтава, Україна

Надійшла: 12.08.2025

Прийнята: 03.09.2025

DOI: <https://doi.org/10.26641/1997-9665.2025.3.80-90>

УДК 616.16:616.12:57.

ЗМІНИ УЛЬТРАСТРУКТУРИ СЕРЦЕ- ВИХ ТЕЛОЦИТІВ В ПРОЦЕСІ РАН- НЬОГО ПОСТНАТАЛЬНОГО РОЗВИ- ТКУ МІОКАРДА ЩУРІВ ВІСТАР

Zagoruiko G.E. , Martsinovsky V.P. , Filatova V.L. , Matvienko T.M. , Filatova O.V. , Sargosh O.D.  Changes in the ultrastructure of cardiac telocytes during early postnatal development of the myocardium of Wistar rats.

Rivne State Humanitarian University, Rivne; Poltava State Medical University, Poltava, Ukraine.

ABSTRACT. Relevance. In 2010, the term "telocyte" was introduced into foreign scientific morphological literature to describe a new type of cell that is part of the connective tissue component of various organs of mammals and humans. Telocytes were found not only in the stromal component of the myocardium of the ventricles and atria, but also in the wall of arterial and venous vessels of the heart of various representatives of mammals and humans. A characteristic feature of the morphology of telocytes, which distinguishes them from other types of cells of vertebrates, is the presence of numerous thin wavy-shaped processes, the length of some of which can exceed 100 microns. Modern morphological studies indicate that the processes of telocytes - telopodia, form homocellular and heterocellular contacts with telocytes and other cells of organs, respectively. Thus, telopodia of telocytes directly contact cardiomyocytes, pericytes, fibroblasts, endothelial cells of blood capillaries, smooth muscle cells of arterioles and venules and nerve endings. It has been established that in the process of contact interaction, signaling molecules are transferred from telopodia of telocytes to other cells. Therefore, the study of telocytes is of great importance for determining the role of these cells in the morphogenesis of cardiac muscle in the process of postnatal development of mammals and humans. **Goal.** To investigate the features of the ultrastructure and determine changes in cardiac telocytes during early postnatal development of Wistar rats. **Methods.** Electron microscopic examination of the left ventricular myocardium of late embryos and Wistar rats aged from birth to 45 days of postnatal development was performed. **Results and summary.** It has been established that single cardiac telocytes "accompany" cardiomyocytes of the left ventricular myocardium in 20-day-old rat embryos. In the myocardium of newborn rats, optically dark and light telocytes with thin long sinuous processes are detected, in which local expansions (podomere) and thin short and long podomeres are detected. On the 10th day after the birth of rats, an increase in the number of postmitotic young cardiac telocytes, which have a triangular and rhombic shape, is determined in the myocardium. The peripheral parts of the body of these telocytes end in thin short slightly sinuous dichotomously branched processes. In the myocardium of 15-day-old rats, the number and length of sinuous processes of telocytes significantly increase. In the time interval (20 - 45) days, the content of cardiac telocytes in the rat myocardium gradually decreases. Thin podomeres form homocellular and heterocellular contacts, which suggests the influence of cardiac telocytes on the morpho-functional state of cardiomyocytes and cells of the stromal-vascular component of the myocardium.

Key words: ultrastructure of telocytes, myocardium, Wistar rats.

Zagoruiko GE, Martsinovsky VP, Filatova VL, Matvienko TM, Filatova OV, Sargosh OD. [Changes in the ultrastructure of cardiac telocytes during early postnatal development of the myocardium of Wistar rats]. Morphologia. 2025;19(3):80-90. Ukrainian.

DOI: <https://doi.org/10.26641/1997-9665.2025.3.80-90>

 Zagoruiko G.E. 0001-0001-0016-0462;  Martsinovsky V.P. 0002-0002-0010-0946;

 Filatova V.L. 0003-0003-0014-0256;  Matvienko T.M. 0004-6004-0168-0062;

 Filatova O.V. 0005-0005-0011-0082;  Sargosh O.D. 0000-7000-7002-0773

✉ prof.zagoruykoGE@gmail.com

© Dnipro State Medical University, «Morphologia»

Вступ

Початок ХХІ століття ознаменувався відкриттям у складі стромально-судинного комплексу різних органів ссавців нового типу клітин – *телоцитів* [1, 2]. Це відкриття було зроблено групою біологів та патологів з Румунії на чолі із проф. Попеску Л.М. [3]. П'ятнадцять років тому термін «телоцит» був введений у наукову морфологічну літературу для опису нового типу клітин, що входять до сполучнотканинного компонента різних органів ссавців та людини [4, 5]. Новий тип інтерстиціальних клітин – телоцити (ТЦ) був виявлений не тільки у стромальному компоненті міокарду шлуночків та передсердь, але й у стінці аорти, артеріальних, венозних судин серця різних представників ссавців та людини [4-6]. ТЦ оточують артеріоли, венули та кровоносні капіляри [2 - 4]. Кілька років тому ТЦ були виявлені у серці деяких земноводних тварин [7, 8] та у серці ембріонального курчата [9]. Характерною особливістю морфології ТЦ, що відрізняє їх від інших типів клітин хребетних тварин, є наявність численних тонких хвилястої форми відростків, довжина деяких може перевищувати 100 мкм. Відростки ТЦ «супроводжують» усі структурні компоненти міокарда — кардіоміоцити (КМЦ), кровоносні судини, нервові волокна. Сучасні морфологічні дослідження ТЦ ґрунтуються на візуалізації їх ультраструктури за допомогою трансмісійної та растрової електронної мікроскопії [10, 11]. Численні електронно-мікроскопічні дослідження ультратонких зрізів міокарда та методи електронно-мікроскопічної томографії дозволили іноземним вченим встановити особливості ультраструктури та реконструювати тривимірний обсяг ТЦ міокарда шлуночків, передсердь людини та деяких лабораторних тварин. 3D-реконструкція культивованих серцевих ТЦ свідчить, що ці клітини мають подовжене тіло (9 – 15 мкм), ядерно-цитоплазматичне відношення (за винятком відростків) приблизно (1:1) та числені різної довжини звивисті відростки [12]. Дослідження *in vitro* змішаних клітинних культур (наприклад, телоцити + фібробласти) показали, що форма культивованих серцевих ТЦ подібна до форми «восьминога» або «морської зірки» [13]. У будові культивованих ТЦ бачать три основні клітинні компартменти: *тіло* клітини - (ядро + цитоплазма навколо нього), подовжені звивисті відростки – *телоподії* та складна мережа розгалужених телоподій, що формує тривимірну мережу. На даний час досліджуються функції просторової мережи телопод [14]. Електронно-мікроскопічні препарати міокарда ссавців свідчать про те, що деякі довгі телоподії мають на всьому протязі тонкі та локально розширені ділянки. Тонкі ділянки отримали назву *подомери*, а локальні розширені ділянки – *подоми* [9, 10]. Досить часто у подомах містяться поодинокі дрібні мітохондрії, елементи гранулярної ендоплазматичної сітки. Телоподії, в

яких подомери чергуються з подомами, виглядають як «нитки намиста» і отримали назву «моніліформні» від латинського терміна *moniliform*. У електронно-мікроскопічних дослідженнях було переконливо доведено, що телоподії між собою та з тілом ТЦ утворюють *гомоклітинні*, а з іншими клітинами органів відповідно *гетероклітинні* контакти [15]. Отже, телоподії ТЦ контактують з КМЦ, фібробластами, ендотеліоцитами кровоносних капілярів, перицитами, гладком'язовими клітинами артеріол і венул та нервовими закінченнями. Проведені дослідження свідчать про те, що складна просторова мережа телоподій ТЦ за допомогою *гомоклітинних* та *гетероклітинних* контактів скріплює між собою клітини стромально-судинного та паренхіматозного компонентів міокарда ссавців. Встановлено, що у процесі контактної взаємодії відбувається передача сигнальних молекул від телоподій ТЦ до інших клітин. Крім прямих (фізичних) контактів між телоподіями ТЦ і сусідніми клітинами, ТЦ утворюють і секретують позаклітинні (інтерстиціальні) везикули які класифікують за розміром та механізмами біогенезу. Виявлено три типа позаклітинних везикул. *Апоптотичні* тільця - містять продукти розпаду клітин. *Екзосоми* – везикули, що відкріплені від телоподій і вільно розташовані в інтерстиції. Великі за розміром пухирці, що містять багато дрібних везикул отримали назву *мільтивезикулярні* кластери. Везикули, що прикріплені до телоподій отримали назву *ектосоми*. За даними [16], *екзосоми* та *ектосоми* беруть участь у *паракринній* сигналізації між серцевими ТЦ та КМЦ. Отже, серцеві ТЦ приймають активну участь у модуляції множинних сигнальних шляхів у міокарді ссавців. За останнє десятиліття всередині позаклітинних везикул виявлено мРНК, мікроРНК, довгу некодуючу РНК та іноді геномну ДНК. Це свідчить про те, що ТЦ за допомогою позаклітинних везикул спроможні транспортувати сигнальні інформаційні молекули, які потрапляють в цитоплазму, а потім в ядро та модулюють транскрипційну активність генів ефektorних клітин [17, 18]. У роботі [19] досліджено ультраструктуру серцевих ТЦ новонароджених, дітей віком (6 – 17) років, людей віком 34-60 років. У роботі [20] визначали динаміку будови ТЦ міокарда 4-, 6- та 12-місячних мишей C57BL/6. За даними [15] в процесі пізнього постнатального розвитку щурів, в інтервалі часу від 3 місяців до 1 року, відбувається поступове зменшення кількості серцевих ТЦ у міокарді передсердь та шлуночків. Отже, незважаючи на активне дослідження структурно-функціональних властивостей ТЦ *in vivo* та *in vitro*, зміни цих клітин під час пренатального та раннього постнатального онтогенезу ссавців і людини поодинокі.

Метою роботи було електронно-мікроскопічне дослідження постнатального розвитку серцевих ТЦ у міокарді лівого шлуночку серця щурів

віком від новонародження до 45 діб.

Матеріали та методи

Проведено аналіз серій зображень ультраструктури міокарда лівого шлуночка пізніх ембріонів та щурів Вістар у віці від народження (н/р) до 45 діб постнатального розвитку. Щури з розплідника НДІ біології при біологічному факультеті ХНУ ім. В.Н. Каразіна (м. Харків) утримувалися в стандартних умовах віварію. Усі дослідження проведено з дотриманням основних положень GCP (1996), Конвенції Ради Європи про права людини та біомедицину (від 04.04.1997), Гельсінської декларації Всесвітньої медичної асоціації про етичні принципи проведення наукових медичних досліджень за участю людини (1964-2013), наказів МОЗ України № 690 від 23.09.2009, № 616 від 03.08.2012 і «Порядку вилучення біологічних об'єктів від померлих, тіла яких підлягають судово-медичній експертизі і патологоанатомічному дослідженню, для наукових цілей», вимог гуманного ставлення до піддослідних тварин, регламентованих Законом України «Про захист тварин від жорстокого поводження» (№ 3447-IV від 21.02.2006 р.) та Європейською конвенцією про захист хребетних тварин, які використовуються для дослідних та інших наукових цілей (Страсбург, 18.03.1986 р.) [21, 22]. Виведення тварин з досліду проводили шляхом передозування ефірного наркозу. У щурів розкривали черевну порожнину, видаляли серце, яке поміщали у фільтрі на

лід для зупинки серцевих скорочень. Видаляли лівий шлуночок, розрізали його лезом на дрібні шматочки і фіксували у 2,5 % розчині глутаральдегіду, який приготовлений на основі фосфатного буферу із рН середовищем 7,2–7,4. Постфіксацію шматочків лівого шлуночку здійснювали у 1% розчині тетраокису осмію. Опісля проводили дегідратацію шматочків у пропіленоксиді та заливали у суміш епоксидних смол. Ультратонкі зрізи, виготовлені на ультрамікромомі УМТП-6, контрастували ураніацетатом та цитратом свинцю відповідно до методу Рейнольдса і вивчали в електронному мікроскопі ЕМВ-100 Л [23]. В кожній віковій групі (20-ти добові ембріони, новонароджені, 5-, 10-, 15-, 35-, 45-ти добові щури) було проаналізовано по 50 електронограм зображень міокарда лівого шлуночка серця, одержаних при збільшенні 2000^x електронного мікроскопа ЕМВ-100Л. Це дало можливість дослідити ультраструктуру серцевого м'яза тварин в кожній віковій групі на площі ≈ 55000 мкм². Для ілюстрації окремих зображень серцевих телоцитів та їх відростків фотографували ультратонкі зрізи міокарда щурів при збільшенні електронного мікроскопа в інтервалі від 5000^x до 10000^x.

Результати та їх обговорення

У результаті проведених досліджень міокарда лівого шлуночка 20-ти добових ембріонів щурів виявлено серцеві ТЦ, що супроводжують КМЦ (рис. 1).

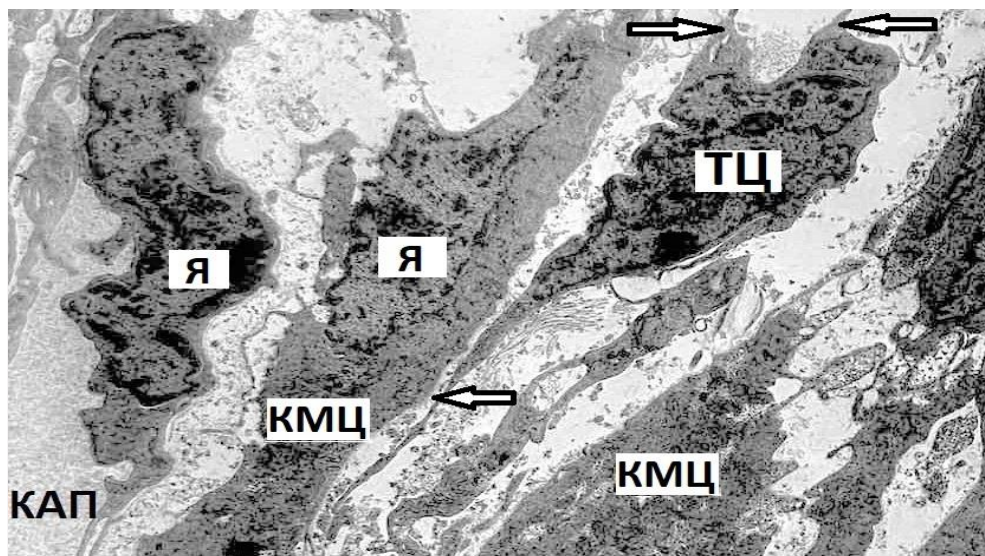


Рис. 1. Телоцит у міокарді лівого шлуночка 20 –ти добового ембріона щура. Позначення: КАП – капіляр; КМЦ – кардіоміоцит; ТЦ – телоцит; (⇐) – відростки телоцита; Я – ядро клітин. $\times 7000$.

На представлений електронограмі оптично світлий ТЦ розташований вздовж бічної поверхні ембріонального КМЦ. Він має видовжену конусоподібну форму та містить три різновеликі відростки - *телоподи*, що спрямовані у протилежних напрямках від тіла клітини. Тонка довга телопода відходить від вузького кінця тіла ТЦ та дві інші

короткі товсті телоподи виявляються на протилежному розширеному кінці тіла клітини. Вузький кінець ядра ТЦ спрямований в основу тонкої довгої телоподи. Ядро ТЦ оточене тонким шаром цитоплазми. Розмір площі зрізу ядра ТЦ практично не відрізняється від площі ядра ембріонального КМЦ. Це дозволяє припустити, що обсяг ядра ТЦ

мало відрізняється від обсягу ядра КМЦ. Під прямим кутом від звуженої частини тіла ТЦ відходить вигнутий короткий тонкий відросток, який утворює контакт з товстим довгим подомом (Пд) серцевого ТЦ. Вздовж тонкої довгої подомери виявляються скупчення колагенових волокон. На протилежному розширеному кінці тіла ТЦ між двома короткими товстими телоподами також ви-

значаються пучки колагенових фібрил. Міжклітинний матрикс ембріонального міокарда просвітлений, містить мікровезикули, дрібнодисперсні ультраструктури різного походження та короткі різноспрямовані фібрили.

У міокарді лівого шлуночка **новонароджених** шурів виявляються *оптично темні* дегідратовані серцеві ТЦ та КМЦ (рис. 2).

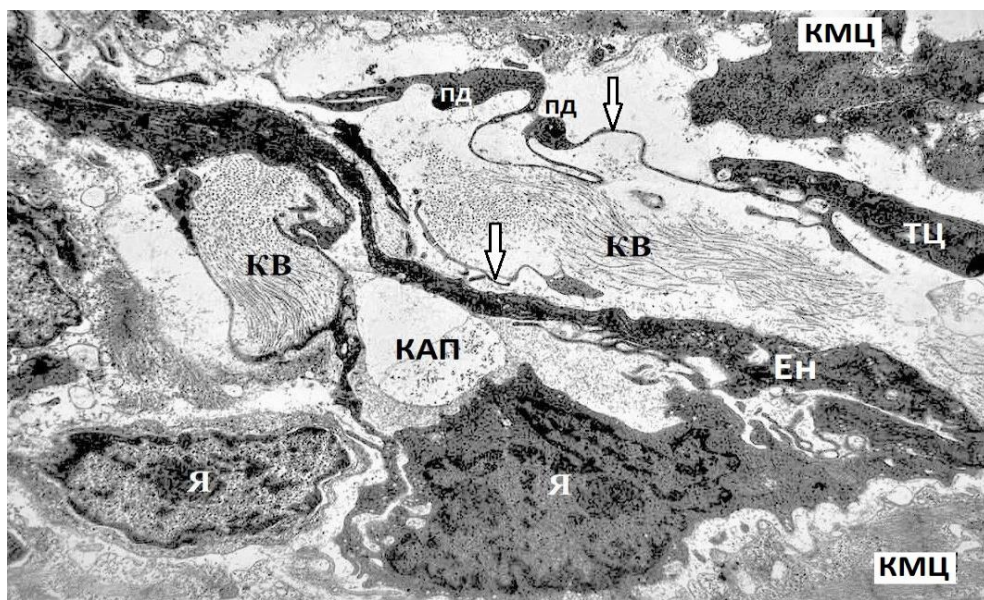


Рис. 2. Стромально – судинний компонент міокарда новонародженого щура. Позначення: Кап – капіляр; КМЦ – кардіоміоцит; КВ – колагенові фібрили; ПД – подома; ТЦ – телоцит; (⇐) – відростки телоцита – подомери. ×5000.

На представлений електронограмі тіло темного дегідратованого ТЦ має довгасту форму. Вздовж його бічної поверхні розташована довга звивиста тонка телопода, яка на одному кінці утворює дихотомічне розгалуження. На протилежному кінці довгої тонкої телоподи розташовані дві великі подоми (Пд) - локальні розширення округлої форми. Кінцева ділянка цієї тонкої телоподи утворює *гетероклітинний* контакт з сарколемою поряд розташованого світлого КМЦ. Перша і друга Пд з'єднані двома подомерами (коротким та довгим), які утворюють замкнутий контур – петлю. На кінці окремих тонких подомерів виявляються локальні оптично темні розширення у формі «наконечника стріли». Імовірно, така форма кінцевої частини подомера виконує функцію спрямування руху відростка ТЦ серед пучків колагенових волокон до іншої клітини та утворення на її поверхні гетероклітинного контакту або кріплення. Нижня частина тіла ТЦ має форму прямого кута до якого кріпиться набрякла світла *ектосома*, що містить числені мультивезикули. Ця світла ектосома оточена великою кількістю колагенових волокон. Мембрана ектосоми утворює фізичні контакти з колагеновими фібрилами. Верхня звужена частина ТЦ має довгу тонку звиту подомеру. Вздовж бічної поверхні темного ендотеліоцита (ЕН) виявляється довга звита подомера,

розширений кінець якої має форму «наконечника стріли». Ця подомера утворює локальний фізичний контакт типу «подомера ⇐ ендотеліоцит». Від розширеного кінця телоподи відходить короткий відросток, який містить маленьку ектосому.

На рис. 3 представлена електронограма міокарда *новонародженого* щура, що містить світлі функціонально активні кардіоміоцитами.

У міжклітинному просторі паралельно КМЦ розташовані ТЦ та його відростки. Від середини верхньої бічної поверхні тіла ТЦ відходить короткий тонкий відросток, який утворює *гетероклітинний* контакт з вигнутою ділянкою сарколеми КМЦ (↑). Перед першим вигином *нижньої* телоподи виявляється коротка товста Пд, що утворює фізичний контакт зі світлою довгастою ектосомою, всередині якої виявляється кілька світлих пухирців. Ектосоми, що містять дрібні світлі везикули, отримали назву мультивезикулярні тільця [15]. *Верхня* телопода ТЦ має форму змійки і локалізується біля КМЦ. Її дистальний кінець контактує з сарколемою КМЦ. Тіло ТЦ та його Пд нерівномірно просвітлені, що свідчить про помірно активні метаболічні процеси в цитоплазмі ТЦ.

У стромальному компоненті міокарда **5-ти добових** шурів зростає кількість оптично світлих функціонуючих серцевих ТЦ, які мають збіль-

шені розміри тіла і численні розгалужені відростки (рис. 4). На поданій електроннограмі велике

ядро ТЦ має довгасту форму, містить велику кількість дрібнодисперсного хроматину.

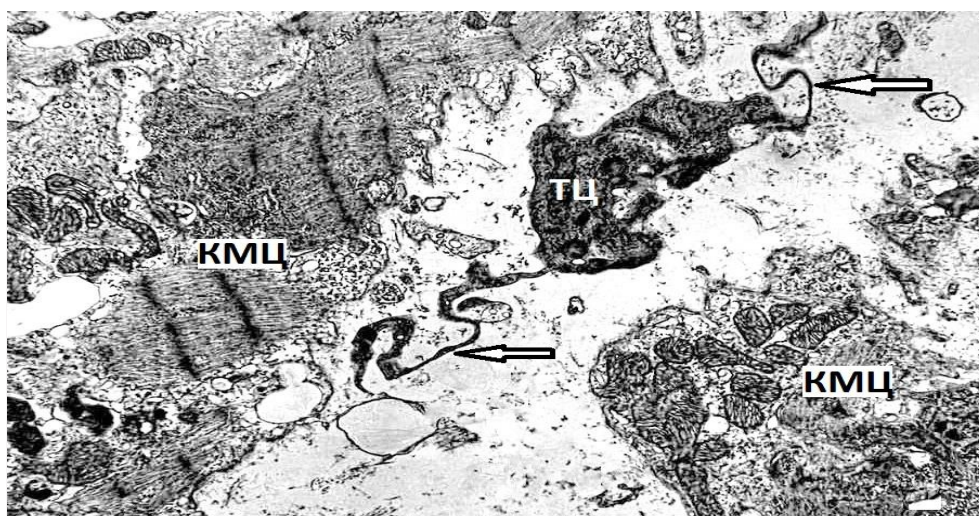


Рис. 3. Телоцит у стромальному компоненті міокарда лівого шлуночку серця *новонародженого* щура. Позначення: КМЦ – кардіоміоцит; ТЦ – телоцит; (↔) – телоподи. ×7000.

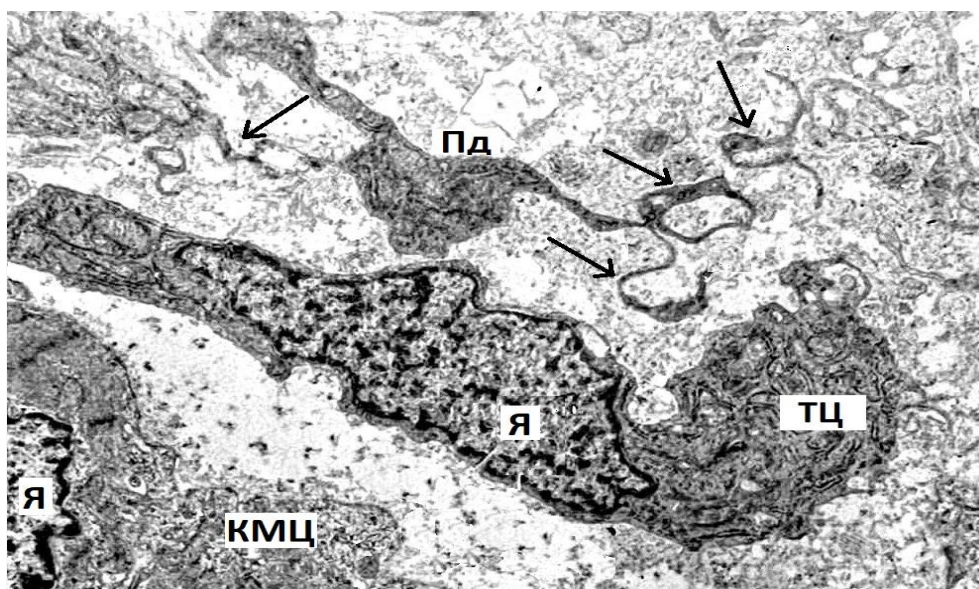


Рис. 4. Телоцит в стромі міокарда лівого шлуночку 5-ти добового щура. Позначення: КМЦ кардіоміоцит; Пд – подома; ТЦ – телоцит; (→) – відростки телоцита; Я – ядро телоцита і кардіоміоцита. ×8000.

Невеликі глибини гетерохроматину дифузно розташовані в об'ємі ядра та у вигляді тонкого шару локалізовані вздовж бічної поверхні внутрішньої ядерної мембрани. У ядерній оболонці виявляються пори. По обидва боки витягнутого ядра у периферійних ділянках цитоплазми ТЦ виявляються різні за функціями численні органели. У *центральної* зоні електроннограми розташована велика Пд телоцита, що містить елементи гранулярної ендоплазматичної сітки. Окремі канальця ендоплазматичної сітки виявляються всередині інших невеликих за розміром Пд. *Ліворуч* вгорі електроннограми, визначається периферична ділянка цитоплазми ТЦ, яка за допомогою короткого

відростка з набряклою ектосомою контактує з великою Пд. *Праворуч* від великого Пд відходить зигзагоподібної форми тонка подомера, яка контактує з кільцеподібною подомерою. В інтерстиції міокарда виявляються численні відростки ТЦ різної форми та довжини. Отже, у міокарді 5-ти добових щурів визначається збільшення обсягу тіла та ядра ТЦ. У цитоплазмі збільшується вміст різних за функціями органел та протяжність відростків ТЦ.

У міокарді **10-ти** добових щурів виявляються малодиференційовані серцеві ТЦ, які розташовані близько один від одного (рис. 5).

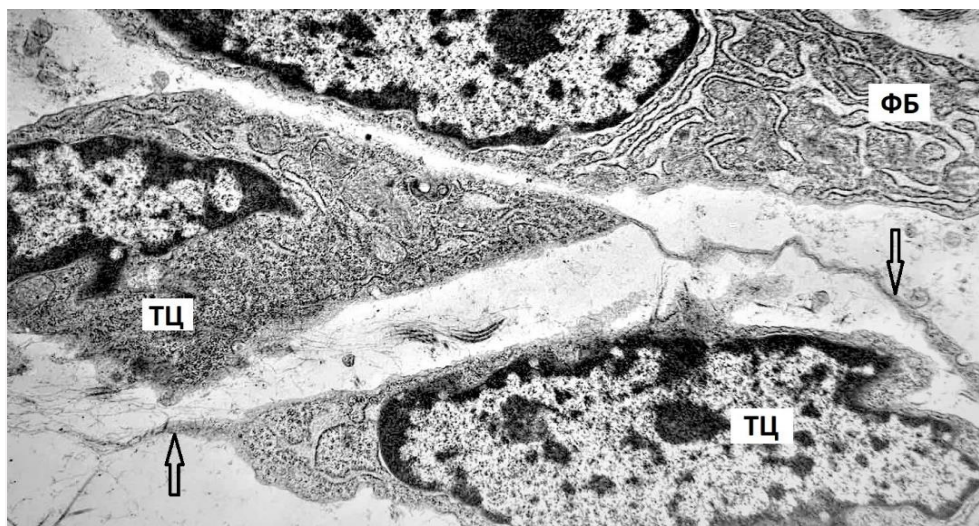


Рис. 5. Молоді постмітотичні телоцити в стромі міокарда 10-ти добового щура. Позначення: ТЦ – телоцит; ФБ – фібробласт; (↑) – телоподи. ×10000.

Це дозволяє припустити, що ТЦ утворилися в процесі мітотичного поділу. Зрізи малодиференційованих ТЦ мають трикутну або ромбічну форми. У цитоплазмі молодих ТЦ виявляються численні елементи гранулярної ендоплазматичної сітки, поодинокі маленькі мітохондрії та дифузно розташовані гранули глікогену. Конусоподібне звуження периферичної ділянки тіла кожного молодого ТЦ закінчується тонким злегка звивистим відростком. Тонка коротка телопода нижньої клітини утворює дихотомічне розгалуження, що характерно тільки для ТЦ [1, 2, 4, 5]. У середині електроннограми розташован ТЦ, що має тонку злегка викривлену телоподу, яка поступово товщає. Трикутна і ромбічна форми тіла постмітотичних

ТЦ та наявність одиничних тонких коротких відростків свідчать про те, що клітини знаходяться ще у стані відносної нерухомості. Цитоплазма малорухомих ТЦ суттєво «насичена» різними органелами. Це свідчить про наявність великого потенціалу біосинтетичних процесів, які будуть використані для подальшої диференціації та спеціалізації молодих ТЦ. Поруч із малодиференційованими ТЦ виявляється фібробласт. Насиченість його цитоплазми органелами (особливо протяжними елементами гранулярної ендоплазматичної сітки) та великий розмір ядра свідчать про можливу активацію біосинтетичних процесів у цитоплазмі стромального фібробласта.

На рис. 6 представлена електроннограма міокарда 10-ти добового щура.

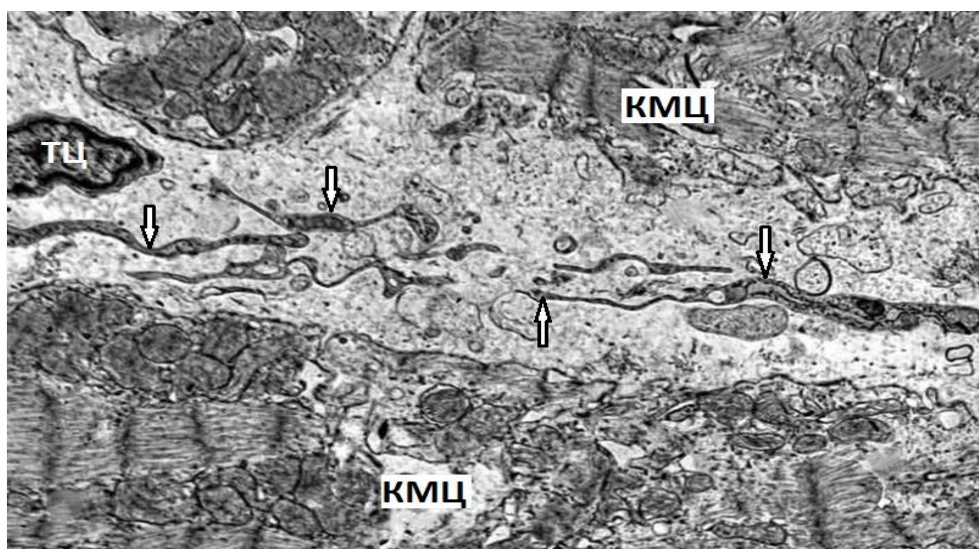


Рис. 6. Ультраструктура міокарда 10-ти добового щура. Позначення: КМЦ – кардіоміоцит; ТЦ – телоцит; (↑) – відростки ТЦ у стромі міокарда. ×8000.

Привертає увагу насиченість інтерстиціального простору міокарда численними відростками ТЦ. Уздовж бічної поверхні КМЦ виявляються короткі зрізи звивистих подомерів, світлі везикули різної форми та розмірів. У *правій* частині електронограми розташована широка подовжена оптично темна Пд, що містить елементи гранулярного ретикулума та дрібні мітохондрії. З оптично темною Пд контактує тонка подомера у формі кільця, яка утворює контакт з великою везикулою складної форми, що розташована біля КМЦ. Є підстава припустити, що цей ланцюжок світлих везикул з'єднує широку подовжену Пд із сарколемою верхнього КМЦ. Великі світлі везикули утворюють фізичні контакти з подомерами.

Міжклітинний простір містить численні мікровезикули та короткі мікрофібрили. У *лівій* частині електронограми розташована довга темна теломера, що одночасно контактує з двома Пд різної форми. У *центральної* частині електроно-

грами визначається складний замкнутий структурний комплекс взаємопов'язаних Пд та подомерів. У середині цього замкнутого комплексу відростків ТЦ виявляється декілько світлих везикул. Велика за розміром везикула утворює одночасно контакти з протилежно розташованими Пд та подомерою. Виходячи з даних фахової літератури [10, 15, 16], цілком можливо, що у замкнутому контурі відростків ТЦ циркулюють різні за функціональними властивостями і походженням сигнальні молекули, що володіють можливостями впливати на морфо-функціональний стан клітин паренхіматозного і стромально-судинного компонентів конкретного регіону міокарда тварин.

На рис. 7 представлена електронограма іншої ділянки міокарда **10-ти** добового щура. Вона суттєво відрізняється від електронограми, що представлена на рис. 6. У міжклітинному просторі міокарда виявляються численні звивисті, довгі, оптично світлі та одиничні темні телоподи.

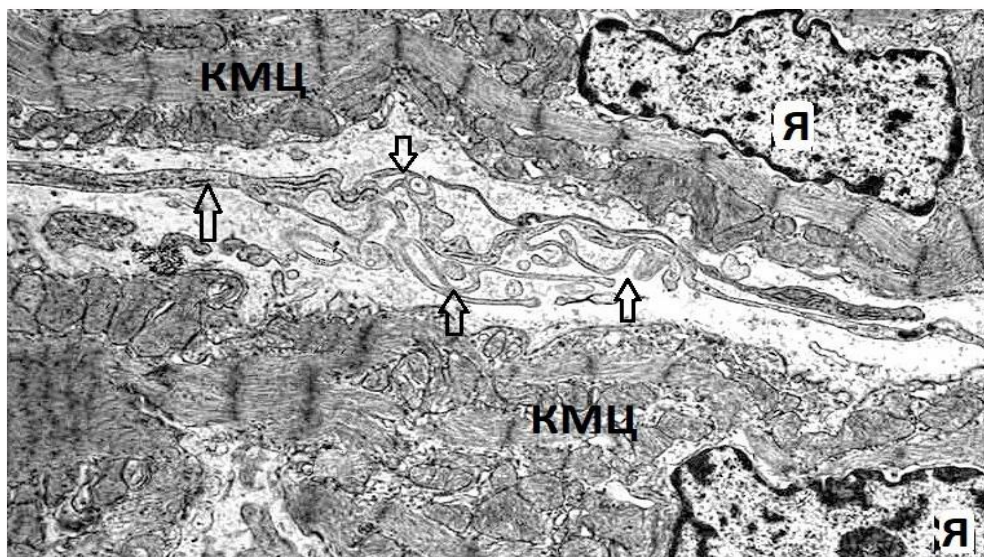


Рис. 7. Ультраструктура міокарда 10-ти добового щура. Позначення: КМЦ – кардіоміоцит; Я – ядро кардіоміоцита; (↔) – відростки телоцитів. $\times 10000$.

У *центральної* частині електронограми виявляється локальне скупчення світлих теломерів, які утворюють *точкові* фізичні контакти «телопода ↔ телопода» та «подомера ↔ подомера». У центрі скупчення телоподій розташована світла нерівномірної ширини Пд, що утворює протяжний глибокий вигин. З одного боку ця Пд контактує з оптично темною тонкою довгою подомерою, з іншого – зі світлою подомерою. В скупченні теломерів світлі подомери утворюють петлі, кільця, змійки тощо. Суттєве збільшення довжини оптично світлих телопод свідчить про активні біосинтетичні процеси у цитоплазмі ТЦ, що призводять до суттєвого подовження існуючих відростків клітин та утворення нових різних за формами звивистих телопод. Деякі телоподи закінчуються екзосомами. В інтерстиції з'являються відокремлені

від телопод дрібні везикули – екзосоми. За даними [15] екзосоми містять різні за структурою і функціями хімічні речовини, що беруть участь у паракринній сигналізації у серцевому м'язі ссавців та людини. *Ліворуч* широка та протяжна світла Пд дихотомічно гілкується і містить численні елементи гранулярної ендоплазматичної сітки. Наявність інтерстиціальних екзосом, утворення точкових *гомолітинних* та *гетеролітинних* контактів свідчить про можливий інтенсивний обмін «сигнальними» молекулами між стромальними клітинами різного функціонального призначення та кардіоміоцитами.

На рис. 8 представлена електронограма міокарда **15-ти** добового щура.

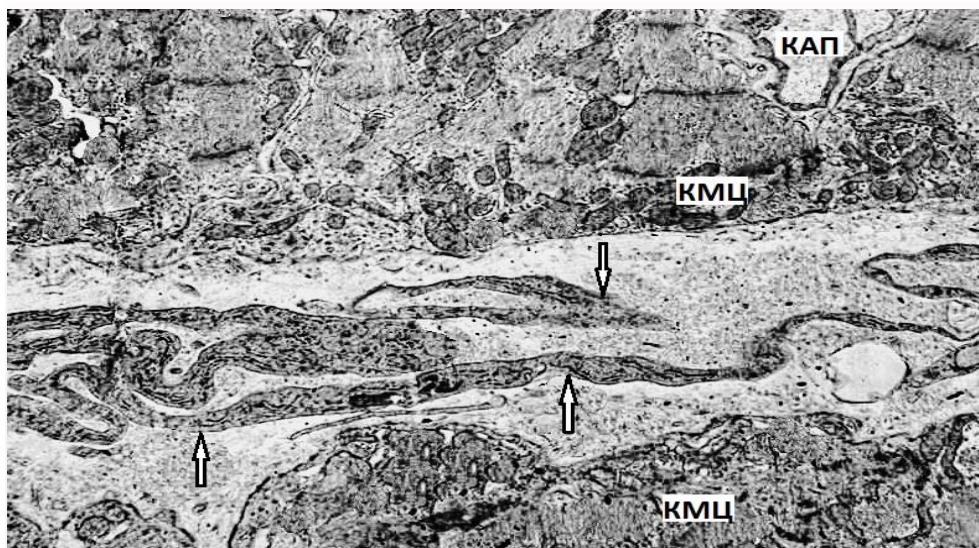


Рис. 8. Ультраструктура міокарда 15-ти добового щура. Позначення: КАП – капіляр; КМЦ – кардіоміоцит; (↑) - відростки телочитів. ×6000.

Нами встановлено, що у цей період часу в інтерстиції міокарда збільшуються вміст, розміри, товщина та протяжність відростків ТЦ, виявляються численні контакти між рядом розташованими теломерами. Всередині довгих телопод, що розташовані на значній відстані від тіла ТЦ, виявляються елементи гранулярної ендоплазматичної мережі, гранули глікогену та дрібні мітохондрії. Виходячи з даних літератури [15 – 17], що теломери містять мікроРНК, довгу некодуючу РНК, іноді геномну ДНК, гранулярний ретикулум та мітохондрії, можна припустити, що в теломерах відбуваються процеси синтезу білків та інших хімічних речовин, необхідних для утворення нових та подовження існуючих відростків ТЦ. Крім того, у середині телопод виявляються сигнальні молекули [15], які володіють можливістю впливати на морфо-функціональний стан КМЦ та клітин стромально-судинного комплексу міокарда. Є переконливі докази, що серцеві ТЦ та секретовані ними речовини, що містяться в екто- та екзосомах, необхідні для підтримки структурної організації та функції КМЦ у процесі скорочувальної діяльності серця хребетних тварин та людини [2, 4, 12, 14].

На рис. 9 представлена електронограма міокарда 35 - ти добового щура. Ця електронограма демонструє зменшення відносного обсягу стромально-судинного комплексу міокарда тварин та зміну форми тіла ТЦ від опуклої до подовженої еліпсоподібної форми. Ймовірно, це відбувається в результаті збільшення довжини телопод, їх рухливості, що призводить до «розтягування» в протилежних напрямках тіла ТЦ. Від бічної поверхні сплющеного ТЦ відходять короткі тонкі відростки, які утворюють контакти із сарколемою поряд розташованого КМЦ. Можливо ці фізичні конта-

кти сприяють механічному прикріпленню теломерів ТЦ до конкретної ділянки сарколеми КМЦ.

Крім цього, короткі тонкі відростки ТЦ утворюють фізичні контакти з колагеновими фібрилами строми міокарда. Отримані дані дозволяють припустити, що за допомогою коротких відростків відбувається фіксація та функціонально упорядковане розміщення ТЦ, їх теломер в об'ємі стромально-судинного комплексу міокарда щурів та інших ссавців.

На рис. 10 представлена електронограма міокарда 45 – ти добового щура. Характерною особливістю даної електронограми міокарда є те, що вона демонструє розташування довгого теломера ТЦ у вузькому просторі між КМЦ та нервовим волокном. Ця довга теломера має класичну будову: подоби чергуються з тонкими протяжними подомерами. Теломера ТЦ в інтерстиції міокарда розташована таким чином, що її верхня Пд контактує з сарколемою КМЦ, а нижня Пд – з оболонкою нервового волокна.

З іншого боку КМЦ також визначається протяжна теломера. Її нижня частина має довгу тонку звисту подому, на кінці якої розташована округла екосома. Отримані дані свідчать про те, що локалізація телоподи між КМЦ і нервовим волокном, яке містить багато нервових закінчень, має певне фізіологічне значення. На даний час за кордоном проводяться комплексні дослідження із залученням методів електронної томографії, електронної гістохімії, імунології для визначення фізіологічного значення контактних взаємодій ТЦ та їх телопод з КМЦ, клітинами стромального компоненту, нервовими волокнами та кровоносними мікросудинами у міокарді ссавців [1, 8, 11, 12, 15].

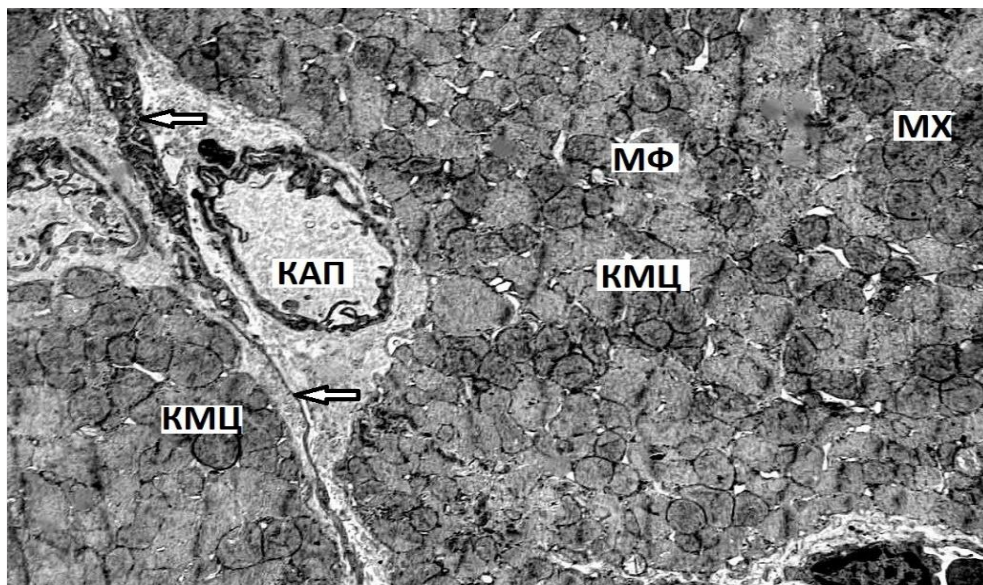


Рис. 9. Ультраструктура міокарда 35-ти добового щура. Позначення: КАП – капіляр; КМЦ – кардіоміоцит; МФ – міофібрила; МХ – мітохондрії; *внизу* (↑) – тонкий довгий відросток телоцита; *вгорі* (↑) – зріз подовженої ділянки цитоплазми телоцита. ×6000.

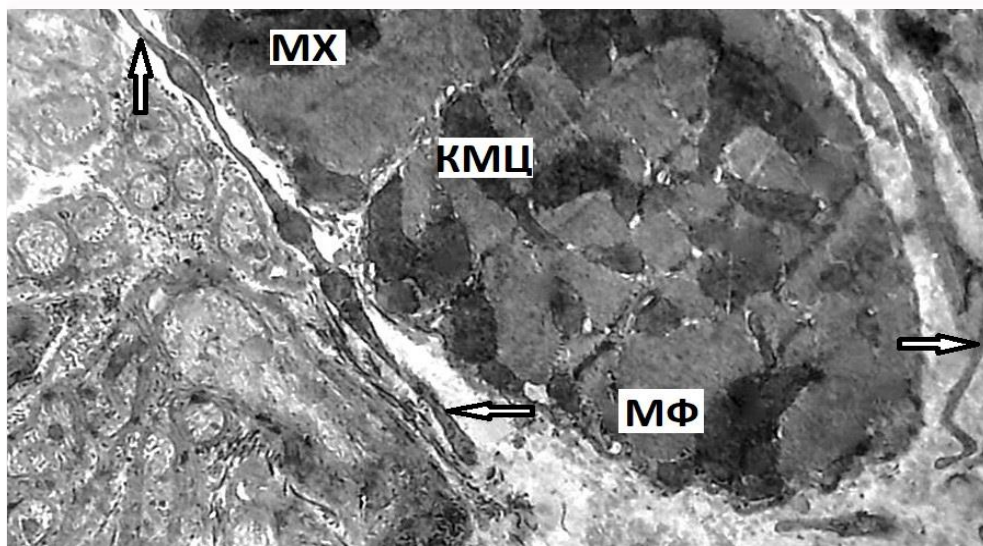


Рис. 10. Ультраструктура міокарда лівого шлуночка 45 – ти добового щура. Позначення: КМЦ – кардіоміоцит; МФ – міофібрила; МХ – мітохондрії. У центрі електроннограми телопода типової будови (↑) контактує з нервовим волокном та кардіоміоцитом. ×8000.

Висновки

1. Телоцити - новий тип інтерстиціальних клітин у складі стромально-судинного комплексу міокарда лівого шлуночку щурів різного хронологічного віку.

2. Протягом першої декади після народження щурів спостерігається інтенсивна проліферація і фізіологічна гіпертрофія серцевих телоцитів, збільшується кількість, протяжність та звивистість їх відростків – телоподій.

3. Після 20 діб постнатального розвитку щурів у міокарді лівого шлуночку зменшується відносний обсяг телоцитів, що ймовірно, обумовлено збільшенням абсолютного об'єму серця тварин. Телоподи телоцитів поступово набувають

класичної будови: локально розширені пододи чергуються з тонкими протяжними подомерами.

4. У процесі раннього постнатального розвитку щурів у міокарді збільшується кількість *гомоцелюлярних* та *гетероцелюлярних* контактних взаємодій: телопод з телоподами; телопод з кардіоміоцитами; телопод з стромальними клітинами, нервовими волокнами та кровоносними мікросудинами.

Перспективи подальших досліджень

Подальші електронно-мікроскопічні дослідження будуть присвячені участі серцевих телоцитів в утворенні кровоносних капілярів міокарда в процесі раннього постнатального розвитку щурів Вістар.

Інформація про конфлікт інтересів

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

Джерела фінансування

Дослідження виконано в рамках науково-дослідної теми «Анатомо-фізіологічні аспекти росту та розвитку людини і тварин» (номер державної реєстрації 0116U002990).

Літературні джерела

References

1. Rosa I, Marini M, Manetti M. Telocytes: An Emerging Component of Stem Cell Niche Microenvironment. *J Histochem Cytochem*. 2021;69(12):795-818. doi: 10.1369/00221554211025489.
2. Bruno DA Sanchez, Francisco BS Teofilo, Mathieu Y Brunet, et al. Telocytes: current research methods, problems and future perspectives. *Cells and Tissue Research*. 2024;396(2):141-55. doi: 10.1007/s00441-024-03888-5.
3. Popescu LM, Faussone-Pellegrini MS. Telocytes - a case of serendipity: the winding way from Interstitial Cells of Cajal (ICC), via Interstitial Cajal-Like Cells (ICLC) to TELOCYTES. *J Cell Mol Med*. 2010;14(4):729-40. doi: 10.1111/j.1582-4934.2010.01059.x.
4. Jinhan Lv, Ligang Yuan, Guojuan Chen, Long Ma, Yumei Qi. Distribution characteristics and morphological comparison of telocytes in the aortic bulb and myocardium of yak heart. *BMC Veterinary Research*. 2025;21;1:1–12. doi: 10.1186/s12917-025-04553-x.
5. Rosa I, Nardini P, Fioretto BS, Guasti D, Romano E, Sgambati E, Marini M, Manetti M. Immunohistochemical and ultrastructural identification of telocytes in the lamina propria of human vaginal mucosa. *Acta Histochem*. 2023;125(7):152094. doi: 10.1016/j.acthis.2023.152094.
6. Aschacher T, Schmidt K, Aschacher O, Eichmair E, Baranyi U, Winkler B, Grabenwoeger M, Spittler A, Enzmann F, Messner B, Riebandt J, Laufer G, Bergmann M, Ehrlich M. Telocytes in the human ascending aorta: Characterization and exosome-related KLF-4/VEGF-A expression. *J Cell Mol Med*. 2021;25(20):9697-709. doi: 10.1111/JCMM.16919.
7. Gherghiceanu M, Popescu LM. Cardiac telocytes - their junctions and functional implications. *Cell Tissue Res*. 2012;348(2):265-79. doi: 10.1007/s00441-012-1333-8.
8. Ge T, Ye Y, Zhang H. Ultrastructure of telocytes, a new type of interstitial cells in the myocardium of the Chinese giant salamander (*Andrias davidianus*). *Eur. J. Histochem*. 2019;63(2):3021. doi: 10.4081/ejh.2019.3021.
9. Junatas KL, Couck L, Tay H, Sinowatz F, Van Den Broeck W. Ultrastructural evidence of telocytes in the embryonic chick heart. *Anat Histol Embryol*. 2024;53(1):e12970. doi: 10.1111/ahel.12970.
10. Lv L, Liao Z, Luo J, Chen H, Guo H, Yang J, Huang R, Pu Q, Zhao H, Yuan Z, Feng S, Qi X, Cai D. Cardiac telocytes exist in the adult *Xenopus tropicalis* heart. *J Cell Mol Med*. 2020;24(4):2531-41. doi: 10.1111/jcmm.14947.
11. Fertig ET, Gherghiceanu M, Popescu LM. Extracellular vesicles release by cardiac telocytes: electron microscopy and electron tomography. *J Cell Mol Med*. 2014;18(10):1938-43. doi: 10.1111/jcmm.12436.
12. Cantarero I, Luesma MJ, Alvarez-Dotu JM, Muñoz E, Junquera C. Transmission Electron Microscopy as Key Technique for the Characterization of Telocytes. *Curr Stem Cell Res Ther*. 2016;11(5):410-4. doi: 10.2174/1574888x10666150306155435.
13. Cretoiu D, Hummel E, Zimmermann H, Gherghiceanu M, Popescu LM. Human cardiac telocytes: 3D imaging by FIB-SEM tomography. *J Cell Mol Med*. 2014;18(11):2157-64. doi: 10.1111/jcmm.12468.
14. Suci L, Nicolescu MI, Popescu LM. Cardiac telocytes: serial dynamic images in cell culture. *J. Cell. Mol. Med*. 2010;14(11):2687-92. doi: 10.1111/j.1582-4934.2010.01185.x.
15. Mihaela Gherghiceanu & Laurentiu M. Popescu. Cardiac telocytes — their junctions and functional implications. *Cell. Tissue. Res*. 2012;348:265–79. doi: 10.1007/s00441-012-1333-8.
16. Soad KM Abdel Gawad, Fatma Al-Zahra N. Al-Shahed, Mariam H. Abd El-Zaher. Histological and immunohistochemical study of telocytes in the heart of male albino rats of different age groups. *Scientific Journal of Al-Azhar Faculty of Medicine for Women*. 2020;4(3):373-82. doi: 10.4103/sjamf.sjamf_43_20.
17. Marini M, Ibba-Manneschi L, Manetti M. Cardiac Telocyte-Derived Exosomes and Their Possible Implications in Cardiovascular Pathophysiology. *Adv. Exp. Med. Biol*. 2017;998:237-54. doi: 10.1007/978-981-10-4397-0_16.
18. Cucu I, Nicolescu MI, Busnatu SS, Manole CG. Dynamic involvement of telocytes in the modulation of multiple signaling pathways in cardiac cytoarchitecture. *Int J. Mol. Sci*. 2022;23(10):10. doi: 10.3390/ijms23105769.
19. Kondo A, Kaestner KH. Emerging diverse roles of telocytes. *Development*. 2020;146(14):dev175018. doi: 10.1242/dev.175018.
20. Popescu LM, Curici A, Wang E, Zhang H, Hu S, Gherghiceanu M. Telocytes and putative stem cells in ageing human heart. *J. Cell. Mol. Med*.

2015;19(1):31-45. doi: 10.1111/jcmm.12509.

21. European Convention for the Protection of Vertebrate Animals Used for Experimental and Other Scientific Purposes. Strasbourg: Council of Europe. 1986;123:52. Available from: <https://rm.coe.int/168007a67b>.

22. 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.

Official Journal of the European Union. 2010;53(L276):33-79.

23. Horalskyi LP, Khomych VT, Kononskyi OI. [Fundamentals of histological technique and morpho-functional research methods in normal and pathological conditions]. Zhytomyr: Polissia; 2011. 288 p. Ukrainian. Available from: <http://ir.znau.edu.ua/handle/123456789/3788>.

Загоруйко Г.Є., Марциновський В.П., Філатова В.Л., Матвієнко Т.М., Філатова О.В., Саргош О.Д. Зміни ультраструктури серцевих телоцитів в процесі раннього постнатального розвитку міокарда щурів Вістар.

РЕФЕРАТ. Актуальність. У 2010 році термін «телоцит» був введений у зарубіжну наукову морфологічну літературу для опису нового типу клітин, що входять до сполучнотканинного компонента різних органів ссавців та людини. Телоцити було виявлено не тільки в стромальному компоненті міокарда шлуночків та передсердь, але й у стінці артеріальних, венозних судин серця різних представників ссавців та людини. Характерною особливістю морфології телоцитів, що відрізняє їх від інших типів клітин хребетних тварин, є наявність численних тонких хвилястої форми відростків, довжина деяких може перевищувати 100 мкм. Сучасні морфологічні дослідження свідчать про те, що відростки телоцитів – телоподії, утворюють з телоцитами та іншими клітинами органів відповідно гомоклітинні та гетероклітинні контакти. Отже, телоподії телоцитів безпосередньо контактують з кардіоміоцитами, перицитами, фібробластами, ендотеліоцитами кровоносних капілярів, гладком'язовими клітинами артеріол і венул та нервовими волокнами. Встановлено, що у процесі контактної взаємодії відбувається передача сигнальних молекул від телоподій телоцитів до інших клітин. Тому, дослідження телоцитів має велике значення для визначення ролі цих клітин у морфогенезі серцевого м'яза в процесі постнатального розвитку ссавців та людини. **Мета.** Дослідити особливості ультраструктури та визначити зміни серцевих телоцитів в процесі раннього постнатального розвитку щурів Вістар. **Методи.** Проводили електронно-мікроскопічне дослідження міокарда лівого шлуночка пізніх ембріонів та щурів Вістар у віці від народження до 45 діб постнатального розвитку. **Результати та підсумок.** Встановлено, що одиничні серцеві телоцити «супроводжують» кардіоміоцити міокарда лівого шлуночка у 20-ти добових ембріонів щурів. У міокарді новонароджених щурів виявляються оптично темні і світлі телоцити з тонкими довгими звивистими відростками, в яких виявляються локальні розширення - подоми і тонкі короткі та довгі подомери. На 10-ту добу після народження щурів, у міокарді визначається збільшення кількості постмітотичних молодих серцевих телоцитів, що мають трикутну та ромбічну форму. Периферичної ділянки тіла цих телоцитів закінчуються тонкими короткими злегка звивистим дихотомічно розгалуженими відростками. У міокарді 15-ти добових щурів суттєво збільшуються чисельність та протяжність звивистих відростків телоцитів. Тонкі подомери утворюють гомоклітинні та гетероклітинні контакти, що дозволяє припустити про вплив серцевих телоцитів на морфо-функціональний стан кардіоміоцитів та клітин стромально-судинного комплексу міокарда. В інтервалі часу (20 - 45) діб, у міокарді щурів поступово зменшується вміст серцевих телоцитів.

Ключові слова: ультраструктура телоцитів, міокард, щури Вістар.