

В.І. Бумейстер¹
О.В. Дудок²

¹ Сумський державний
університет, Суми
² Львівський національ-
ний медичний універси-
тет імені Данила Галиць-
кого, Львів, Україна

Надійшла: 04.02.2024
Прийнята: 20.03.2024

DOI: <https://doi.org/10.26641/1997-9665.2024.1.26-31>

УДК: 611.12:611.013:611.061.1

УТВОРЕННЯ ТА РОЗВИТОК ЛАМЕЛЯР- НОЇ ГІСТОАРХІТЕКТУРИ ШЛУНОЧКО- ВОГО МІОКАРДА КУРЯЧИХ ЗАРОДКІВ

Bumeister V.I.  , Dudok O.V.   Formation and development of lamellar histoarchitecture of the ventricular myocardium of chick embryos.

Sumy State University, Sumy; Danylo Halytsky Lviv National Medical University, Lviv, Ukraine.

ABSTRACT. Background. The existence of several models of the myolamellar structure of the ventricular myocardium, which currently has a number of contradictory provisions, reflects the need for a reasonable integration of the results of different methods. Under these circumstances, the study of those ontogenetic mechanisms that are responsible for the formation and development of the myolamellar architecture of the myocardium is of great interest. **The purpose** of the study is to determine the ontogenetic transformations of the embryonic chicken heart that ensure the formation and development of the myolamellar structure of the ventricular myocardium. **Methods.** The work examined the embryos of Cobb500 cross chickens from the beginning of the 10th day to the 21st day of incubation. The lamellar organization of the ventricular myocardium was studied using light and transmission electron microscopy. **Results.** Starting from the 36th stage according to NN (the beginning of the 10th day of incubation), the active development of the stromal component was observed in the heart of chicken embryos, which led to the division of the tissue of the compact ventricular myocardium into groups of muscle fibers in the form of narrow elongated flat plates containing thicker than 3 to 5 rows of cardiomyocytes. At the 41st and 43rd stages of development, active development of the intercellular matrix and division of the myocardium mass into muscle plates continued as part of the compact ventricular myocardium. The intercellular spaces within the plates narrowed, and between the myolamellae, the perimysium accumulated elements of the microcirculatory bed, functionally active fibroblasts, a large amount of amorphous substance, and bundles of formed collagen fibers. At the final stages of embryogenesis, the muscle plates of the left ventricle acquired a pronounced spiral orientation with a gradual displacement of the long axis of the muscle fibers in the direction from the apex of the ventricle to its base. In the wall of the right ventricle, the location of the myolamella acquired a transverse oblique-circular orientation. **Conclusion.** A comparison of the structure and geometry of the myolamella made it possible to reveal that starting from the 38th stage of development in the left ventricle, the conditions for the translational-rotational mechanism of chamber contraction were formed and increased, in which the formation of the difference between the systolic and diastolic volumes of the left ventricle is ensured not only by the longitudinal apico-basal vector compression of the cavity, but also by mutual sliding of spirally oriented plates in the ventricular wall. In right ventricle, the contraction mechanism is based on the longitudinal-circular compression of the chamber in accordance with the oblique-circular orientation of the muscle fibers in the composition of the myolamella without displacement in the state of systole.


Key words: prenatal ontogeny, heart, ventricular myocardium, histoarchitecture, endomysium, perimysium, muscle plates.

Citation:

Bumeister VI, Dudok OV. [Formation and development of lamellar histoarchitecture of the ventricular myocardium of chick embryos]. Morphologia. 2024;18(1):26-31. Ukrainian.

DOI: <https://doi.org/10.26641/1997-9665.2024.1.26-31>

 Bumeister V.I. 0000-0001-8604-4458

 Dudok O.V. 0000-0001-9513-3460;

 v.bumeyster@med.sumdu.edu.ua; sunsea707@gmail.com

© Dnipro State Medical University, «Morphologia»

Вступ

Відповідно до сучасних уявлень про просторову архітектуру міокарда шлуночків прийнято розглядати три ієрархічні рівні в рамках їх тканинної організації. Перший – це функціональні волокна кардіоміоцитів та їх орієнтація. Другий рівень визначає організацію м'язових волокон у м'язові пластини (міоламельли). Третинна організація передбачає об'єднання міоламельл у групи, які у науковій літературі позначені по-різному – як шари, пучки, смуги [1-3].

Деякі дослідники структури серця відхилили існування стійкої третинної організації міокарда. З іншого боку, існують численні та переконливі докази її наявності, отримані при зіставленні даних магнітно-резонансної томографії з високою роздільною здатністю (мікро-МРТ), гістологічного аналізу серійних зрізів, автоматизованої конфокальної мікроскопії, просторового моделювання на основі гістологічних зображень. При цьому досягнуто спільної згоди, що орієнтація м'язових волокон надзвичайно схожа між видами і всередині видів експериментальних об'єктів [4-8], тоді як вторинна структура міокарда має виражену варіабельність навіть усередині одного виду [9, 10].

Також була запропонована модель з перехресним чергуванням орієнтації м'язових пластин у поздовжньо-радіальній площині від субендокардіальної зони через інтрамуральну до субепікардіальної. При цьому автори вказали на відсутність суттєвих індивідуальних відмінностей у 5 вивчених тварин [11]. Аналогічні результати були отримані у собак при використанні даних МРТ: у 25 з 30 вивчених ділянок шлуночкового міокарда простежувалося чергування орієнтації волокон у складі м'язових пластин в товщі шлуночків [12].

Організація та функція міокарда значною мірою залежать від його позаклітинного матриксу, який включає фібрилярні білки (колаген, еластин, фібронектин), сигнальні молекули та ферменти. Позаклітинний матрикс не тільки забезпечує структурну організацію міокарда та передачу зусилля скорочення, а й, відповідно до останніх даних, розглядається як динамічно активне утворення, що безперервно змінюється у відповідь на передачу локальних клітинних сигналів. Колагенові волокна є основним структурним компонентом позаклітинного матриксу, розподіленим у складі епімізія, перимізія та ендомізія. Перимізія визначає тривимірну організацію кардіоміоцитів і, отже, відіграє центральну роль у забезпеченні механічних характеристик міокарда [13, 14].

Існує лише невелика кількість досліджень, присвячених цілеспрямованій характеристиці просторових співвідношень між організацією перимізія та ламінарним розташуванням кардіоміоцитів, а також аналізу їх сполученої архітектури залежно від локалізації у стінці шлуночків. При

поєднанні світлової мікроскопії та скануючої електронної мікроскопії були докладно вивчені особливості колагену ендомізія, який поєднує між собою суміжні міоцити [15], а також візуалізовані особливості колагенової сітки перимізія [16]. Тим не менш, ці дослідження були обмежені занадто малими обсягами тканини, щоб охарактеризувати структуру міоламельлярної архітектури стінки шлуночка. Висока роздільна здатність зображення потрібна в набагато більших обсягах.

Слід зазначити, що досі міоламельярна модель організації міокарда піддається сумніву. Думка, що міокард шлуночків складається з дискретних спіральних пучків м'язових волокон, була переглянута у вигляді спіральних шлуночкових м'язових смуг [12], тоді як інші дослідники [2, 3] заперечують існування будь-якого впорядкованого ламінарного розташування кардіоміоцитів. Крім того, існування декількох моделей міоламельлярної структури шлуночкового міокарда, яке в даний час має низку суперечливих положень, відображає необхідність розумної інтеграції результатів різних методів. За цих обставин значний інтерес викликає дослідження тих онтогенетичних механізмів, які відповідають за утворення та розвиток міоламельлярної архітектури міокарда.

Мета дослідження – визначення онтогенетичних перетворень ембріонального курячого серця, які забезпечують утворення та розвиток міоламельлярної будови шлуночкового міокарда.

Матеріали та методи

У роботі досліджували зародки курей кросу Cobb500 від початку 10-ї доби (стадія 29 за Hamburger-Hamilton, HH) до 21-ї доби (стадія 46 за HH) інкубації. Яйця інкубували при температурі 39,4°C та відносній вологості повітря 80%. Стадію розвитку визначали за Hamburger-Hamilton [17] відповідно до рекомендацій Martinsen B.J. [12]. Перед фіксацією серце ембріона зі збереженим серцебиттям поміщали в 50 мл розчину, що містить 20 мг KCl при температурі 37,0°C, і витримували протягом 30 сек при зупинці серцевих скорочень з подальшою фіксацією в розчині Буена (для виготовлення парапластових блоків) або охолоджену 2,5%-ном розчині глютаральдегіду (для проведення ультраструктурного дослідження). Морфометрично на гістопрепаратах сердець, забарвлених за Вейгертом, проводили планіметричне визначення товщини м'язових пластин лівого шлуночка (ЛШ), правого шлуночка (ПШ) і міжшлуночкової перегородки (МШП).

Для ультраструктурного дослідження зразки міокарда фіксували при температурі +2°C протягом 3-4 годин у 2,5%-ному розчині глютаральдегіду (виготовленому на 0,2М фосфатному буфері (pH=7,4) з наступною постфіксацією протягом 1 години у 1%-ному забуференому (pH=7,4) розчині тетроксиду осмію («SPI», США), зневоднен-

ням у спиртах зростаючої концентрації і пропіленоксиді та виготовленням епоксидних блоків з використанням композиції епон-аралдіт. Ультратонкі зрізи виготовляли на ультрамікромомі УМТП-6М («SELMI», Україна) та розміщали на мідних опорних сітках Mesh Regular Grid 200 («SPI», США). Подвійне контрастування проводили за методом Рейнольдса [18]. Дослідження проводили за допомогою трансмісійного електронного мікроскопа ПЕМ-100-01 («SELMI», Україна) при напрузі прискорення 65-90 кВ і первинних збільшеннях від 2000 до 25000 за стандартною схемою [18]. Ділянки препаратів вивчалися за модифікованим методом [19] та були фотодокументовані на монохромну плівку «Agfa» з подальшим відцифруванням сканером Canon CanoScan 9000F.

Визначення статистичної значущості відмінностей проводили з урахуванням критерію t Стьюдента. У випадку, якщо отримане в дослідженні емпіричне розподілення не відповідало нормальному закону, відмінності між вибірками оцінювали за допомогою непараметричного критерію Вілкоксона для пов'язаних вибірок та

Манна-Уїтні для непов'язаних вибірок.

Дослідження виконувались у відповідності до принципів Хельсінгської декларації, прийнятої Генеральною асамблеєю Всесвітньої медичної асоціації (2000), відповідних положень ВООЗ, Міжнародної ради медичних наукових товариств згідно з положеннями «Європейської конвенції по захисту хребетних тварин, що використовуються в експериментах та інших навчальних цілях» [20].

Результати та їх обговорення

Починаючи з 36-ї стадії за НН (початок 10-ї доби інкубації) в серці курячих ембріонів спостерігався активний розвиток стромального компонента, що призводило до розділення тканини компактного шлуночкового міокарда на групи м'язових волокон у вигляді вузьких протяжних плоских пластин, що містять за товщею від 3 до 5 рядів кардіоміоцитів. Товщина міоламель у ЛШ незначно поступалася правошлуночковим м'язовим пластинам. До 41-ї стадії за НН відбувалося більш ніж дворазове потовщення м'язових пластин обох шлуночків; більш стримане зростання відзначалося у МШП (табл. 1).

Таблиця 1

Динаміка змін товщини міоламель шлуночкового міокарда серця курячих ембріонів, мкм ($M \pm m$)

Стадія за НН	Локалізація досліджуваного міокарда		
	ЛШ	ПШ	МШП
36	14,6±2,6	15,7±1,8	13,9±1,5
38	29,1±4,3*	23,9±3,4*	15,2±1,7
41	33,9±4,7*	32,0±4,0*	23,5±2,9*
43	37,3±4,6*	42,0±4,1*	24,9±3,7*
46	38,6±4,9*	50,9±4,4*	32,4±4,3*

Примітка: * – достовірна відмінність ($p < 0,05$) від значень на 36-й стадії розвитку.

Орієнтація міоламель у стінці ЛШ курячих ембріонів з 36-ї до 41-ї стадії була переважно косо-радіальною, у стінці ПШ – радіальною. Частина волокон у складі найбільш протяжних лівошлуночкових м'язових пластин мала спіральну спрямованість (рис. 1).

Товщина компактного міокарда ЛШ у цей період зростала в 1,75 рази, в ПШ – у 1,83 рази. У цей час спостерігалось достовірне збільшення діаметра трабекул ЛШ (на 70,8%) і ПШ (на 66,6%).

При електронномікроскопічному дослідженні міжклітинні простори всередині м'язових пластин були вузькими та містили незначну кількість гемокапілярів, які орієнтувалися переважно вздовж довгої вісі кардіоміоцитів. Навпроти, між міоламеллами прошарки примітивного перимізії значно розширювалися в порівнянні з попередніми стадіями розвитку та містили функціонально активні фібробласти, велику кількість аморфної речовини з низькою електронною щільністю, тонкі пучки сформованих колагенових волокон і елементи мікроциркуляторного русла, переважно

артеріоли та венули з відносно невеликим діаметром (рис. 2, 3). Фібробласти всередині міоламель траплялися дуже рідко. У складі трабекулярного міокарда шлуночків виявлялися звужені міжтрабекулярні простори на тлі добре сформованих трабекул, у складі яких міжклітинні простори також помітно стоншувалися.

При ультраструктурному дослідженні ембріонального серця на 41-й та 43-й стадіях розвитку у складі компактного шлуночкового міокарда продовжувався активний розвиток міжклітинного матриксу та поділ маси міокарда на м'язові пластини. Міжклітинні простори всередині пластин звужувалися, а між міоламеллами перимізії накопичував елементи мікроциркуляторного русла, функціонально активні фібробласти, велику кількість аморфної речовини та пучки сформованих колагенових волокон (рис. 4). Фібробласти всередині міоламель виявлялися в поодиноких випадках поблизу гемокапілярів. У масивних трабекулах обох шлуночків міжклітинні простори також помітно стоншувалися.

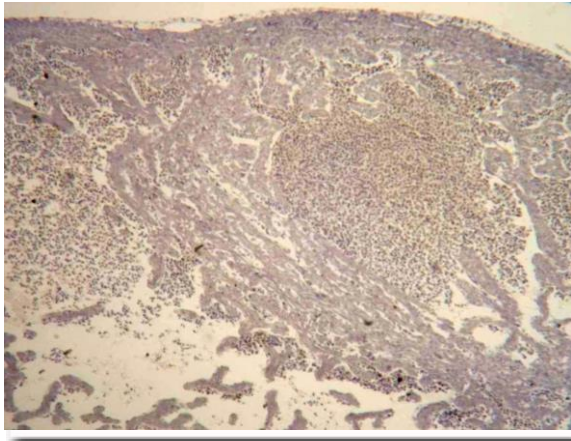


Рис. 1. Структура міокарда в проміжній частині шлуночків (задня стінка) серця курячого ембріона на 15 добу інкубації (стадія 41 за НН). Забарвлення за Вейгертом. $\times 200$.



Рис. 2. Міоламелли ЛШ курячого ембріона на 36-й стадії розвитку. Відростки фібробластів у варіативних за формою міжклітинних просторах. Електроннограма. $\times 18000$.

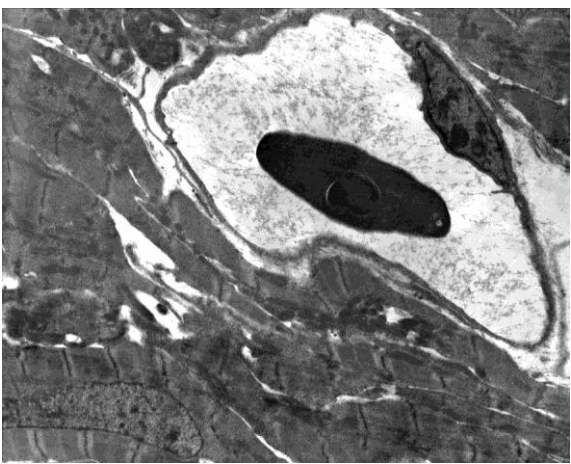


Рис. 3. Кардіоміоцити м'язових пластин ЛШ курячого ембріона на 38-й стадії розвитку. Нелінійне розширення міжклітинних просторів поблизу венули. Значна тангенційна орієнтація Z-дисків міофібрил. Електроннограма. $\times 5000$.



Рис. 4. Кардіоміоцити м'язових пластин ПШ курячого ембріона на 43 стадії розвитку. Відростки фібробласта між гемокапіляром і кардіоміоцитом. Ортогональна конфігурація Z-дисків. Електроннограма. $\times 12000$.

Інтенсивне і нерівномірне потовщення шлуночкових міоламелл призводило до того, що в серці курячих ембріонів на 43-й і 46-й стадіях розвитку м'язові пластини вільної стінки ПШ перевищували товщину лівошлуночкових міоламелл (табл. 1). У складі МШП формувалися більш тонкі та протяжні пластини. В цілому, протягом 36-46-ї стадій розвитку відбувалося достовірне збільшення товщини міоламелл ЛШ від $15,9 \pm 2,1$ мкм до $42,3 \pm 3,4$ мкм (у 2,7 рази) та ПШ від $17,2 \pm 2,7$ мкм до $56,8 \pm 4,0$ мкм (у 3,3 рази). На кінцевих стадіях ембріогенезу м'язові пластини ЛШ набували виразної спіральної орієнтації з поступовим зміщенням довгої вісі м'язових волокон у напрямку від верхівкової частини ЛШ до його основи. У стінці ПШ розташування міоламелл набувало попереочної косо-циркулярної орієнтації (рис. 5).

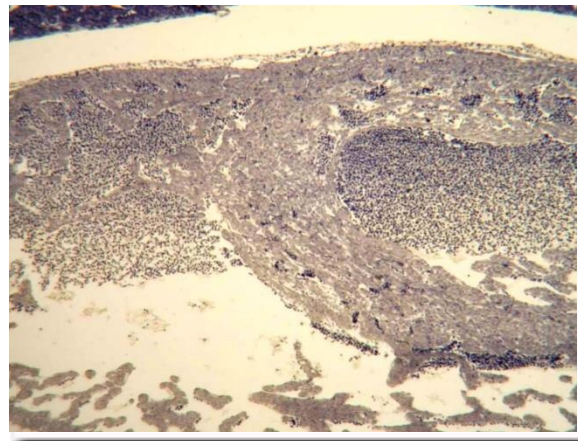


Рис. 5. Структура і орієнтація м'язових пластин міокарда ЛШ, ПШ і МШП у проміжній частині шлуночків серця курячого ембріона на 17-ту добу інкубації (стадія 43 за НН). Забарвлення за Вейгертом. $\times 200$.

Трабекули вільних стінок обох шлуночків до кінця ембріонального розвитку мали добре розви-

нену ендотеліальну оболонку, що щільно прилягала до поздовжньо орієнтованих кардіоміоцитів. Їх діаметр у ЛШ значно перевищував товщину правощлуночкових трабекул, хоча розміри клітин суттєво не відрізнялися.

На 46-й стадії розвитку у складі ендомізії міоламель міокарда спостерігалася значна кількість зрілих гемокапілярів, іноді в оточенні тонких протяжних відростків фібробластів. При цьому колагенові волокна залишалися одиничними та не формували організованих пучків (рис. 6).

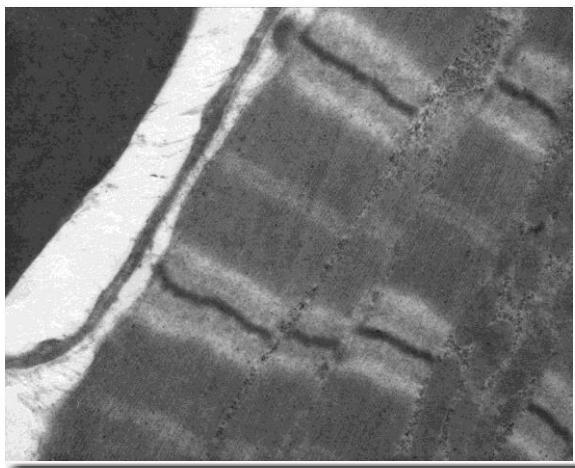


Рис. 6. Ділянка проміжної частини м'язової пластини вільної стінки ЛШ курячого ембріона на 46-й стадії розвитку. Скупчення міжміофібрилярних мітохондрій. Ортогональна орієнтація поперечних структур саркомерів. Електроннограма. $\times 28000$.

У перимізії між м'язовими пластинами виявлялися переважно артеріоли та венули різних калібрів в оточенні пучків колагенових волокон,

орієнтованих паралельно один одному, і значна кількість функціонально активних фібробластів. Як правило, локуси колагенутворення розташовувалися між фібробластом (або його відростком) і стінкою мікросудини, але не поблизу кардіоміоцита. У перимізії на даній стадії розвитку за об'ємом переважав аморфний компонент з неоднорідною електронною щільністю.

Підсумок

Зіставлення структури і геометрії міоламель дозволило виявити, що починаючи з 38-ї стадії розвитку в ЛШ формувалися і нарощувалися умови для поступально-обертального механізму скорочення камери, при якому формування різниці між систолічним і діастолічним об'ємами ЛШ забезпечується не тільки подовжнім апіко-базальним вектором стискання порожнини, але і взаємним ковзанням спіраль-орієнтованих пластин у верхівковому та серединному відділах стінки ЛШ. У ЛШ механізм скорочення заснований на поздовжньо-циркулярному стисканні камери відповідно до косо-циркулярної орієнтації м'язових волокон у складі міоламель без істотного взаємного зміщення в стані систоли.

Перспективи подальших досліджень полягають у морфологічному дослідженні постнатального розвитку міоламельної будови міокарда.

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

Виконання даного дослідження та написання рукопису було виконано без зовнішнього фінансування.

Літературні джерела References

1. Zhou J, Shu Y, Lü S. The spatiotemporal development of intercalated disk in three-dimensional engineered heart tissues based on collagen/matrigel matrix. *PLoS One*. 2013;8(11):814-20.
2. Kocica MJ, Corno AF, Carreras-Costa F. Helical ventricular myocardial band: global, three-dimensional, functional architecture of the ventricular myocardium. *The Eur. J. Cardiothorac Surg*. 2006;29:21-40.
3. Gilbert SH, Benson AP, Li P. Localisation of left ventricular sheet structure: integration with current models of cardiac fibre, sheet and band structure. *Regional Eur. J. Cardiothorac Surg*. 2007;32:231-49.
4. Arts T, Costa KD, Covell JW, McCulloch AD. Relating myocardial laminar architecture to shear strain and muscle fiber orientation. *Am. J. Physiol. Heart. Circ. Physiol*. 2001;280:2222-9.
5. Ewald AJ, McBride H, Reddington M. Imaging microscopy, an automated method for visualizing whole embryo samples in three dimensions at high resolution. *Dev. Dyn*. 2002;12:369-75.
6. Helm PA, Younes L, Beg MF et al. Evidence of structural remodeling in the dyssynchronous failing heart. *Circ. Res*. 2006;98:125-32.
7. Tseng WY, Wedeen VJ, Reese TG. Diffusion tensor MRI of myocardial fibers and sheets: correspondence with visible cut-face texture. *J. Magn. Reson. Imaging*. 2003;17:31-42.
8. Buckberg GD. Stonehenge and the heart: similar construction. *Eur. J. Cardiothorac. Surg*. 2006;29:286-90.
9. Kresh JY, Chopra A. Intercellular and extracellular mechanotransduction in cardiac myocytes. *Pflugers Arch*. 2011;462(1):75-87.
10. Chen J, Liu W, Zhang H. Regional ventricular wall thickening reflects changes in cardiac fiber

and sheet structure during contraction: quantification with diffusion tensor MRI. *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.* 2005;289:1898-907.

11. Harrington KB, Rodriguez F, Cheng A. Direct measurement of transmural laminar architecture in the anterolateral wall of the ovine left ventricle: new implications for wall thickening mechanics. *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.* 2005;288:1324-30.

12. Martinsen BJ. Reference guide to the stages of chick heart embryology. *Dev. Dyn.* 2005;233:1217-37.

13. Rijcken J, Bovendeerd P, Schoofs A. Optimization of cardiac fiber orientation for homogeneous fiber strain during ejection. *Ann. Biomed. Eng.* 1999;27:289-97.

14. Dokos S, Smaill BH, Young AA, LeGrice IJ. Shear properties of passive ventricular myocardium. *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.* 2002;283:2650-9.

15. Chen J, Song SK, Liu W. Remodeling of cardiac fiber structure after infarction in rats quantified with diffusion tensor MRI. *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.* 2003;285:946-54.

16. LeGrice IJ, Hunter PJ, Smaill BH. Laminar structure of the heart: a mathematical model. *Am. J. Physiol.* 1997;272:2466-76.

17. Hamburger V. A series of normal stages in the development of the chick embryo. *J. Morphol.* 1951;88(1):49-92.

18. Kuo J. *Electron microscopy: methods and protocols*. Totowa, New Jersey : Humana Press Inc; 2007. 608 p.

19. Tverdokhlib IV, Petruk NS, Ivanchenko MV, Silkina JuV, Khripkov IS, Pertseva NO, Shevchenko KM, Goodlett TO, Malkov II, Berehovenko IM, Zinenko DYU, Galaida NO, Varin VV, inventors; State Institution «Dnipropetrovsk medical academy of the Health Ministry of Ukraine». Method of determining the coordinates of ultrastructures in transmission electron microscopy of biological objects. Ukrainian patent UA 83611. 2013 Sep 25. Int. Cl. G01N 1/28. Ukrainian.

20. European convention for the protection of vertebrate animals used for experimental and other scientific purposes. Strasbourg: Council of Europe. 18 Mar 1986. 53 p.

Бумейстер В.І., Дудок О.В. Утворення та розвиток ламелярної гістоархітектури шлуночкового міокарда курячих зародків.

РЕФЕРАТ. Актуальність. Існування декількох моделей міоламелярної структури шлуночкового міокарда, яке в даний час має низку суперечливих положень, відображає необхідність розумної інтеграції результатів різних методів. За цих обставин значний інтерес викликає дослідження тих онтогенетичних механізмів, які відповідають за утворення та розвиток міоламелярної архітектури міокарда. **Мета** дослідження – визначення онтогенетичних перетворень ембріонального курячого серця, які забезпечують утворення та розвиток міоламелярної будови шлуночкового міокарда. **Методи.** У роботі досліджували зародки курей кросу Cobb500 від початку 10-ї доби до 21-ї доби інкубації. За допомогою світлової та трансмісійної електронної мікроскопії вивчали ламелярну організацію міокарда шлуночків. **Результати.** Починаючи з 36-ї стадії за НН (початок 10-ї доби інкубації) в серці курячих ембріонів спостерігався активний розвиток стромального компонента, що призводило до розділення тканини компактного шлуночкового міокарда на групи м'язових волокон у вигляді вузьких протяжних плоских пластин, що містять за товщею від 3 до 5 рядів кардіоміоцитів. На 41-й та 43-й стадіях розвитку у складі компактного шлуночкового міокарда продовжувався активний розвиток міжклітинного матриксу та поділ маси міокарда на м'язові пластини. Міжклітинні простори всередині пластин звужувалися, а між міоламеллами перимізій накопичував елементи мікроциркуляторного русла, функціонально активні фібробласти, велику кількість аморфної речовини та пучки сформованих колагенових волокон. Фібробласти всередині міоламелл виявлялися в поодиноких випадках поблизу гемокапілярів. У масивних трабекулах обох шлуночків міжклітинні простори також помітно стоншувалися. На кінцевих стадіях ембріогенезу м'язові пластини лівого шлуночка набували виразної спіральної орієнтації з поступовим зміщенням довгої вісі м'язових волокон у напрямку від верхівкової частини шлуночка до його основи. У стінці правого шлуночка розташування міоламелл набувало поперечної косо-циркулярної орієнтації. **Підсумок.** Зіставлення структури і геометрії міоламелл дозволило виявити, що починаючи з 38-ї стадії розвитку в лівому шлуночку формувалися і нарощувалися умови для поступально-обертального механізму скорочення камери, при якому формування різниці між систолічним і діастолічним об'ємами лівого шлуночка забезпечується не тільки подовжнім апіко-базальним вектором стискання порожнини, але і взаємним ковзанням спірально-орієнтованих пластин у верхівковому та середньому відділах шлуночкової стінки. У правому шлуночку механізм скорочення заснований на подовжньо-циркулярному стисканні камери відповідно до косо-циркулярної орієнтації м'язових волокон у складі міоламелл без істотного взаємного зміщення в стані систоли.

Ключові слова: пренатальний онтогенез, серце, міокард шлуночків, гістоархітектура, ендомізій, перимізій, м'язові пластини.