

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ТРИВИМІРНОЇ РЕКОНСТРУКЦІЇ ПРИ МОРФОЛОГІЧНОМУ ДОСЛІДЖЕННІ СУХОЖИЛКОВИХ СТРУН ЛІВОГО ШЛУНОЧКА СЕРЦЯ ЛЮДИНИ

Ю. Ю. Малик

Вищий державний навчальний заклад України «Буковинський державний медичний університет», м. Чернівці, Україна

Ключові слова: лівий шлуночок, мітральний клапан, сухожилкові струни, несправжні сухожилкові струни, тривимірна реконструкція.

Буковинський медичний вісник. Т.22, № 3 (87). С. 36-41.

DOI:
10.24061/2413-0737.
XXII.3.87.2018.61

E-mail: malyk.yuliia@
bsmu.edu.ua

Мета роботи — визначити властивості сухожилкових струн лівого шлуночка серця людини комплексом морфологічних методів дослідження з використанням методу тривимірної реконструкції.

Матеріал і методи. Для дослідження використані макроскопічний метод, методи світлової мікроскопії та тривимірної реконструкції. Матеріалом для дослідження послужили сухожилкові струни лівих шлуночків 45 сердець людей зрілого віку.

Результати. За допомогою макроскопічного методу та методу світлової мікроскопії проведено дослідження типових сухожилкових струн мітрального клапана, які у вигляді тяжів простягаються від верхівок соскоподібних м'язів і сполучаються зі стулками клапана, та несправжніх сухожилкових струн, які на відміну від типових, не прикріплюються до ступок мітрального клапана, а ектопічно фіксуються до вільних стінок шлуночка, міжшлуночкової перегородки або соскоподібних м'язів. За допомогою світлооптичного методу визначено, що типові сухожилкові струни утворені одним центральним розташованим колагеновим стрижнем, оточені периферійно розташованим колагеново-еластичним шаром та вистелені зовні ендотелієм. На основі проведених досліджень несправжні сухожилкові струни, за гістологічною будовою їх стрижнів, поділені на струни фіброзного, фіброзно-м'язового та м'язового типів. Моделі просторової організації типових та несправжніх сухожилкових струн лівого шлуночка серця людини відтворили обриси і характер поверхні струн, а також показали просторову взаємодію структурних компонентів їх внутрішнього вмісту з розрахунком параметрів їх відносної площі.

Висновок. У роботі представлені результати макроскопічного, мікроскопічного дослідження та моделі просторової організації типових та несправжніх сухожилкових струн лівого шлуночка серця людини, які вказують на відмінність їх структурної організації.

Ключевые слова: левый желудочек, митральный клапан, сухожильные хорды, ложные сухожильные хорды, трехмерная реконструкция.

Буковинский медицинский вестник. Т.22, № 3 (87). С. 36-41.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ТРЕХМЕРНОЙ РЕКОНСТРУКЦИИ ПРИ МОРФОЛОГИЧЕСКОМ ИССЛЕДОВАНИИ СУХОЖИЛЬНЫХ ХОРД ЛЕВОГО ЖЕЛУДОЧКА СЕРДЦА ЧЕЛОВЕКА

Ю. Ю. Малик

Цель работы — определить свойства сухожильных хорд левого желудочка сердца человека комплексом морфологических методов исследования с использованием метода трехмерной реконструкции.

Материал и методы. Для исследования были использованы макроскопический метод, метод световой микроскопии и трехмерной реконструкции. Материалом для исследования послужили сухожильные хорды левых желудочков 45 сердец людей зрелого возраста.

Результаты. С помощью макроскопического метода и метода све-

товой микроскопии проведено исследование типичных сухожильных хорд митрального клапана, которые в виде тяжей простираются от верхушек сосочковых мышц и сочетаются со створками клапана, и ложных сухожильных хорд, которые в отличие от типичных, не прикрепляются к створкам митрального клапана, а эктопически фиксируются к свободным стенкам желудочка, межжелудочковой перегородке или сосочковым мышцам. С помощью светооптического метода определено, что типичные сухожильные хорды образованы одним центрально расположенным коллагеновым стержнем, окруженным периферически расположенным коллагеново-эластическим слоем и выстелены снаружи эндотелием. На основе проведенных исследований ложные сухожильные хорды по гистологическому строению их стержней поделены на хорды фиброзного, фиброзно-мышечного и мышечного типов. Воспроизведенные модели пространственной организации типичных и ложных сухожильных хорд левого желудочка сердца человека воспроизвели очертания и характер поверхности хорд, а также показали пространственное взаимодействие структурных компонентов их внутреннего содержимого с расчетом параметров их относительной площади.

Вывод. В работе представлены результаты макроскопического, микроскопического исследования и модели пространственной организации типичных и ложных сухожильных хорд левого желудочка сердца человека, которые указывают на различие их структурной организации.

Keywords: left ventricle, mitral valve, chordae tendineae, false chordae tendineae, three-dimensional reconstruction.

Bukovinian Medical Herald. V.22, № 3 (87). P. 36-41.

THE USE OF THE THREE-DIMENSIONAL RECONSTRUCTION METHOD IN THE MORPHOLOGICAL INVESTIGATION OF THE LEFT VENTRICLE CHORDAE TENDINEAE OF THE HUMAN'S HEART

Yu. Yu. Malyk

Objective — to determine the properties of chordae tendineae of the human's heart left ventricle by a complex of morphological methods of investigation using the method of three-dimensional reconstruction.

Material and methods. The macroscopic method, methods of light microscopy and three-dimensional reconstruction were used for the study. The material for the study was the chordae tendineae of the left ventricles of 45 hearts of people of mature age.

Results. By using the macroscopic method and method of light microscopy, a typical mitral valve chordae tendineae, that in the form of strands extend from the apex of papillary muscles and combined with valve's cusps, and false chordae tendineae, that unlike typical ones, do not attach to the mitral valve cusps, but are ectopically fixed to the free walls of the left ventricle, interventricular septum or papillary muscles were studied. The light microscopy method showed that the typical chordae tendineae formed by one centrally located collagen core, surrounded by the peripherally located collagen-elastic layer and lined by the endothelium outside. Based on the studies, the false chordae tendineae by histological structure of their core have been divided into the fibrous, fibro-muscular and muscular types. The reproduced models of the spatial organization of the typical and false chordae tendineae of the left ventricle of the human heart reproduced the outlines and character of the surface of the chords, and showed the spatial interaction of the structural components of their inner contents with the calculation of the parameters of their relative area.

Оригінальні дослідження

Conclusion. *The paper presents the results of macroscopic, microscopic research and models of the spatial organization of typical and false chordae tendineae of the human heart left ventricle, which indicate a difference in their structural organization.*

Вступ. Підвищений інтерес до фундаментальних досліджень структурно-функціональних особливостей внутрішнього рельєфу шлуночків серця людини зумовлений зростаючою необхідністю більш глибокого вивчення етіології і патогенезу захворювань серцево-судинної системи, розуміння механізмів, що лежать в основі цих станів, та можливістю використання цих даних у кардіології та кардіохірургії при розробці комплексу лікувальних заходів і профілактики можливих гемодинамічних порушень, а також при реконструктивних операціях на серці у зв'язку зі зростанням серцевої патології [1]. Топографія та будова сухожилкових струн (СС) впливають на нормальне функціонування клапанного апарату серця та його гемодинаміку, що викликає підвищену зацікавленість до їх структурної організації [2–3]. Тому, детальне вивчення морфологічної будови структурних компонентів СС має важливе як теоретичне, так і практичне значення для з'ясування механізмів виникнення вад серця різної етіології, що знайдуть своє використання як у теоретичній медицині, так і в клінічній практиці. Відтворення тривимірної архітектури біологічних об'єктів є невід'ємним завданням морфологічних досліджень, що ґрунтуються на аналізі площинних гістологічних препаратів [4]. Сучасні морфологічні дослідження вимагають високої якості ілюстративності результатів, чому може сприяти тривимірна реконструкція та моделювання [5]. Створення тривимірних моделей СС допоможуть цілісному розумінню їх структури як єдиної функціональної системи, дасть можливість візуалізації їх внутрішнього вмісту, просторової взаємодії їх структурних компонентів, а також дасть змогу уявити тимчасові або постійні відхилення від нормальної будови.

Мета роботи. Визначити властивості СС лівого шлуночка (ЛШ) серця людини комплексом морфологічних методів дослідження з використанням методу тривимірної реконструкції.

Матеріал і методи. Матеріалом для дослідження послужили СС лівих шлуночків 45 сердець людей зрілого віку. Для дослідження використані макроскопічний метод, методи світлової мікроскопії та тривимірної реконструкції. Для світлової мікроскопії гістологічні препарати забарвлювали гематоксилін-еозин, пікрофуксином за Ван-Гізеном, фукселіном за Вейгертом, за допомогою методу Слінченко, а також використовували комбіновану методику за Вейгертом-ван-Гізеном. Для тривимірної реконструкції використовувались фотографії серії гістологічних зрізів, виготовлених за загальноприйнятою методикою. Цифрові зображення серійних зрізів отримували за допомогою фотокамери Olympus (C-4000) при збільшенні $\times 100$.

Далі знімки оброблялися за допомогою Microsoft Office Picture Manager. Подальші етапи реконструкції включали обробку знімків з використанням програмного комплексу «Amira 5.0», а вторинна візуалізація змодельованої структури об'єкта дослідження відбувалася в оболонці Autodesk 3ds max 8.0. Дослідження виконані з дотриманням «Правил етичних принципів проведення наукових медичних досліджень за участю людини», затверджених Гельсінкською декларацією (1964–2013 рр.), ІСН GCP (1996 р.), Директиви ЄС № 609 (від 24.11.1986 р.), Наказів МОЗ України № 690 від 23.09.2009 р., № 944 від 14.12.2009 р., № 616 від 03.08.2012 р.

Результати дослідження та їх обговорення. Проведені морфологічні дослідження показали, що в порожнині ЛШ наявні типові СС, які у вигляді тяжів простягалися від верхівок соскоподібних м'язів і сполучалися зі стулками клапана, а також траплялися несправжні СС, які представляли собою тяжі, які на відміну від типових СС, не прикріплювалися до стулок мітрального клапана (МК), а ектопічно фіксувалися до вільних стінок шлуночка, міжшлуночкової перегородки та соскоподібних м'язів. Дослідження з використанням методу світлової мікроскопії та тривимірної реконструкції показали відмінності їх структурної організації.

Дослідження, виконані за допомогою світлової мікроскопії типових СС МК, показали, що з усіх поверхонь струна вкрита ендотелієм, під яким локалізується пухкий периферійний колагеново-еластичний шар, що відмежовує стрижень струни, який формує її внутрішній остов. Периферійний колагеново-еластичний шар утворений пухкою волокнистою сполучною тканиною з розташованими в ній еластичними волокнами, які мають поздовжній напрям, кількісно переважають над колагеновими волокнами та клітинами фібробластичного ряду. Внутрішній остов або стрижень СС формують потужні пучки колагенових волокон, які прямолінійно орієнтовані та щільно упаковані вздовж струни. При дослідженні методом світлової мікроскопії у місцях відходження типових СС від соскоподібних м'язів виявлені пучки поперечно-посмугованої серцевої м'язової тканини, які проникали у струну на невелику відстань та часто супроводжувалися кровоносними судинами. Кровоносні судини, що розташовувалися між пучками поперечно-посмугованої серцевої м'язової тканини, проникали у товщу СС на різну відстань у напрямку до стулок МК, але не більше як на 1/3 її довжини.

Дослідження несправжніх СС, виконані за допомогою світлової мікроскопії, показали, що вони також зовні вистелені ендотеліальними клітинами.

Під ендотелієм локалізується периферійний колагеново-еластичний шар, що відмежовує центральний стрижень струни. Центральний стрижень несправжніх СС мав різну гістологічну будову. Зокрема при світлооптичному дослідженні центральний стрижень 27% несправжніх СС був утворений щільно упакованими, впорядкованими та прямолінійно орієнтованими пучками колагенових волокон, між якими паралельно до ходу колагенових волокон локалізувалися клітини фібробластичного ряду. Такі несправжні СС за будовою віднесено до фіброзного типу.

У 50% стрижень несправжніх СС формували не тільки пучки щільно упакованих і прямолінійно орієнтованих колагенових волокон і клітини фібробластичного ряду, але й скоротливі кардіоміоцити, об'єднані в тяжі неправильної форми. Кардіоміоцити найчастіше локалізувалися у вигляді острівців у місцях прикріплення до стінки ЛШ, до соскоподібних м'язів або простягалися вздовж всієї струни, поділяючи її навпіл. Такі несправжні СС віднесені до фіброзно-м'язового типу.

У 23% траплялися несправжні СС, основу яких складала лише поперечно-посмугована серцева м'язова тканина. Такі струни віднесено до несправжніх СС м'язового типу. Особливістю несправжніх СС м'язового типу та фіброзно-м'язового типу є те, що окрім скоротливих кардіоміоцитів, які формують стрижень струни, виявлені елементи провідної системи серця, а саме клітини Пуркінє.

За допомогою методу тривимірної реконструкції відтворено просторову будову типових СС МК та

несправжніх СС ЛШ серця людини.

Отримані моделі типових СС МК серця людини підтверджують результати гістологічного дослідження щодо наявності центрального щільного колагенового стрижня струни, оточеного пухким периферійним колагеново-еластичним шаром.

У зрізах обчислені відсоткове співвідношення відносної площі центрального колагенового стрижня СС, пухкої колагеново-еластичної периферії та площу, яку займають у СС кровоносні судини. Аналізуючи зміни співвідношення відносної площі, яку займають ці структури в зрізах, виявлено, що в напрямку від соскоподібних м'язів до стулки МК поступово збільшується відносна площа пухкого периферійного колагеново-еластичного шару (з 18,5% до 24,1%) та зменшується площа, яку займає центральний колагеновий стрижень СС (з 78,1% до 72,7%).

Модель просторової будови типової СС МК серця людини в ділянці з'єднання її з соскоподібним м'язом також підтверджує, що остов струни представлений одним центральним колагеновим стрижнем, оточеним периферійним колагеново-еластичним шаром. Виявлено пучки серцевих м'язових клітин, що заглиблюються із соскоподібного м'яза в колагеновий стрижень СС на невелику відстань (на 1/5–1/6 її довжини). Також виявлені кровоносні судини, що із соскоподібного м'яза потрапляли в периферійний колагеново-еластичний шар і в його складі прямували в напрямку до стулок МК, не анастомозуючи між собою (рис. 1).

При проведенні аналізу відносних площ складових структур ділянки з'єднання типової СС МК із

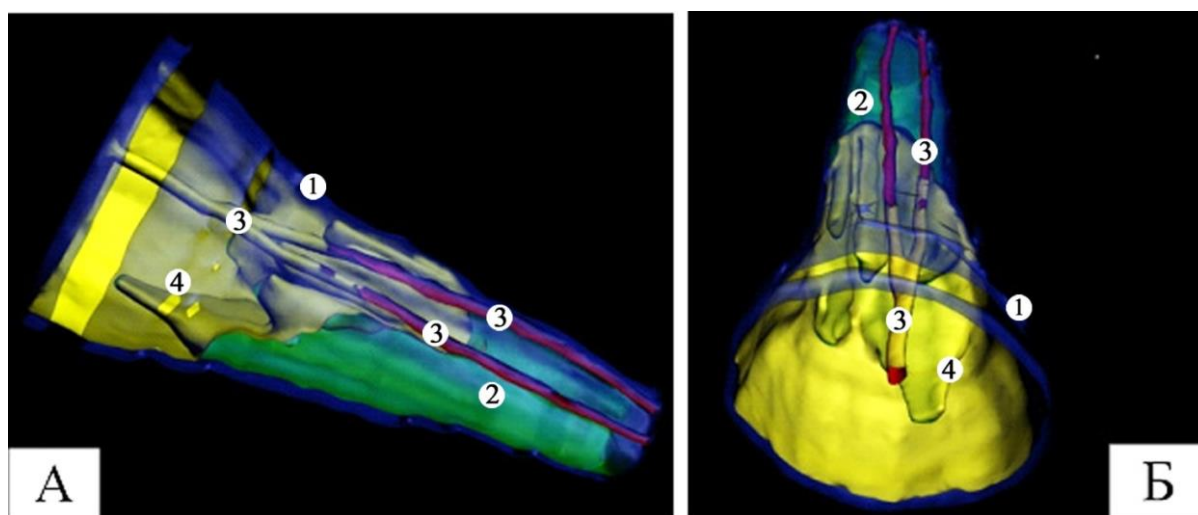


Рис. 1. Тривимірна модель типової сухожилкової струни у місці з'єднання із соскоподібним м'язом (А – вигляд з порожнини шлуночка, Б – вигляд з боку основи соскоподібного м'яза). 1 – периферійний колагеново-еластичний шар; 2 – колагеновий стрижень струни; 3 – кровоносні судини; 4 – серцева м'язова тканина

соскоподібним м'язом встановлено, що структурні компоненти в різних її частинах мали відмінні співвідношення параметрів відносних площ. Середні значення відносної площі серцевої м'язової тканини, центрально розташованого колагенового стрижня,

периферійного колагеново-еластичного шару та кровоносних судин у верхівці соскоподібного м'яза в ділянці переходу його в СС становили відповідно $65,89 \pm 10,65\%$, $11,5 \pm 8,89\%$, $18,97 \pm 1,18\%$, $3,64 \pm 0,87\%$. А середні значення відносної площі серцевої

Оригінальні дослідження

м'язової тканини, центрального колагенового стрижня, периферійного колагеново-еластичного шару та кровоносних судин у СС у ділянці відходження її від соскоподібного м'яза становили $9,9 \pm 12,42\%$, $62,54 \pm 11,63\%$, $22,95 \pm 1,0\%$, $4,61 \pm 0,06\%$ відповідно.

Методом тривимірної реконструкції відтворено просторову будову несправжньої СС ЛШ серця людини фіброзного типу. Створена тривимірна модель вказує на те, що серцевина несправжньої СС утворена центральним колагеновим стрижнем, який оточений периферійним шаром пухкої волокнистої сполучної тканини (рис. 2).

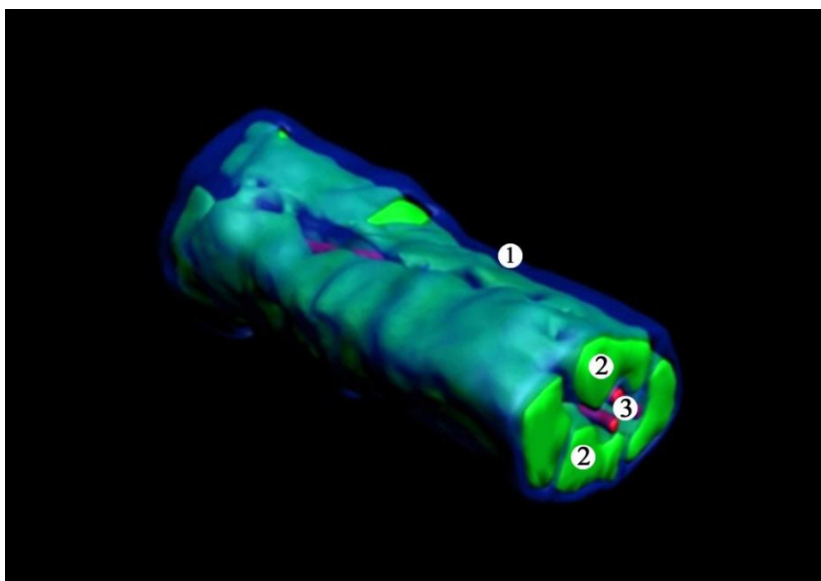


Рис. 2. Тривимірна модель несправжньої сухожилкової струни лівого шлуночка серця людини. 1 – периферійний пухкий колагеново-еластичний шар; 2 – центральний колагеновий стрижень струни; 3 – кровоносні судини

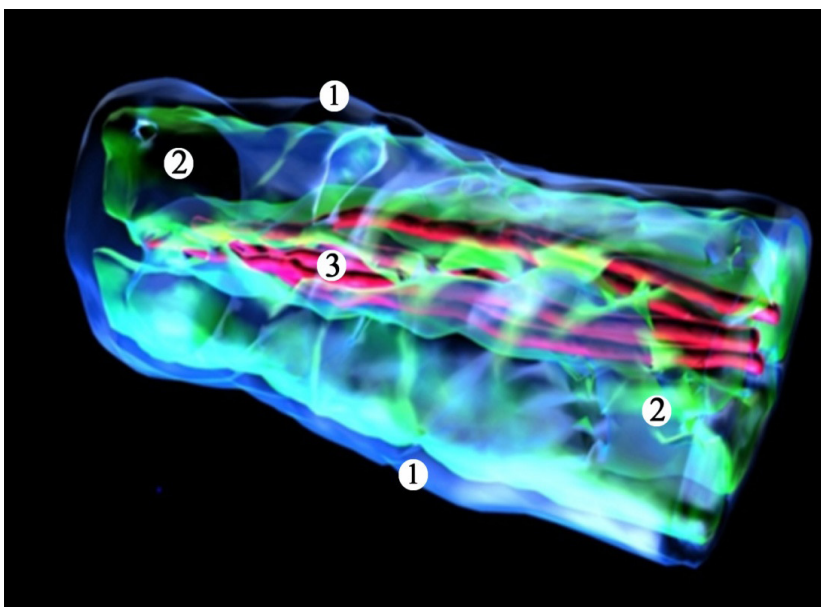


Рис. 3. Тривимірна модель несправжньої сухожилкової струни лівого шлуночка серця людини. 1 – периферійний пухкий колагеново-еластичний шар; 2 – центральний колагеновий стрижень струни; 3 – кровоносні судини

Порівняно з типовими СС, в яких спостерігається один центральний стрижень, у несправжній СС їх кількість становила від 2 до 4. Пучки колагенових волокон у кожному зі стрижнів розташовані менш щільно, вони переходять з одного в інший уздовж СС та їх кількість по ходу несправжньої СС змінюється. Між собою стрижні розділені прошарками пухкої волокнистої сполучної тканини, в якій проходять кровоносні судини мікроциркуляторного русла, що анастомозують між собою та формують сітку (рис. 3). При проведенні аналізу зміни співвідношення відносної площі, яку займають складові несправжньої

СС в зрізах, виявлено, що відносна площа пухкого периферійного колагеново-еластичного шару по ходу струни змінюється з 35,3% на одному кінці до 46,3% на іншому, а площа, яку займає центральний колагеновий стрижень несправжньої СС, змінюється з 59,8% до 50,1% відповідно.

Висновки

Таким чином, представлені результати макро- та мікроскопічного дослідження та тривимірні моделі типових та несправжніх сухожилкових струн лівого шлуночка серця людини вказують на відмінність їх структурної організації. Типова сухожилкова струна утворена одним центрально розташованим колагеновим стрижнем, що оточений периферійним колагеново-еластичним шаром. Центральний стрижень несправжніх сухожилкових струн мав різну гістологічну будову, яка визначала належність несправжніх сухожилкових струн до фіброзно-м'язового типу, фіброзного типу або м'язового типу. Відтворені моделі просторової організації типових сухожилкових струн і несправжніх сухожилкових струн фіброзного типу серця людини підтверджують результати гістологічного дослідження.

Перспективи подальших досліджень. Відтворення моделей просторової організації несправжніх сухожилкових струн м'язового та фіброзно-м'язового типу з визначенням локалізації клітин провідної системи серця допоможуть у розумінні патогенезу виникнення аритмічного синдрому.

Список літератури

1. Дудник С. Серцево-судинні захворювання в Україні: прогнози — невтішні. Ваше здоров'я. 2015;1–2 (1285–1286):18–19.

Відомості про автора:

Малик Юлія Юріївна — к.мед.н., асистент кафедри гістології, цитології та ембріології Вищого державного навчального закладу України «Буковинський державний медичний університет», м. Чернівці, Україна.

Сведения об авторе:

Малик Юлия Юрьевна — к.мед.н., ассистент кафедры гистологии, цитологии и эмбриологии Высшего государственного учебного заведения Украины «Буковинский государственный медицинский университет», г. Черновцы, Украина.

Information about the author:

Malyk Yuliia Yuriiivna — Ph.D, Assistant Professor of the Department of Histology, Cytology and Embryology of the Higher State Educational Institution of Ukraine «Bukovinian State Medical University», Chernivtsi, Ukraine.

2. Ромбальская АР. Топография и значение в гемодинамике сухожильных нитей желудочков сердца человека. Морфология. 2007;131 (3):89.
3. Пентелейчук НП, Семенюк ТО. Морфология сухожилковых струн передсердно-шлуночковых клапанів серця новонароджених. Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe. 2016;10 (2):52–54.
4. Твердохліб ІВ. Просторова реконструкція біологічних об'єктів за допомогою комп'ютерного моделювання. Морфология. 2007;1 (1):135–39.
5. Burton RA, Lee P, Casero R, Gamy A, Siedlecka U, Schneider JE, Kohl, et al. Three-dimensional histology: tools and application to quantitative assessment of cell-type distribution in rabbit heart. Europace. 2014;16 (4):86–95.

References

1. Dudnyk S. Sertsevo-sudynni zakhvoriuvannia v Ukraini: prohnozy — nevtishni [Cardiovascular diseases in Ukraine: forecasts are disappointing]. Vashe zdorov'ia. 2015;1–2 (1285–1286):18–9. (in Ukrainian).
2. Rombal'skaya AR. Topografiya i znachenie v gemodinamike sukhozhil'nykh nitey zheludochkov serdtsa cheloveka [Topography and significance in the hemodynamics of tendinous strands of human heart ventricles]. Morfologiya. 2007;131 (3):89. (in Russian).
3. Penteleichuk NP, Semeniuk TO. Morfolohiia sukhozhylkovykh strun peredserdno-shlunochkovykh klapaniv sertsia novonarozhennykh [Morphology of the neonatal heart atrioventricular veins tendon strings]. Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe. 2016;10 (2):52–4. (in Ukrainian).
4. Tverdokhlib IV. Prostorova rekonstruktsiia biolohichnykh ob'iektiv za dopomohoiu komp'iuternoho modeliuвання [Spatial reconstruction of biological objects using computer simulation]. Morfolohiia. 2007;1 (1):135–39. (in Ukrainian).
5. Burton RA, Lee P, Casero R, Gamy A, Siedlecka U, Schneider JE, et al. Three-dimensional histology: tools and application to quantitative assessment of cell-type distribution in rabbit heart. Europace. 2014;16 (4):86–95.

Надійшла до редакції 03.05.2018
Рецензент — проф. Слободян О.М.
 © Ю.Ю. Малик, 2018