Науковий вісник Ужгородського університету
Серія Біологія, Випуск 36, 2014: 63–68
© Пентелейчук Н. П., 2014

УДК 611.126-018.28

МОРФОЛОГІЯ НОРМАЛЬНО РОЗТАШОВАНИХ СУХОЖИЛКОВИХ СТРУН МІТРАЛЬНОГО ТА ТРИСТУЛКОВОГО КЛАПАНІВ СЕРЦЯ ЛЮДИНИ

Пентелейчук Н. П.

Морфологія нормально розташованих сухожилкових струн мітрального та тристулкового клапанів серця людини — Н. П. Пентелейчук — *Метою дослідження було вивчити морфологічну будову та поляризаційні властивості сухожилкових струн передсердно-шлуночкових клапанів серця плодів, новонароджених і дітей грудного віку з використанням макроскопічного, мікроскопічного, гістохімічного, імуногістохімічного, електронно-мікроскопічного методів дослідження, а також методу лазерної поляриметрії. У результаті проведеного макроскопічного дослідження встановлено, що стулки мітрального та тристулкового клапанів серця зв'язані з соскоподібними м'язами за допомогою сухожилкових струн, які мають вигляд тонких сполучнотканинних ниток. Кількість сухожилкових струн новонароджених в 2,5 рази перевищує кількість сухожилкових струн плодів, а сухожилкові струни дітей грудного віку перевищують кількість сухожилкових струн новонароджених в 1,07 рази.*

За мікроскопічною та субмікроскопічною будовою сухожилкові струни плодів належать до фіброзно-м'язового типу, новонароджених – до фіброзно-м'язового та фіброзного типів, у дітей грудного віку – фіброзного типу.

Представлені кількісні результати експериментальних досліджень поляризаційних мап зрізів сухожилкових струн фіброзного та фіброзно-м'язового типів підтверджує ефективність методу лазерної поляриметрії у визначенні оптичних шарів сухожилкових струн клапанів серця та у диференціації її тканинної організації.

Ключові слова: *сухожилкові струни, соскоподібний м'яз, мітральний клапан, тристулковий клапан, плоди, новонароджені, діти грудного віку.*

Адреса: *Буковинський державний медичний університет, кафедра гістології, цитології та ембріології, вул. О. Кобилянської, 42, м. Чернівці 5800, Україна, e-mail: p-nata79yandex.ru*

Morphology of normally located chordae tendineae of the mitral and tricuspid valves of the human hearts. — N. P. Penteleychuk. — *The objective of the research was to study morphological structure and polarization properties of tendinous cords of the atrial-ventricular heart valves of the fetuses, newborns and infants by means of macroscopic, microscopic, histochemical, immune-histochemical, electron microscopic and laser polarimetric methods. The macroscopic examination conducted has found that cusps of the mitral and tricuspid heart valves are connected by means of papillary muscles and tendinous cords looking like thin connective tissue threads. The number of tendinous cords of newborns is in 2,5 times higher than those of the fetuses, and tendinous cords of infants are in 1,07 times higher than those of newborns.*

According to microscopic and submicroscopic structure tendinous cords of fetuses belong to fibrous-muscular type, on newborns – to fibrous-muscular and fibrous types, and of infants – to fibrous type.

The suggested quantitative results of experimental studies of polarization maps of tendinous cords sections possessing fibrous and fibrous-muscular types prove the efficacy of laser polarimetric method in detection of optic layers of the tendinous cords in the heart valves and differentiation of their tissue organization.

Key words: *tendinous cords, papillary muscle, mitral valve, tricuspid valve, fetus, newborns, infants.*

Address: *Bukovinian State medical University, Department of Histology, Cytology and Embryology; 42, Kobylianska str., Chernivtsi 58000, Ukraine, e-mail: p-nata79yandex.ru*

Вступ

Клапанний апарат серця є складним морфологічним комплексом, що виконує регуляторну функцію під час серцевого циклу [2, 4, 5]. Його нормальне функціонування залежить від взаємозв'язку структурних компонентів [3, 6]. Морфологічні зміни будови сухожилкових струн (СС) призводить до порушення гемодинаміки, що в свою чергу призводить до анатомічної зміни та патології клапанного апарату серця, яка займає перше місце в структурі захворюваності дітей [1]. Комплексні морфологічні дослідження дозволять отримати повну об'єктивну інформацію про макро-, мікро- та субмікроскопічну будову СС.

Мета дослідження

Вивчення морфологічної будови та поляризаційних властивостей сухожилкових струн передсердно-шлуночкових клапанів серця плодів, новонароджених і дітей грудного віку в нормі.

Матеріал і методи

Дослідження СС мітрального клапана (МК) та тристулкового клапана (ТК) були проведені на 186 передсердно-шлуночкових клапанах (ПШК) серця, взятих із сердець 40 плодів (13-40 тижнів пренатального розви-

тку онтогенезу 81,0-375,0 мм тім'яно-куприкової довжини (ТКД)), 26-новонароджених (від народження до 28-ї доби життя) та 27 дітей грудного віку (3 28-ї доби до 1 року), які померли від причин, не пов'язаних із патологією серцево-судинної системи.

Одержаний матеріал фіксували у 10 % розчині нейтрального формаліну. Для вивчення сполучнотканинних і м'язових елементів СС, виготовляли серійні зрізи, проводили їх фарбування за стандартними методиками та методом ван-Гізон-Вейгерт.

Для електронно-мікроскопічного дослідження матеріал фіксували в 2,5 % розчині глутаральдегіду з активною реакцією середовища pH 7,3-7,4, приготовленому на фосфатному буфері Міллоніга. Ультратонкі зрізи контрастували 1 % водним розчином ураланіцетату та цитратом свинцю згідно методу Рейнольда та вивчали в електронному мікроскопі ПЕМ – 125К.

Імуногістохімічні реакції проводили на парафінових зрізах із використанням маркера CD34 (клон QBEnd 10, фірми DAKO) і системи візуалізації LSAB (Labelled Streptavidin-Biotin) (Lab Vision).

Оптичні властивості СС ПШК серця новонароджених та дітей грудного віку проводили за допомогою методики стокс-поляриметричного дослідження. В якості об'єктів дослідження використані оптично тонкі поздовжні заморожені зрізи СС ПШК серця новонароджених і дітей грудного віку товщиною 20-40 мікрометрів.

Результати досліджень та їх обговорення Результати макроскопічних досліджень встановили, що СС з'являються у вигляді тонких поодиноких тяжів у серцях плодів 130,0-135,0 мм ТКД.

СС плодів, новонароджених і дітей грудного віку відходять від верхівок СМ і залежно від фіксації поділяються на стулкові СС та СС комісуральних зон стулок ПШК серця.

Стулкові СС МК залежно від місця прикріплення поділяються на СС передньої та задньої стулок. СС передньої стулки представлені двома типами: СС потовщеної зони та опорні (рис. 1). СС задньої стулки представлені трьома типами струн: потовщеної зони, СС розщеплень задньої стулки та базальні.

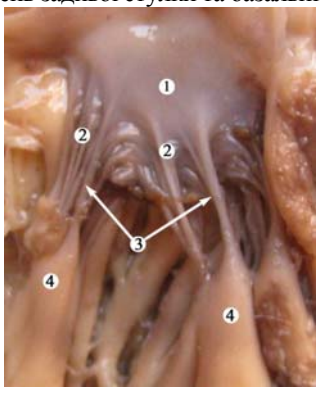


Рис. 1. Мітральний клапан серця новонародженої дитини, 10 день. Макропрепарат. Зб. 15^x:

1 – передня стулка клапана; 2 – сухожилкові струни потовщеної зони; 3– опорні сухожилкові струни 4 – соскоподібні м'язи.

Місцем поділу МК на передню та задню стулки є комісуральні СС, які поділяються на передньолатеральні комісуральні СС і задньо-медіальні комісуральні СС.

У ТК представлені п'ять типів СС: віялоподібні, СС вільного краю, потовщеної зони, глибокі та базальні.

У стулках МК та ТК серця плодів бальних СС не спостерігалося.

Серед комісуральних СС ТК виділяються: передньо-задні, задньо-перегородкові та передньо-перегородкові СС.

За даними макроскопічних досліджень, кількість СС ПШК новонароджених у 2,5 рази перевищує кількість СС у клапанах серця плодів. Кількість СС клапанів серця дітей грудного віку в 1,07 рази перевищує кількість СС у новонароджених.

Проведені світлооптичні дослідження показали, що у серці плодів 81,0-120,0 мм ТКД СС відсутні. До шлуночкової поверхні стулок ПШК прикріплюються СМ, міокард яких плавно переходить у мезенхіму стулки (рис. 2)

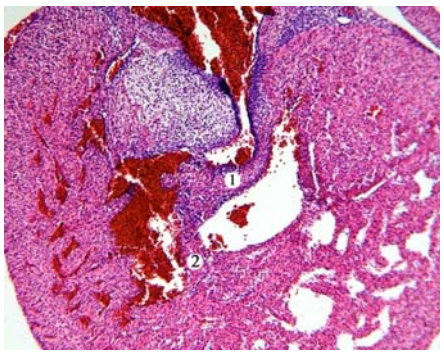


Рис. 2. Перехід верхівки соскоподібного м'яза у стулку тристулкового клапана серця плода 85,0 мм ТКД. Забарвлення гематоксиліном і еозином. Мікрофотографія. Зб.: 150^x:

1 – стулка клапана; 2 – соскоподібний м'яз правого шлуночка.

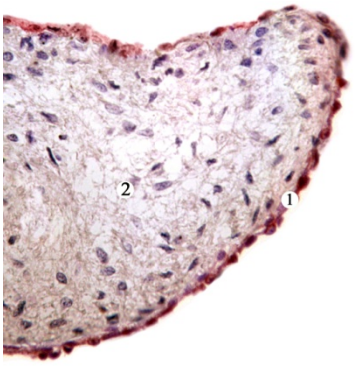


Рис. 3. Експресія CD34 (клон QBEnd 10, фірми DAKO) ендотеліоцитів сухожилкових струн мітрального клапана плода 280,0 мм ТКД. Мікрофотографія. Зб.: 400^x:

1 – ендотелій; 2 – товща сухожилкової струни.

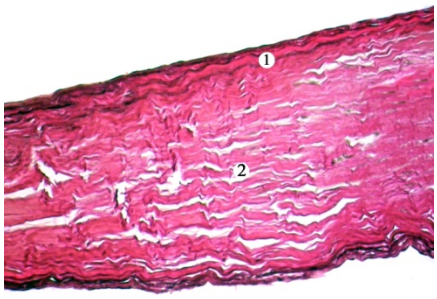


Рис. 4. Поздовжній зріз сухожилкової струни тристулкового клапана дитини грудного віку, 9 місяць. Забарвлення за методом ван-Гізон-Вейгерт. Мікрофотографія. Зб.: 150^{x}:

1 – еластичні волокна; 2 – товща сухожилкової струни.

Під шаром ендотелію в складі СС плодів новонароджених і дітей грудного віку розташовується підендотеліальний шар, у якому виявляються еластичні волокна (рис. 4) у проміжках між якими локалізуються поодиноко та хаотично розташовані колагенові волокна, оточені аморфним компонентом міжклітинної речовини.

Основа СС ПШК серця людини утворена щільним колагеновим стрижнем, який формують паралельні, прямолінійно спрямовані пучки колагенових волокон, між якими залягають клітини фібробластичного ряду.

При електронно-мікроскопічному дослідженні серед клітин фібробластичного ряду ідентифікували: юні фібробласти, зрілі фібробласти, фіброцити (рис. 5) та міофібробласти.

У товщі СС клапанів серця плодів виявляються поперечно-посмуговані серцеві м'язові волокна, які у вигляді поздовжніх тяжів пронизують всю товщу СС на відміну від СС новонароджених, в яких зустрічаються пучки кардіоміоцитів, об'єднані в тяжі неправильної форми. У дітей грудного віку кардіоміоцити відсутні.

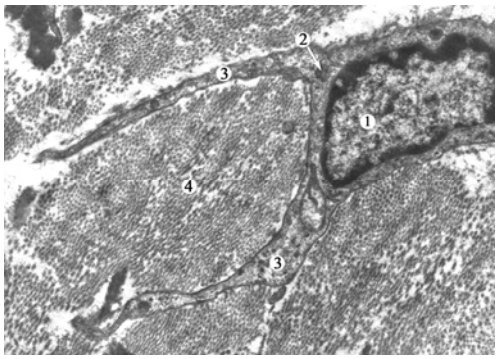


Рис. 5. Субмікроскопічна будова фіброцита сухожилкової струни тристулкового клапана дитини грудного віку, 4 місяць. Зб.: 6400^{x}:

1 – ядро фіброцита; 2 – лізосоми в цитоплазмі фіброцита; 3 – відростки фіброцита; 4 – пучки колагенових волокон.

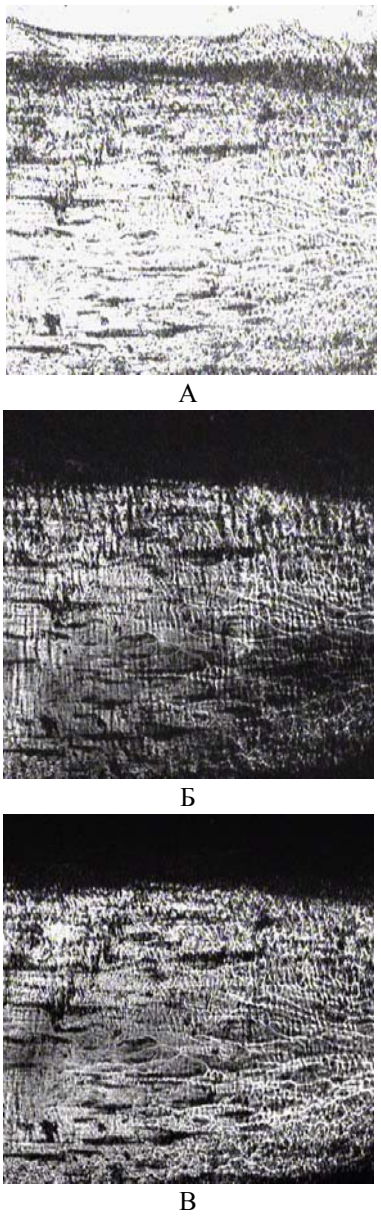


Рис. 6. Поляризаційні мапи зрізів сухожилкових струн передсердно-шлуночкових клапанів серця новонароджених дітей (орієнтація азимутів аналізатор-поляризатор 0–0 (А), 0–90 (Б), 45–135 (В)).

Метод лазерної поляриметрії дає можливість за допомогою поляризаційних проекцій візуалізувати ієрархічну тканинну будову СС ПШК серця із симетричною проекцією ендотеліального та підендотеліального шарів.

При проведенні досліджень СС ПШК серця новонароджених і дітей грудного віку з використанням методу лазерної поляриметрії в якості об'єктів дослідження використовувалися оптично тонкі (коефіцієнт ослаблення $\tau \leq 0.1$) гістологічні зрізи СС.

Вибрані для дослідження типи об'єктів об'єднує наявність оптично анізотропних компонентів із показниками двопроменезаломлення

$\Delta n \approx 1.5 \times 10^{-1}$ і $\Delta n \approx 1.5 \times 10^{-3}$, які візуалізуються в перехрещених поляризаторі та аналізаторі.

Аналіз поляризаційних мап, представлений на (рис. 6) поляризаційних зображень в різних станах азимутів та еліптичностей поляризації опромінюючого та аналізуючого каналів, показує наступні особливості проявів анізотропної архітектоніки наявних пучків колагенових, еластичних і м'язових волокон.

Поляризаційні проекції чітко візуалізують тканинну будову СС ПШК серця новонароджених дітей із симетричною структурою поздовжньої проекції поверхневого ендотеліального та підендотеліального шарів. В ортогональних проекціях відфільтровується будова волокнистих структур міжклітинної речовини, одночасна ідентифікація яких не візуалізується на картинах. Спостерігається накладання двох поляризаційних топологій в ортогональних проекціях, пов'язаних із наявними пучками коллагену, еластину та актиново-міозинових філаментів.

Вказані якісні оцінки підтверджені кількісними розрахунками гістограми розподілу інтенсивностей, кореляційної характеристики та спектру потужності сигналу інтенсивностей в поляризаційних зображеннях зразків (рис. 7).

На рис. 8 представлені розподіли інтенсивності в поляризаційних проекціях із структурованою гістограмою, на якій виділяються дві характерні області – з низькою інтенсивністю сигналу, яка пов'язана з наявними розупорядкованими актиново-міозиновими філаментами та рівномірною ділянкою середньої інтенсивності, яка ілюстрована з структурованою топологію фіброзного типу, що проявляється анізотропністю структури колагенових волокон.

З метою виявлення особливостей локалізації та взаємного розташування пучків колагенових та актиново-міозинових філаментів у зразках зрізів СС ПШК серця новонароджених дітей за одержаними інтенсивностями були розраховані зображення вектор-параметра Стокса S1–S4 – азимут поляризації 0^0 (рис. 8), вектор-параметра Стокса S4 – азимут поляризації 45^0 (рис. 9) та відповідні гістограми розподілу інтенсивностей, кореляційна характеристика та спектр потужності сигналу.

Таким чином, проведені експериментальні візуальні поляризаційні дослідження процесів перетворення амплітудно-фазових параметрів лазерного випромінювання полікристалічними шарами різних типів підтверджують їх оптичну анізотропію.

З метою вивчення можливості диференціювання у складі СС колагенових, еластичних і м'язових волокон проведені розрахунки поляризаційних розподілів – мапи азимутів та еліптичностей поляризації, координатні розподіли елементів матриці Мюллера.

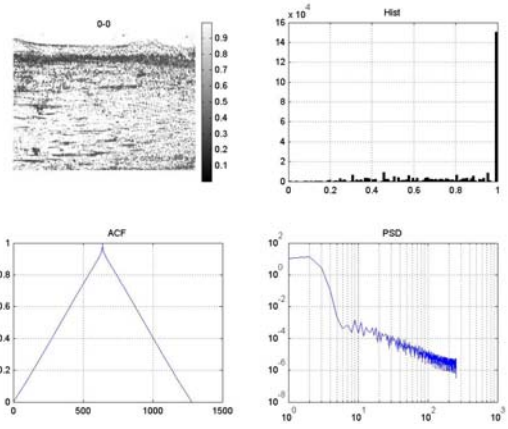


Рис. 7. Структура поляризаційної проекції (0–0) зрізів сухожилкових струн передсердно-шлуночкових клапанів серця новонароджених дітей та розраховані гістограми розподілу інтенсивностей, кореляційна характеристика та спектр потужності сигналу.

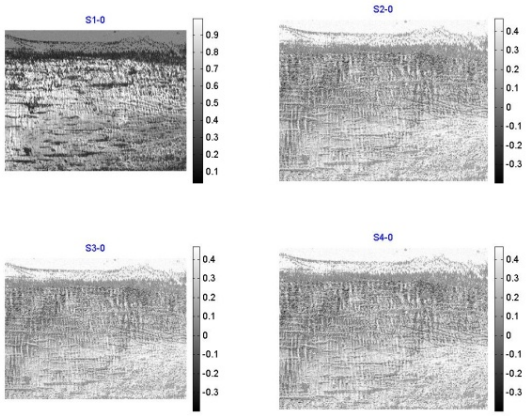


Рис. 8. Поляризаційні мапи вектор-параметра Стокса S1–S4 для зрізів сухожилкових струн передсердно-шлуночкових клапанів серця новонароджених дітей (азимут поляризації 0^0).

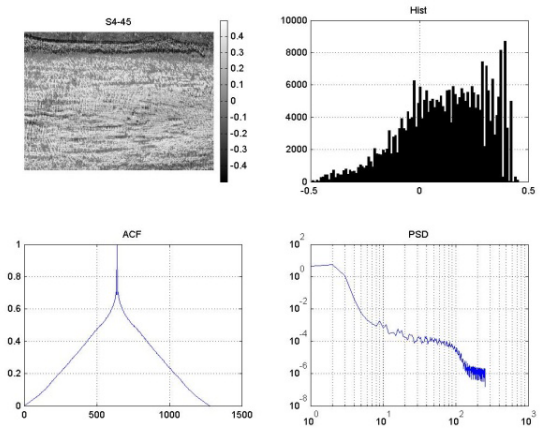


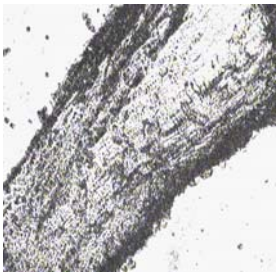
Рис. 9. Поляризаційна мапа вектор-параметра Стокса S4 для зрізів сухожилкових струн передсердно-шлуночкових клапанів серця новонароджених дітей (азимут поляризації 45^0).

Координатні розподіли елементів матриці Мюллера виділяють анізотропну розгалужену топографію колагенових волокон для ситуації аналізу зображень мап еліптичностей поляризації та у циркулярних станах.

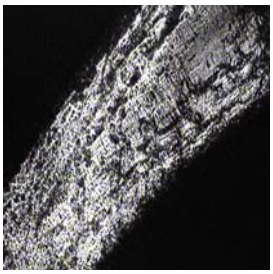
Порівняльний аналіз серії логарифмічних залежностей спектрів потужностей координатних розподілів елементів матриці Мюллера полікристалічного шару аспарагіну виявив їх мультифрактальність. Для кожного Мюллер-матричного зображення існує дві характерні фрактальні розмірності, як і у випадку модельного аналізу властивостей сітки циліндричних.

Аналіз поляризаційних властивостей полікристалічного шару СС із іншою (радіальною) структурою полікристалічної сітки (виключно волокнистого типу), виявив відмінності топологічної структури Мюллер-матричних зображень від аналогічних залежностей, визначених для кристалічного шару СС (рис. 10).

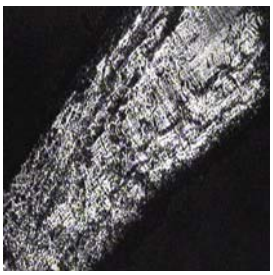
Результати поляризаційних мап, розподілів еліптичностей поляризації та вектора Стокса для зображень зрізів СС МК і ТК серця новонароджених дітей фіброзного типу представлені на (рис. 11).



А



Б



В

Рис. 10. Поляризаційні мапи зрізів сухожилкових струн новонароджених дітей фіброзного типу (орієнтація азимутів аналізатор-поляризатор 0–0 (А), 0–90 (Б), 45–135 (В)).

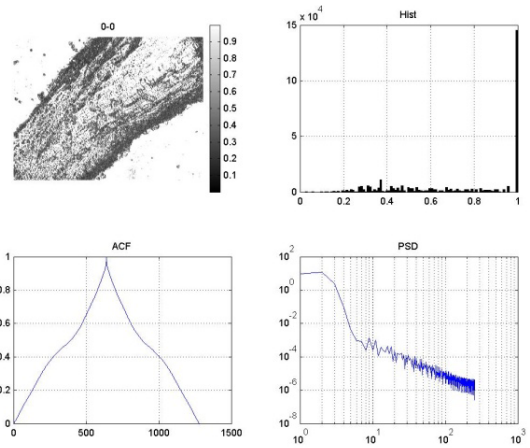


Рис. 11. Структура поляризаційної проекції (0–0) зрізів сухожилкових струн новонароджених дітей фіброзного типу та розраховані гістограми розподілу інтенсивностей, кореляційна характеристика та спектр потужності сигналу.

Результати представлених досліджень поляризаційної структури зображень СС ПШК серця вибраного типу показали, що орієнтаційно-фазова структура СС фіброзного типу більш складна, вона представлена у вигляді суперпозиції багатьох моношарів сіток біологічних кристалів із упорядкованими напрямками оптичних осей.

Топологічна структура зображень вектор-параметра Стокса S4 для зрізів СС фіброзного типу дітей грудного віку (азимут поляризації 45^0) полікристалічного шару СС фіброзного типу характеризується крупномасштабними доменами, геометричні розміри яких більші за аналогічні ділянки у координатних розподілах зображень вектор-параметра Стокса S4 полікристалічної сітки шару СС

Представлені кількісні результати експериментальних досліджень поляризаційних мап зрізів СС фіброзного типу підтверджує ефективність методів лазерної поляриметрії оптичних шарів тканини СС клапанів серця у диференціації її тканинної організації.

Висновки

Таким чином, результати дослідження показали, що СС плодів, новонароджених і дітей грудного віку мають вигляд сполучнотканинних тяжів, що відходять від верхівок СМ і фіксуються до стулок ПШК серця. За мікроскопічною та субмікроскопічною будовою сухожилкові струни плодів належать до фіброзно-м'язового типу, новонароджених – до фіброзно-м'язового та фіброзного типів, у дітей грудного віку – фіброзного типу.

Використання методу лазерної поляриметрії цілком підтверджує дані світлооптичних та електронно-мікроскопічних досліджень щодо морфологічної будови СС ПШК серця новонароджених і дітей грудного віку. Оптичні властивості СС МК та ТК серця дають можливість диференціювати у їх складі колагенові, еластичні та м'язові волокна, підтверджуючи типоналежність СС.

1. *Вроджені вади* серця у новонароджених: частота, структура чинники їх виникнення / В. Галаган, О. Тимченко, Ю. Щербак [та ін.] // Современная педиатрия. – 2007. – № 2. – С. 177–178.
2. *Зозуля Е.С. Особенности строения предсердно-желудочковых* клапанов сердца в онтогенезе человека / Е.С. Зозуля // Український морфологічний альманах. – 2006. – Т. 4, № 4. – С. 30–32.
3. *Костиленко Ю.П.* Трабекулярные образования и сухожильне хорды левого желудока сердца человека / Ю.П. Костиленко, А.П. Степанчук // Вісник морфології. – 2010. №16(1). – С. 66–70.
4. *Лобко П.И.* Микроскопическая анатомия мясистых трабекул, сосочковых мышц и сухожильных хорд желудочков сердца человека / П.И. Лобко, А.Р. Ромбальская // Клінічна анатомія та оперативна хірургія. – 2010. – Т. 9, № 1. – С. 60–63.
5. *Степанчук А.П.* Морфометрические исследования передсердно-желудочкових клапанов в норме / А.П. Степанчук // Вісник проблем біології і медицини. – 2012. – Т. 1 (94), № 3. – С. 162–165.
6. *Gusukuma W.L.* Chordae tendineae architecture in the papillary muscle insertion / W. L. Gusukuma, J. C. Prates, R. L. Smith // Int. J. Morphol. – 2004. – Vol. 22(4). – P. 267–272; 9. Martin Misfeld Heart valve macro- and microstructure / Martin Misfeld, Hans-Hinrich Sievers // Philosophical Transactions of the Royal Society. – 2007. – Vol. 362. – P. 1421–1436.

Отримано: 8 липня 2014 р.
Прийнято до друку: 9 вересня 2014 р.