

ФІЗИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТИПОВИХ СУХОЖИЛКОВИХ СТРУН АТРІОВЕНТРИКУЛЯРНИХ КЛАПАННИХ АПАРАТІВ СЕРЦЯ У ДІТЕЙ ПЕРІОДУ НОВОНАРОДЖЕНОСТІ ЗА УМОВ НОРМИ

Н.П. Пентелейчук, Т.О.Семенюк, А.А. Ходоровська

Буковинський державний медичний університет, м. Чернівці, Україна

Ключові слова: новонароджені, сухожилкові струни, передсердно-шлуночкові клапани, мітральний клапан, тристулковий клапан, лазерна поляриметрія, світлова мікроскопія.

Буковинський медичний вісник. 2024. Т. 28, № 2 (110). С. 83-87.

DOI: 10.24061/2413-0737.28.2.110.2024.13

E-mail:

pentelejchuk.nataliia@bsmu.edu.ua
semeniuk.tetiana@bsmu.edu.ua
khorodovska.alla@bsmu.edu.ua

Резюме. У роботі представлена мікроскопічна будова та поляризаційна характеристика сухожилкових струн мітрального та тристулкового клапанів серця новонароджених дітей у нормі на основі гістологічних зрізів.

Мета роботи – вивчити гістологічні препарати сухожилкових струн передсердно-шлуночкових клапанів серця новонароджених дітей за допомогою світлової мікроскопії, а також за допомогою методу лазерної поляриметрії.

Матеріал і методи. Дослідження виконані на 34 передсердно-шлуночкових клапанах, взятих із сердець новонароджених дітей (від народження до 28-ї доби життя). При дослідженні використано світлооптичний та поляризаційний методи.

Результати. Із використанням морфологічного методу дослідження здійснено дослідження структурних компонентів сухожилкових струн мітрального та тристулкового клапанів серця новонароджених в нормі та встановлена гістоархітектоніка їх складових на поляризаційному рівні.

Висновки. Таким чином, отримані дані проведених досліджень із використанням методу лазерної поляриметрії підтвердили дані світлової мікроскопії про будову типових сухожилкових струн атріовентрикулярних клапанних апаратів серця новонароджених. Даний метод дає можливість розрізнити у складі сухожилкових струн волокнисті компоненти міжклітинної речовини сполучної тканини та скоротливі кардіоміоцити, а також диференціювати їх на два типи сухожилкових струн - фіброзно-м'язового та фіброзного.

PHYSICAL CHARACTERISTICS OF TYPICAL CHORDAE TENDINEAE OF ATRIOVENTRICULAR VALVULAR HEART APPARATUSES IN CHILDREN OF THE NEONATAL PERIOD IN NORM

N.P. Penteleichuk, T.O. Semeniuk, A.A. Khodorovska

Key words: newborns, chordae tendineae, atrioventricular valves, mitral valve, tricuspid valve, laser polarimetry, light microscopy.

Bukovinian Medical Herald.

2024. V. 28, № 2 (110). P. 83-87.

Resume. This article presents the microscopic structure and polarization characteristics of the chordae tendineae of the mitral and tricuspid heart valves of normal newborns based on histological sections.

The purpose – to study histological specimens of chordae tendineae of atrioventricular heart valves of newborn children using light microscopy, as well as using the method of laser polarimetry.

Material and methods. The studies were performed on 34 atrioventricular valves taken from the hearts of newborn children (from birth to the 28th day of life). The light-optical and polarization methods were used in the research.

Results. The structural components of the chordae tendineae of the mitral and tricuspid heart valves of newborns in norm were studied using the morphological method and the histoarchitectonics of their components at the polarization level was established.

Conclusions. Thus, the obtained data of these studies using the method of laser polarimetry completely confirmed the data of the structure of the typical chordae tendinea of the cardiac atrioventricular valvular apparatuses of newborns using light microscopy. This method makes it possible to differentiate fibrous components of the extracellular matrix of connective tissue and contractile cardiac muscle cells within the chordae tendinea, as well as to differentiate chordae tendinea into two types: fibro-muscular and fibrous.

Оригінальні дослідження

Вступ. Перше місце серед причин інвалідності та смертності дітей посідають аномалії розвитку клапанів серця та їх структурних складових, які діагностуються як уроджені або набуті вади [1, 2]. Клапанний апарат серця є складним морфологічним комплексом, який виконує важливу функцію під час серцевого циклу [3, 4]. Ушкодження однієї із його структурних складових призводить до появи його патології, що, у свою чергу, викликає зміни в гемодинаміці [5, 6]. Клапанний апарат серця дітей у теперішній час досить часто є об'єктом оперативних втручань [7, 8]. Без оперативного втручання близько 60 % немовлят з аномаліями серця помирає впродовж першого року життя [9].

У зв'язку зі зростаючою необхідністю більш глибокого вивчення етіології і патогенезу захворювань серцево-судинної системи, пізнання механізмів, що лежать в основі цих станів, збільшився інтерес до фізичних методів дослідження, які вивчають явища світлорозсіяння, за допомогою якого можна отримати об'єктивні дані динаміки змін досліджуваної біологічної тканини організму [10].

Методи лазерної поляриметрії дають додаткову інформацію про морфологічну та оптико-анізотропну структуру біологічних тканин у нормі та за патології, яка спрямована на візуалізацію та отримання інформативних зображень поляризаційно-неоднорідних об'єктних полів та їх статистичний аналіз [10, 11]. Поле випромінювання, розсіяне біологічною тканиною, стає носієм інформації про її властивості [10]. Встановлено, що така інформація міститься у фотометричних, спектральних, поляризаційних і кореляційних характеристиках світлових коливань, що дає можливість встановити критерії діагностики стану біологічних тканин у нормі та при патології [11].

Мета роботи – вивчити гістологічні препарати сухожилкових струн передсердно-шлуночкових клапанів серця новонароджених дітей за допомогою світлової мікроскопії, а також за допомогою методу лазерної поляриметрії.

Матеріал і методи. Дослідження виконано на 34 препаратах передсердно-шлуночкових клапанів сердець новонароджених дітей (від народження до 28-ї доби життя), причини смерті яких не пов'язані зі серцево-судинними захворюваннями. Для світлової мікроскопії біологічний матеріал вилучали та фіксували в 10 % розчині нейтрального формаліну. Після фіксації проводили зневоднення матеріалу та заливали в парафін і виготовляли серійні зрізи товщиною 5-7 мкм. З метою вивчення загальної будови використовували барвники гематоксилін та еозин. Для виявлення колагенових, еластичних волокон та поперечнопосмугової серцевої м'язової тканини у складі сухожилкових струн, серійні зрізи забарвлювали методами ван Гізон, ван Гізон-Вейгерта та Слінченко.

Для поляризаційного дослідження зображень біологічних тканин сухожилкових струн мітрального та тристулкового клапанів серця досліджувалися

заморожені гістологічні зрізи (26 препаратів), що були виготовлені на заморожуючому мікромомі без депарафінації товщиною 20-35 мкм не фарбовані.

Результати дослідження та їх обговорення. Світлооптичне дослідження типових сухожилкових струн атріовентрикулярних клапанів серця новонароджених дітей показало, що їх поверхня вистелена ендокардом, який складається із ендотеліального шару та розташованого під ним підендотеліального шару ендокарда, в якому еластичні волокна лежать у вигляді сітки. Основа сухожилкових струн мітрального та тристулкового клапанів серця утворена щільною оформленою волокнистою сполучною тканиною, до складу якої входять паралельно розташовані пучки колагенових волокон, клітини фібробластичного ряду, в основному, це фіброласти і фіброцити та аморфний компонент міжклітинної речовини (рис. 1).

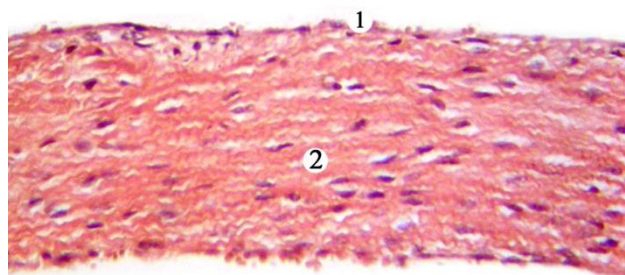


Рис. 1. Поздовжній зріз сухожилкової струни мітрального клапана серця новонародженого, 9-й день. Забарвлення гематоксиліном і еозином. Мікрофотографія. Зб.: 150 \times : 1 – ендотелій; 2 – товща сухожилкової струни

Більша кількість типових сухожилкових струн (72 %) побудована лише з щільної оформленої волокнистої сполучної тканини. У товщі 28 % сухожилкових струн, окрім паралельних пучків колагенових волокон і клітин фібробластичного ряду, спостерігалася поперечнопосмугована серцева м'язова тканина у вигляді скупчення серцевих м'язових клітин – типових кардіоміоцитів. У товщі таких сухожилкових струн спостерігалися кровоносні судини мікроциркуляторного русла.

При проведенні досліджень сухожилкових струн атріовентрикулярних клапанів серця новонароджених дітей з використанням методу лазерної поляриметрії об'єктом дослідження слугували депарафіновані, заморожені гістологічні зрізи сухожилкових струн товщиною 20-35 мкм (коефіцієнт ослаблення $\tau \leq 0.1$).

Щоб розрізнити у складі типових сухожилкових струн передсердно-шлуночкових клапанів сердець новонароджених дітей волокнисті компоненти (колагенові волокна, еластичні волокна) міжклітинної речовини сполучної тканини та скоротливі кардіоміоцити, проведені обрахунки поляризаційних розподілів – мапи азимутів та еліптичностей поляризації, координатні розподіли елементів матриці Мюллера.

З Мюллер-матричних ілюстрацій, які визначають поляризаційні характеристики впорядкованої сітки оптично - одноосних кристалів типових сухожилкових струн, виходить, що координатні розподіли діагональних матричних елементів M_{22} і M_{33} утворені поляризаційними доменами $M_{22}(m \times n) \approx \text{const}$, $M_{33}(m \times n) \approx \text{const}$ (рис. 2).

Статистика для $M_{44}(x, y)$

Mean	=	-0.0126933
Math. waiting	=	-0.0126933
S. K. V.	=	0.1916296
Dispersion	=	0.0367219
Assimetrie	=	-0.0212024
Extcess	=	-0.2764270
Median	=	-0.01308275
Median	=	0.2844130

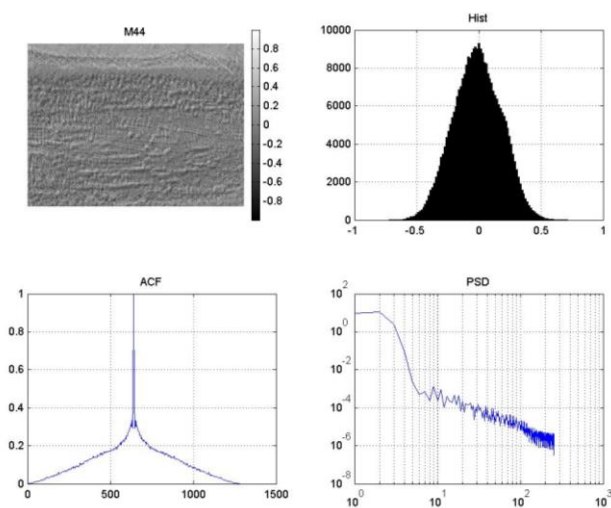


Рис. 2. Двовимірні розподіли елементів матриці Мюллера упорядкованих пучків волокон зрізів сухожилкових струн атріовентрикулярних клапанів серця дітей періоду новонародженості із кількісним статистичним аналізом моментів вищих порядків

Топологічна побудова таких доменів близька за розмірами та орієнтацією до структури локальних мікрокристалів шарів сухожилкових струн. Переважна більшість значень матричних елементів M_{22} і M_{33} у межах поляризаційних доменів набагато менша за 1. Даний факт пов'язаний із тим, що елементи M_{22} і M_{33} характеризують ступінь збереження стану лінійної поляризації опромінюючої лазерної хвилі при проходженні крізь кристалічну сітку.

З іншого боку, сукупність кристалічних структур шарів сухожилкових струн виразно перетворює тип і форму поляризації лазерного випромінювання за рахунок фазової модуляції між ортогональними компонентами амплітуди лазерної хвилі. Такий механізм виявляється у великих значеннях координатних розподілів значень елемента $M_{44}(m \times n)$, який характеризує фазозсуваючу здатність структурних компонентів сухожилкових струн у кожній його точці.

Процеси взаємних перетворень станів поляризації (поворот площини поляризації та формування еліптичності поляризації) характеризує серія інших Мюллер-матричних зображень ($M_{23}(m \times n)$ – поворот площини поляризації; $M_{24}(m \times n)$, $M_{34}(m \times n)$ – формування еліптичності поляризації).

Порівняльний аналіз координатної структури всієї сукупності Мюллер-матричних зображень недиагональних елементів виявив, що переважним типом механізму взаємодії лазерного випромінювання із полікристалічними шарами сухожилкових струн є явище двопронезаломлення. Таке твердження випливає із більш високих значень координатно-розподілених поляризаційних доменів Мюллер-матричних зображень елементів $M_{24}(m \times n)$ та $M_{34}(m \times n)$ порівняно з координатним розподілом іншого Мюллер-матричного зображення елемента $M_{23}(m \times n)$ (див. рис. 3).

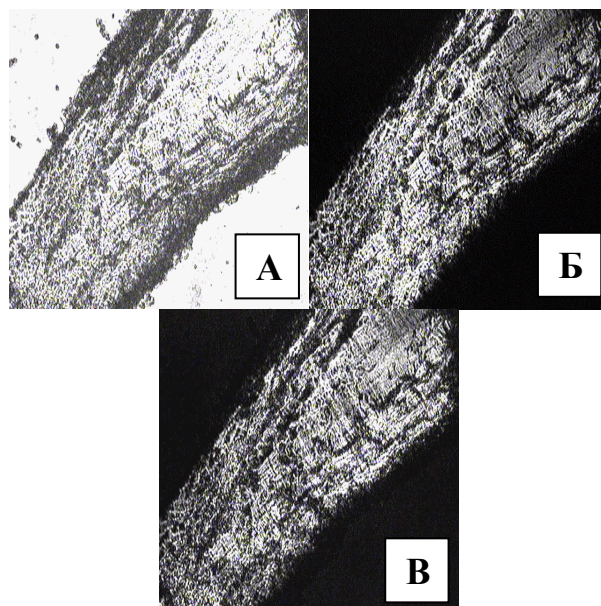


Рис. 3. Поляризаційні мапи зрізів типових сухожилкових струн атріовентрикулярних клапанів серця дітей періоду новонародженості фіброзного типу (орієнтація азимутів аналізатор-поляризатор 0–0 (А), 0–90 (Б), 45–135 (В)).

Об'єктивно координатну структуру Мюллер-матричних елементів $M_{ik}(m \times n)$ характеризує набір відповідних гістограм $h(M_{ik}(m \times n))$ і сукупність статистичних моментів 1-го – 4-го порядків.

Порівняльний аналіз гістограм $h(M_{ik}(m \times n))$ розподілу відносних значень сукупності елементів матриці Мюллера виявив широкий діапазон зміни їх значень порівняно із дзвоноподібною будовою відповідних гістограм розподілів азимутів і еліптичності поляризаційних зображень кристалічних сіток із впорядкованими напрямками оптичних осей.

Такі розбіжності модельних і теоретичних значень даних, на нашу думку, пов'язані з тим, що полікристалічний шар сухожилкових струн

Оригінальні дослідження

складається із сукупності різноорієнтованих кристалічних моноблоків (див. рис. 4). Поляризаційні властивості сітки біологічних кристалів у межах окремого моноблоку близькі та однотипні, що впливає із незначної зміни відносних значень матричних елементів у межах відповідного домену розподілу $M_{ik}(m \times n)$. З іншого боку, поляризаційні властивості іншого моноблоку суттєво відрізняються від сусіднього за рахунок іншої орієнтації оптичних осей його кристалічної сітки. Таким чином, вся сукупність моноблоків полікристалічного шару формує свій внесок у розподіл значень його Мюллер-матричних зображень.

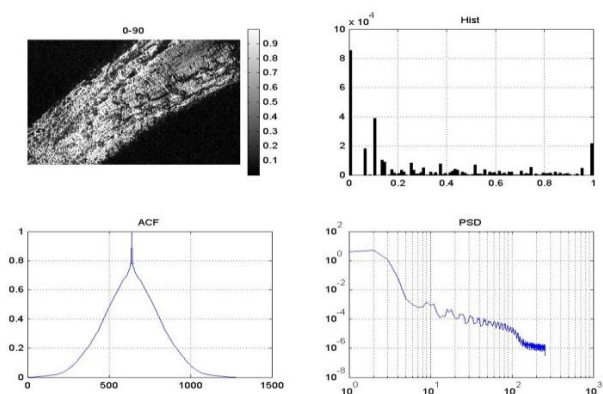


Рис. 4. Структура поляризаційної проєкції (0–90) зрізів типових сухожилкових струн атріовентрикулярних клапанів серця дітей періоду новонародженості фіброзного типу та розраховані гістограми розподілу інтенсивностей, кореляційна характеристика та спектр потужності сигналу

Складний координатний розподіл поляризаційних властивостей полікристалічного шару сухожилкових струн підтверджує і відмінні від нуля значення статистичних моментів 3-го і 4-го порядків, які характеризують $M_{ik}(m \times n)$. Апроксимуючі криві логарифмічних залежностей спектрів потужності елементів матриці Мюллера $M_{ik}(m \times n)$ характеризуються двома переважними кутами нахилу.

Отже, незважаючи на зміну оптико-геометричної

будови полікристалічної сітки, як і у випадку циліндричних кристалів типу волокнистого, її поляризаційні властивості описуються мультифрактальною множиною Мюллер-матричних зображень. Поляризаційної структури зображень сухожилкових струн вибраного типу показали, що сухожилкові струни фіброзного типу являють собою суперпозицію моношарів впорядкованих, за напрямком оптичних осей, циліндричних кристалів фібрил колагену.

Результати досліджень поляризаційної структури зображень сухожилкових струн показали, що орієнтаційно-фазова структура сухожилкових струн фіброзного типу більш складна порівняно з будовою сухожилкових струн, у складі яких є м'язові волокна, вона представлена у вигляді суперпозиції багатьох моношарів сіток біологічних кристалів із упорядкованими напрямками оптичних осей.

Отже, представлені кількісні результати експериментальних досліджень поляризаційних мап зрізів сухожилкових струн передсердно-шлуночкових клапанів новонароджених підтверджують ефективність методів лазерної поляриметрії оптичних шарів тканини сухожилкових струн у диференціації її тканинної організації.

Висновки. Таким чином, отримані дані проведених досліджень із використанням методу лазерної поляриметрії підтвердили дані світлової мікроскопії про будову типових сухожилкових струн атріовентрикулярних клапанних апаратів серця новонароджених. Даний метод дає можливість розрізнити у складі сухожилкових струн волокнисті компоненти міжклітинної речовини сполучної тканини та скоротливі кардіоміоцити, а також диференціювати їх на два типи сухожилкових струни фіброзно-м'язового та фіброзного.

Перспективи подальших досліджень. Отримані дані можуть бути підґрунтям для морфологічної діагностики стану сухожилкових струн дітей у нормі та при аномаліях клапанного апарату серця дітей з подальшою розробкою адекватних методів профілактики та лікування серцево-судинних захворювань.

Список літератури

1. Касьянова АЮ, Лебідь ІГ. Медико-психологічні особливості якості життя молодих дорослих пацієнтів із прооперованими вродженими вадами серця. Журнал клінічних та експериментальних досліджень. 2014;2(3):365-72.
2. Симівська Р. Морфологічні особливості клапанних апаратів серця людини й експериментальних тварин у нормі та за умов впливу патогенних чинників. Праці НТШ Медичні науки. 2018;54(2):26-32.
3. Попадинець ОГ, Саган ОВ, Дубина НМ. Клапани серця людини: розвиток, макро- та мікроскопічна будова, особливості кровопостачання. Буковинський медичний вісник. 2014;18(4):212-16.
4. Симівська РР. Макро-, мікро- та ультраструктурна організація тристулкового та двостулкового клапанів серця. Клінічна анатомія та оперативна хірургія. 2018;17(4):24-9.
5. Hosapatna M, Souza AD, Ankolekar VH. Morphology of the papillary muscles and the chordae tendineae of the ventricles of adult human hearts. Cardiovascular pathology. 2022;56(4):107383. doi: 10.1016/j.carpath.2021.107383.
6. Ross CJ, Zheng J, Ma L, Wu Y, Lee C-H. Mechanics and Microstructure of the Atrioventricular Heart Valve Chordae Tendineae: A Review. Bioengineering (Basel). 2020;7(1):25. doi: 10.3390/bioengineering7010025.
7. Пукас КВ, Лазоришинець ВВ. Клапанозберігаючі операції на хордо-папілярному континуумі при протезуванні мітрального клапана. Клінічна хірургія. 2020;87(1-2):8-10.
8. Chen S, Sari CR, Gao H, Lei Y, Segers P, De Beule M, et al. Mechanical and morphometric study of mitral valve chordae tendineae and related papillary muscle. J Mech Behav Biomed Mater. 2020;111:104011. doi: 10.1016/j.jmbbm.2020.104011.

9. Серцево-судинні захворювання — головна причина смерті українців. Висновки з дослідження глобального тягаря хвороб у 2019 році [Интернет]. [Цитовано 2021 січень 04]. Доступно: <https://phc.org.ua/news/sercevo-sudinni-zakhvoryuvannya-golovna-prichina-smerti-ukrainciv-visnovki-z-doslidzhennya>.
10. Бачинський ВТ, Ванчуляк ОЯ, Сивокоровська А-ВС, Гараздюк МС, Паливода ОГ. Перспективи використання лазерних поляриметричних методів дослідження біотканин та середовищ організму людини. Актуальні проблеми сучасної медицини: Вісник української стоматологічної академії. 2015;15(3):193-98.
11. Ушенко ОГ, Пішак ВП, Пересунько ОП, Ушенко ЮО. Поляризаційна корелометрія біологічних тканин людини. Чернівці: Рута; 2007. 606 с.

References

1. Kas'ianova AIu, Lebid' IH. Medyko-psykholohichni osoblyvosti yakosti zhyttia molodykh doroslykh patsientiv iz prooperovanomu vrodzhenomu vadamy sertsia [Medical and psychological characteristics of the quality of life of young adult patients with operated on congenital heart defects]. Zhurnal klinichnykh ta eksperymental'nykh doslidzhen'. 2014;2(3):365-72. (in Ukrainian).
2. Symivs'ka R. Morfolohichni osoblyvosti klapannykh aparativ sertsia liudyny y eksperymental'nykh tvaryn u normi ta za umov vplyvu patohennykh chynnykiv [Morphological features of the valvular apparatus of the human heart and experimental animals in normal conditions and under the influence of pathogenic factors]. Pratsi NTSh Medychni nauky. 2018;54(2):26-32. (in Ukrainian).
3. Popadynets' OH, Sahan OV, Dubyna NM. Klapany sertsia liudyny: rozvytok, makro- ta mikroskopichna budova, osoblyvosti krovopostachannia [Human heart valves: development, macro- and microscopic structure, features of blood supply]. Bukovyns'kyi medychnyi visnyk. 2014;18(4):212-16. (in Ukrainian).
4. Symivs'ka RR. Makro-, mikro- ta ul'trastrukturna orhanizatsiia trystulkovoho ta dvostulkovoho klapany sertsia [Macro-, micro- and ultrastructural organization of tricuspid and bicuspid heart valves]. Klinichna anatomiia ta operatyvna khirurhiia. 2018;17(4):24-9. (in Ukrainian).
5. Hosapatna M, Souza AD, Ankolekar VH. Morphology of the papillary muscles and the chordae tendineae of the ventricles of adult human hearts. Cardiovascular pathology. 2022;56(4):107383. doi: 10.1016/j.carpath.2021.107383.
6. Ross CJ, Zheng J, Ma L, Wu Y, Lee C-H. Mechanics and Microstructure of the Atrioventricular Heart Valve Chordae Tendineae: A Review. Bioengineering (Basel). 2020;7(1):25. doi: 10.3390/bioengineering7010025.
7. Pukas KV, Lazoryshynets' VV. Klapanozberihaiuchi operatsii na khordo-papiliarnomu kontynuumi pry protezuvanni mitral'noho klapana [Valve Preservation operations on the chordo-papillary continuum during mitral valve prosthetics]. Klinichna khirurhiia. 2020;87(1-2):8-10. (in Ukrainian).
8. Chen S, Sari CR, Gao H, Lei Y, Segers P, De Beule M, et al. Mechanical and morphometric study of mitral valve chordae tendineae and related papillary muscle. J Mech Behav Biomed Mater. 2020;111:104011. doi: 10.1016/j.jmbbm.2020.104011.
9. Sertsevo-sudynni zakhvoriuvannia — holovna prychna smerti ukrainsiv. Vysnovky z doslidzhennia hlobal'noho tiaharia khvorob u 2019 rotsi [Cardiovascular diseases are the main cause of death of Ukrainians. Findings from the Global Burden of Disease Study 2019] [Internet]. [Cited 2021 Jan 04]. Available from: <https://phc.org.ua/news/sercevo-sudinni-zakhvoryuvannya-golovna-prichina-smerti-ukrainciv-visnovki-z-doslidzhennya>. (in Ukrainian).
10. Bachyns'kyi VT, Vanchuliak OIa, Syvokorovs'ka A-VS, Harazdiuk MS, Palyvoda OH. Perspektyvy vykorystannia lazernykh poliarymetrychnykh metodiv doslidzhennia biotkanyu ta seredovysch orhanizmu liudyny [Prospects for the use of laser polarimetric methods for the study of biotissues and environments of the human body]. Aktual'ni problemy suchasnoi medytsyny: Visnyk ukrains'koi stomatolohichnoi akademii. 2015;15(3):193-98. (in Ukrainian).
11. Ushenko OH, Pishak VP, Peresun'ko OP, Ushenko YuO. Poliaryzatsiina korelometriia biolohichnykh tkanyu liudyny [Polarization correlometry of human biological tissues. Chernivtsi: Ruta; 2007. 606 p. (in Ukrainian).

Відомості про авторів

Пентелейчук Наталія Петрівна – канд.біол.наук, доцент кафедри гістології, цитології та ембріології Буковинського державного медичного університету, м. Чернівці, Україна.

Семенюк Тетяна Олексіївна – канд.мед.наук, доцент кафедри гістології, цитології та ембріології Буковинського державного медичного університету, м. Чернівці, Україна.

Ходоровська Алла Анатоліївна – канд.мед.наук, доцент кафедри гістології, цитології та ембріології Буковинського державного медичного університету, м. Чернівці, Україна.

Information about the authors

Penteleichuk Nataliia Petrivna – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor at the Department of Histology, Cytology and Embryology, Bukovinian State Medical University, Chernivtsi, Ukraine.

Semeniuk Tetiana Oleksiivna – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor at the Department of Histology, Cytology and Embryology, Bukovinian State Medical University, Chernivtsi, Ukraine.

Khodorovska Alla Anatoliivna – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor at the Department of Histology, Cytology and Embryology, Bukovinian State Medical University, Chernivtsi, Ukraine.

Надійшла до редакції 12.03.24

Рецензент – проф. Присяжнюк В.П.

© Н.П. Пентелейчук, Т.О.Семенюк, А.А. Ходоровська, 2024