

УДК 611.127.018.28-053.31

МОРФОЛОГІЧНА БУДОВА ТА ПОЛЯРИЗАЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ СУХОЖИЛКОВИХ СТРУН ПЕРЕДСЕРДНО-ШЛУНОЧКОВИХ КЛАПАНІВ СЕРЦЯ НОВОНАРОДЖЕНИХ І ДІТЕЙ ГРУДНОГО ВІКУ В НОРМІ

Н.П. Пентелейчук

Вищий державний навчальний заклад України "Буковинський державний медичний університет", м. Чернівці

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

Резюме. Мета дослідження - вивчити морфологічну будову та поляризаційні властивості сухожилкових струн передсердно-шлуночкових клапанів серця новонароджених і дітей грудного віку з використанням макроскопічного та мікроскопічного методів дослідження, а також методу лазерної поляриметрії. У результаті проведеного макроскопічного дослідження встановлено, що стулки мітрального та тристулкового клапанів серця зв'язані з сосочкоподібними м'язами за допомогою сухожилкових струн, які мають вигляд тонких сполучнотканинних ниток. За мікроскопічною будовою сухожилкові струни новонароджених належать 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 підтверджують ефективність методу лазерної поляриметрії у визначенні оптичних шарів сухожилкових струн клапанів серця та у диференціації її тканинної організації.

Вступ

Однією із актуальних проблем сучасного суспільства є серцево-судинні захворювання. Актуальність проблеми вроджених вад серця зумовлена високою смертністю за даної патології [1, 3]. Незважаючи на значні успіхи в лікуванні серцевої недостатності, без оперативного лікування 55-70% дітей з вадами помирає на першому році життя [3]. Великий відсоток серед серцевої патології становлять вроджені вади клапанного апарату [1]. Тому дані, щодо морфологічної будови сухожилкових струн (СС) передсердно-шлуночкових клапанів (ПШК) серця мають в теперішній час певне значення для хірургічної практики при лікуванні вроджених і набутих вад серця, а також при операції протезування клапанів серця [2, 5].

На даний момент перспективними в цьому напрямку є фізичні методи дослідження з використанням методик кореляційної оптики, які, вивчаючи явища світлорозсіювання, дозволяють отримувати об'єктивні дані динаміки змін досліджуваних тканин організму [4].

Мета дослідження

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

Матеріал і методи

© Н.П. Пентелейчук, 2017

Дослідження СС мітрального клапана (МК) та тристулкового клапана (ТК) проведені на 106 ПШК серця, взятих із сердець 26-новонароджених (від народження до 28-ї доби життя) та 27 дітей грудного віку (з 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. Після фіксації матеріал зневоднювали та заливали в парафін і виготовляли серійні зрізи товщиною 10 мкм. Для вивчення сполучнотканинних і м'язових елементів СС виготовляли серійні зрізи, проводили їх фарбування за стандартними методиками та методами ван-Гізона-Вейгера, Слінченка.

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.

Обговорення результатів дослідження

Результати макроскопічного дослідження сердець новонароджених і дітей грудного віку показали, що стулки МК та ТК серця зв'язані, як правило, з відповідними сосочкоподібними м'язами (СМ) за допомогою СС, які мають вигляд тонких

фіброзних ниток.

СС 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.

Комісуральні СС прикріплюються до комісуральних зон стулок і визначають ділянку поділу МК на передню і задню стулки та поділяються на передньо-латеральні та задньо-медіальні комісу-

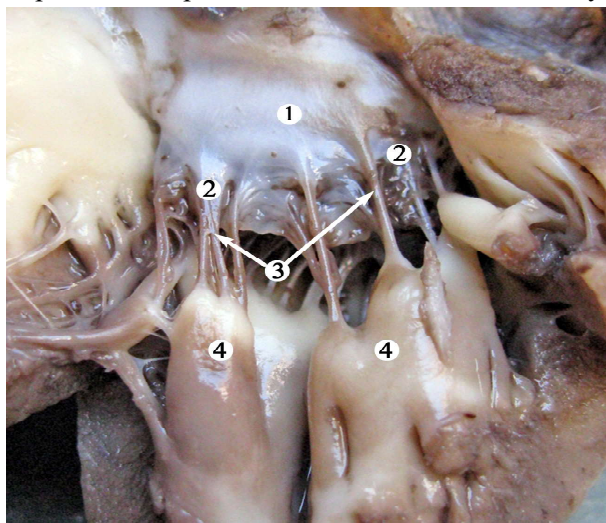


Рис. 1. Мітральний клапан серця дитини грудного віку, 10 місяць. Макропрепарат. Зб. 14х:

1 - передня стулка мітрального клапана; 2 - сухожилкові струни потовщеної зони; 3 - опорні сухожилкові струни; 4 - сосочкоподібні м'язи.

розташовані колагенові волокна, оточені аморфним компонентом міжклітинної речовини.

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

У товщі СС клапанів серця новонароджених трапляються пучки кардіоміоцитів, об'єднані в тяжі неправильної форми. У дітей грудного віку кардіоміоцити відсутні.

Метод лазерної поляриметрії дає можливість за допомогою поляризаційних проєкцій візуалізувати ієрархічну тканинну будову СС ПШК серця новонароджених і дітей грудного віку із симетричною проєкцією ендотеліального та підендотеліального шарів.

Вибрані для дослідження типи об'єктів об'єд-

ральні СС.

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

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

Проведені світлооптичні дослідження показали, що поверхня СС ПШК серця новонароджених і дітей грудного віку вкрита одним шаром ендотеліальних клітин, що лежать на товстій базальній мембрані. Під шаром ендотелію в складі СС новонароджених і дітей грудного віку розташовується підендотеліальний шар, у якому виявляються еластичні волокна (рис. 2), у проміжках між якими локалізуються поодинокі та хаотично

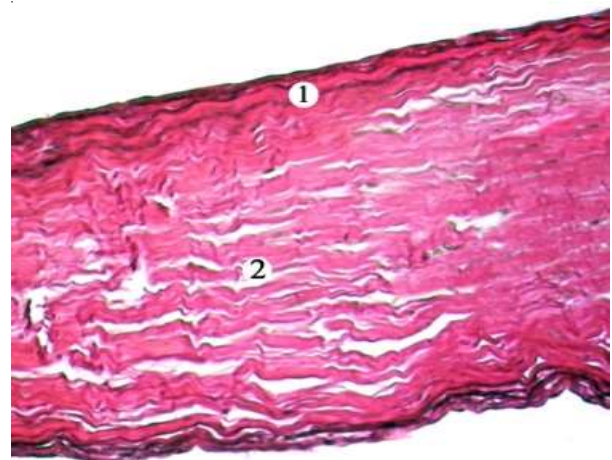


Рис. 2. Поздовжній зріз сухожилкової струни тристулкового клапана дитини грудного віку, 9 місяць. Забарвлення за методом ван-Гізон-Вейгерта. Мікрофотографія. Зб.: 150х: 1 - еластичні волокна; 2 - товща сухожилкової струни.

нує наявність оптично анізотропних компонентів із показниками двопронезаломлення $\Delta n \approx 1.5 \times 10^{-1}$ і $\Delta n \approx 1.5 \times 10^{-3}$, які візуалізуються в перехрещених поляризаторі та аналізаторі.

Під час проведення 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.

Аналіз поляризаційних мап, представлений на (рис. 3) поляризаційних зображень у різних станах азимутів та еліптичностей поляризації опромінюючого та аналізуючого каналів, показує особливості проявів анізотропної архітектоники наявних пучків колагенових, еластичних і м'язових волокон.

Поляризаційні проєкції чітко візуалізують тка-

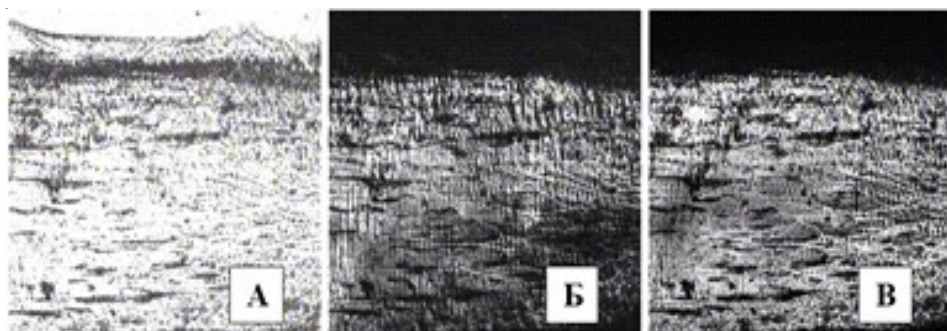


Рис. 3. Поляризаційні карти зрізів сухожилкових струн передсердно-шлуночкових клапанів серця новонароджених (орієнтація азимутів аналізатор-поляризатор 0-0 (А), 0-90 (Б), 45-135 (В)).

нинну будову СС ПШК серця новонароджених 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 колагену, еластину та актиново-міозинових філаментів.

На (рис. 4) представлені розподіли інтенсивності в поляризаційних проекціях зі структурованою гістограмою, на якій виділяються дві характерні зони - з низькою інтенсивністю сигналу, пов'язаною з наявними розупорядкованими актиново-міозиновими філаментами та рівномірною ділянкою середньої інтенсивності, яка ілюстрована зі структурованою топологією фіброзного типу, що проявляється анізотропністю структури колагенових волокон.

Кореляційні характеристики сигналів прояв-

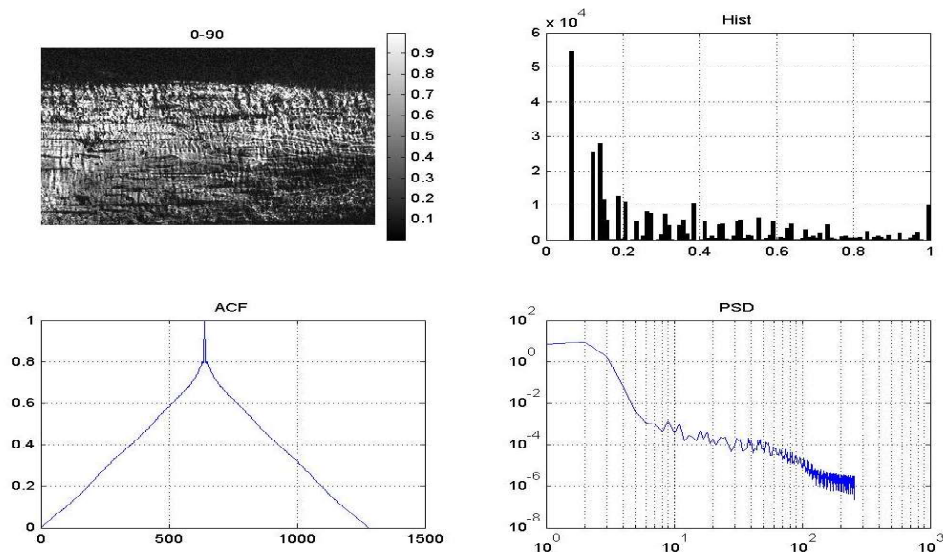


Рис. 4. Структура поляризаційної проекції (0-90) зрізів сухожилкових струн передсердно-шлуночкових клапанів серця новонароджених та гістограми розподілу інтенсивностей, кореляційна характеристика та спектр потужності сигналу

ляють плавний характер із незначними флуктуаціями залежності в ділянці високих частот. Спектр потужності сигналу ортогональної проекції в зображенні зразка виявив декілька кутів нахилу залежності, що характеризує даний тип топології як мультифрактальний.

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 розраховані зображення вектор-параметра Стокса S1-S4 - азимут

поляризації 00, вектор-параметра Стокса S4 - азимут поляризації 450 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 сухожилкових струн колагенових,

еластичних і м'язових волокон проведені розрахунки поляризаційних розподілів - мапи азимутів та еліптичностей поляризації, координатні розподіли елементів матриці Мюллера.

Координатні розподіли елементів матриці Мюллера виділяють анізотропну розгалужену топографію колагенових волокон для ситуації аналізу зображень мап еліптичностей поляризації та у циркулярних станах поляризації, що проявляється у четвертому елементі матриці Мюллера M44.

З аналізу Мюллер-матричних зображень, які характеризують поляризаційні властивості впорядкованої сітки оптично одноосних кристалів СС, випливає, що координатні розподіли діагональних матричних елементів M_{22} і M_{33} сформовані поляризаційними доменами $M_{22}(m \times n) \approx \text{const}$, $M_{33}(m \times n) \approx \text{const}$ (рис. 5).

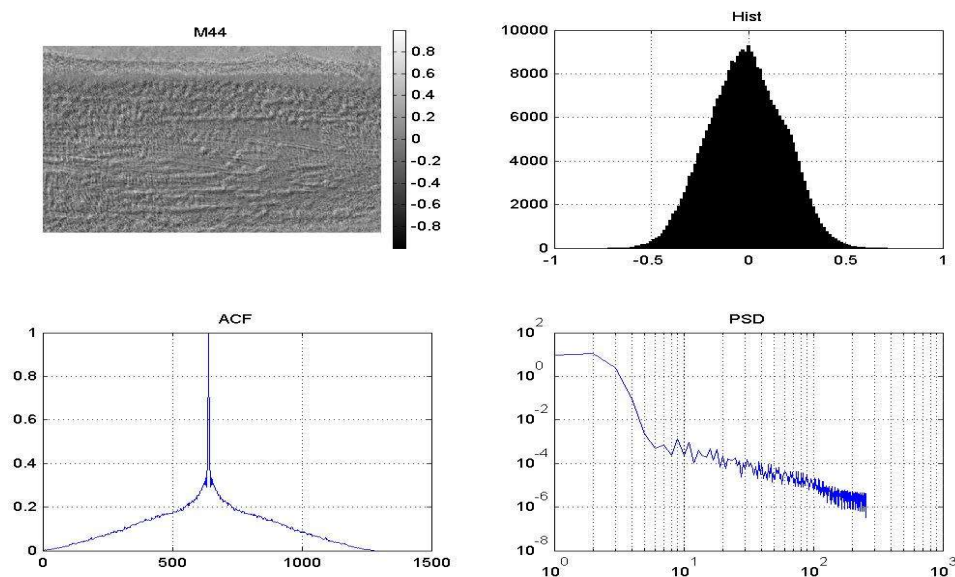


Рис. 5. Двовимірні розподіли елементів матриці Мюллера упорядкованих пучків зрізів сухожилкових сун передсердно-шлуночкових клапанів серця новонароджених із кількісним статистичним аналізом моментів вищих порядків

тальні розмірності, як і у випадку модельного аналізу властивостей сітки циліндричних.

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

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

Таким чином, аналіз структури сукупності Мюллер-матричних зображень, які характеризують ступінь збереження стану поляризації ($M_{22}(m \times n)$, $M_{33}(m \times n)$), фазово-зсуваючу здатність кристалічної сітки аспарагіну ($M_{44}(m \times n)$), обертальну площину поляризації ($M_{23}(m \times n)$) та формування еліптичності поляризації коливаль ($M_{24}(m \times n)$, $M_{34}(m \times n)$), показує, що поляризаційні властивості полікристалічних елементів шарів СС подібні до властивостей сітки двопронемезаломлюючих оптично одноосних кристалів із впорядкованими напрямками оптичних осей.

Порівняльний аналіз серії логарифмічних залежностей спектрів потужностей координатних розподілів елементів матриці Мюллера полікристалічного шару аспарагіну виявив їх мультифрактальність. Для кожного Мюллер-матричного зображення існує переважно дві характерні фрак-

тичних осей (рис. 6).

Порівняльний аналіз серії логарифмічних залежностей спектрів потужностей координатних розподілів зображень вектор-параметра Стокса S4 полікристалічних шарів СС фіброзного типу новонароджених і дітей грудного віку виявив їх мультифрактальність.

Результати представлених досліджень поляризаційної структури зображень СС ПШК серця дітей грудного віку показали, що СС являє собою суперпозицію моношарів, упорядкованих за напрямком оптичних осей, циліндричних кристалів фібрил колагену і є СС фіброзного типу (рис. 7).

Представлені кількісні результати експериментальних досліджень поляризаційних мап зрізів

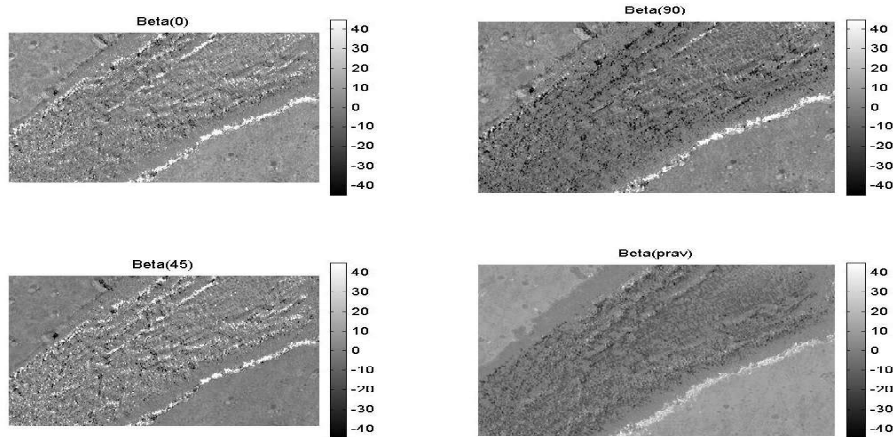


Рис. 6. Поляризаційні карти (еліптичність поляризації) зрізів сухожилкових струн новонароджених фіброзного типу

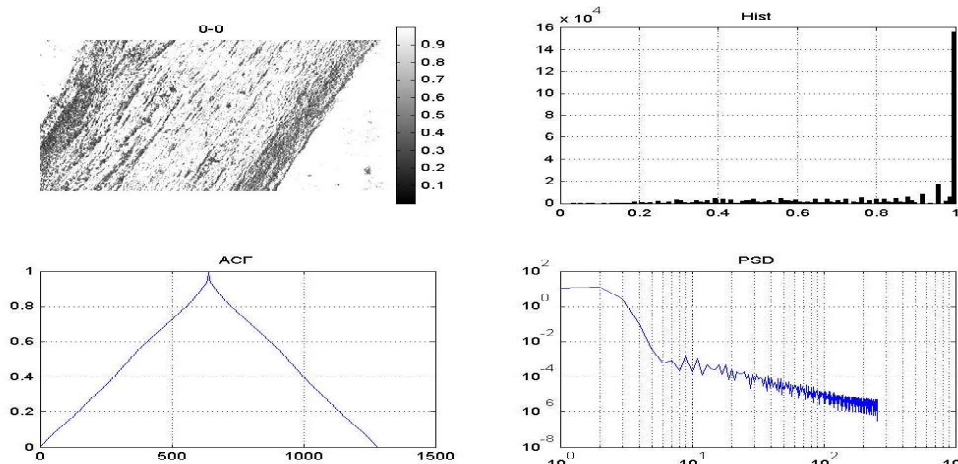


Рис. 7. Структура поляризаційної проекції (0-0) зрізів сухожилкових струн дітей грудного віку фіброзного типу та розраховані гістограми розподілу інтенсивностей, кореляційна характеристика та спектр потужності сигналу

СС фіброзного та фіброзно-м'язового типів клапанного апарату серця новонароджених і дітей грудного віку підтверджують ефективність методів лазерної поляриметрії оптичних шарів тканини СС клапанів серця у диференціації їх тканинної організації у складі клапанного апарату серця.

Висновки

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

Використання методу лазерної поляриметрії цілком підтверджує дані світлооптичних 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.

Перспективи подальших досліджень

Одержані результати щодо особливостей морфологічної будови і поляризаційних властивостей СС ПШК серця новонароджених та дітей грудного віку сприятимуть удосконаленню діагностики вроджених вад серця, а також можуть служити морфологічною основою для удосконалення існуючих і розробки нових методів оперативних втручань на серці.

Література. 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. Лобко П.И. Микроскопическая анатомия мясистых трабекул, сосочковых мышц и сухожильных хорд желудочков сердца человека / П.И. Лобко, А.Р. Ромбальская // Клиническая анатомия та оперативна хірургія. - 2010. - Т. 9, № 1. - С. 60-63. 3. Степанчук А.П. Морфологічні зміни клапанного апарату серця людини при набутих вадах / А.П. Степанчук // Вісник морфології - 2008. - №14(1). - С. 247-249. 4. Ушенко О.Г. Лазерна поляризаційна морфологія біологічних тканин: статистичний і фрактальний підходи: Монографія / О.Г. Ушенко, В.П. Пішак, О.В. Ангельський, Ю.О. Ушенко.-Чернівці: Колір-Друк. - 2007. - 314 с. 5. 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.

МОРФОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА

СУХОЖИЛЬНЫХ ХОРД ПРЕДСЕРДНО-ЖЕЛУДОЧКОВЫХ КЛАПАНОВ СЕРДЦА НОВОРОЖДЕННЫХ И ДЕТЕЙ ГРУДНОГО ВОЗРАСТА В НОРМЕ*Н.П. Пентелейчук*

Резюме. Цель исследования - выучить морфологическое строение и поляризационные свойства сухожильных хорд предсердно-желудочковых клапанов сердца новорожденных и детей грудного возраста с использованием макроскопического и микроскопического методов исследования, а также метода лазерной поляриметрии. В результате проведенного макроскопического исследования установлено, что створки митрального и трехстворчатого клапанов сердца связаны с сосочковыми мышцами с помощью сухожильных хорд каторые имеют вид тонких соединительнотканых нитей.

За микроскопическим строением сухожильные хорды новорожденных принадлежат к фиброзно-мышечному и фиброзному типам, у детей грудного возраста - фиброзного типа.

Представлены количественные результаты экспериментальных исследований поляризационных карт срезов сухожильных хорд фиброзного и фиброзно-мышечного типов подтверждают эффективность метода лазерной поляриметрии в определении оптических слоев сухожильных хорд клапанов сердца и в дифференциации ее тканевой организации.

Ключевые слова: сухожильные струны, сосочковая мышца, митральный клапан, трехстворчатый клапан, новорожденные, дети грудного возраста.

MORPHOLOGICAL STRUCTURE AND POLARIZATION PROPERTIES OF TENDINOUS CORDS OF ATRIOVENTRICULAR HEART VALVES IN NEWBORNS AND INFANTS IN HEALTH*N.P. Penteleichuk*

Abstract. The aim of the study was to examine morphological structure and polarization properties of tendinous cords of atrioventricular valves in newborns and infants using macroscopic, microscopic and laser polarimetric methods. Results of macroscopic studies have determined that mitral and tricuspid heart valves are connected with papillary muscles by means of tendinous cords that look like thin fibers of the connective tissue.

According to microscopic structure, tendinous cords of the newborns belong to fibrous-muscular and fibrous types, of infants - to fibrous type.

The suggested quantitative results of the 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 tendinous cords in heart valves and differentiation of their tissue organization.

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

HSEE of Ukraine "Bukovinian state medical university", Chernivtsi

Clin. and experim. pathol.-2017.-Vol.16, №2(60),p.2.-P.52-57.

Надійшла до редакції 17.04.2017

Рецензент – проф. Б.Г. Макар

© Н.П. Пентелейчук, 2017