

УДК 611.126.018.22+611.127.018.22-012]:-073.756:004.9
DOI:10.24061/2413-0737/XXI.2.82.2.2017.60

Ю.Ю. Малик

ТИПОВІ СУХОЖИЛКОВІ СТРУНИ МІТРАЛЬНОГО КЛАПАНА ТА АНОМАЛЬНО РОЗТАШОВАНІ СТРУНИ ЛІВОГО ШЛУНОЧКА СЕРЦЯ ЛЮДИНИ ПРИ ДОСЛІДЖЕННІ МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОЇ ПОЛЯРИМЕТРІЇ

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

Резюме. У роботі представлені результати дослідження зрізів типових сухожилкових струн мітрального клапана та аномально розташованих струн лівого шлуночка серця людини методом лазерної поляриметрії, що дозволили провести систематичний аналіз топографії анізотропних властивостей колагенових волокон, еластичних волокон та кардіоміоцитів через одержані

розподіли інтенсивностей при різних поляризаційних орієнтаціях зображень вектор-параметра Стокса, поляризаційні мапи (азимутів та еліптичностей поляризації) та елементи матриць Мюллера та їх відповідних статистичних моментів 1-го – 4-го порядків.

Ключові слова: сухожилкові струни, мітральний клапан, лівий шлуночок, лазерна поляриметрія.

Вступ. Сучасним методом дослідження структури біологічних тканин є лазерна поляриметрія з використанням різних методів аналізу отриманих даних, в основі яких лежать такі фундаментальні поняття, як поляризаційні властивості світла, що описуються матрицею когерентності [2, 4]. Фотометричні, спектральні, поляризаційні та кореляційні характеристики поля, розсіяного біологічними шарами випромінювання, стають носіями інформації про їх властивості [1]. Оскільки основу клапанів серця і сухожилкових струн (СС) складає сполучна тканина, основними компонентами якої є колагенові й еластичні волокна, а також трапляються м'язові клітини, було б доцільним провести вивчення поляризаційних особливостей їх зображень [3, 5, 6].

Мета дослідження. Встановити оптичні характеристики СС лівого шлуночка серця за допомогою методу лазерної поляриметрії.

Матеріал і методи. Матеріалом для дослідження послужили сухожилкові струни лівих шлуночків 45 сердець людей зрілого віку. Для дослідження були використані метод світлової мікроскопії та метод лазерної поляриметрії. Для світлової мікроскопії гістологічні препарати забарвлювалися гематоксилін-еозином та за Вейгерт-ван-Гізон. Для методик лазерної поляриметрії використовували незабарвлені гістологічні зрізи, товщиною 20-30 мкм, виготовлені на заморожувальному мікромомі. Вивчали розподіли інтенсивностей при різних поляризаційних орієнтаціях зображень вектор-параметра Стокса, поляризаційні мапи (азимутів та еліптичностей поляризації) та елементи матриць Мюллера та їх відповідних статистичних моментів 1-го – 4-го порядків. 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 ЄЕС №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.

Дослідження виконані за допомогою світлової мікроскопії типових СС мітрального клапана показали, що з усіх поверхонь струна вкрита ендотелієм. Під ендотелієм по всій поверхні СС локалізується пухкий периферійний колагеново-еластичний шар, який відмежовує стрижень струни, що формує її внутрішній остов (рис. 1).

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. У ньому в напрямку від соскоподібного м'яза до стулки клапана проходять магістральні кровоносні судини.

Внутрішній остов або стрижень СС формують потужні пучки колагенових волокон, які прямолінійно орієнтовані та щільно упаковані вздовж струни. Еластичні волокна розташовуються в невеликій кількості та пронизують усю тканину СС.

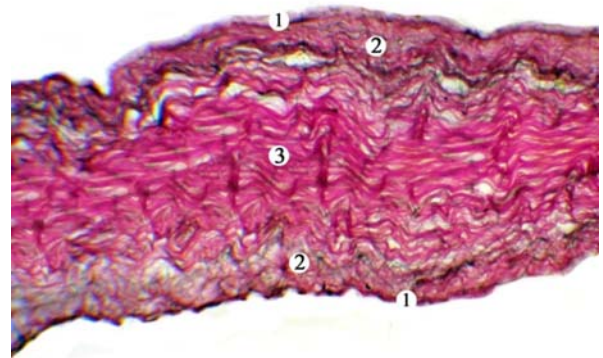


Рис. 1. Типова сухожилкова струна мітрального клапана серця людини. Мікрофотографія. Забарвлення: за Вейгерт-ван-Гізон. Зб. 400^x: 1 – ендотелій; 2 – периферійний колагеново-еластичний шар; 3 – колагеновий стрижень сухожилкової струни

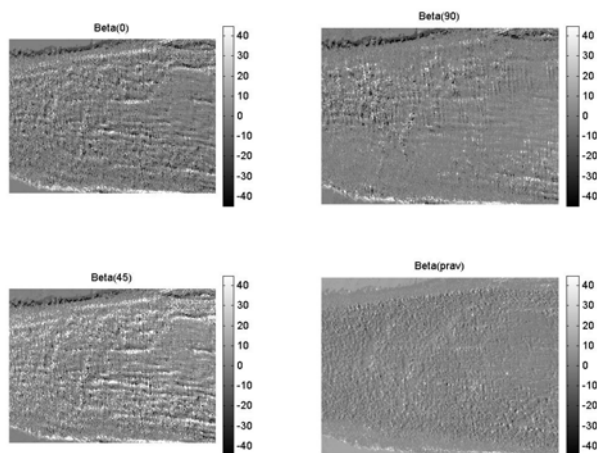


Рис. 2. Поляризаційні мапи (еліптичність поляризації) сухожилкових струн лівого шлуночка серця людини

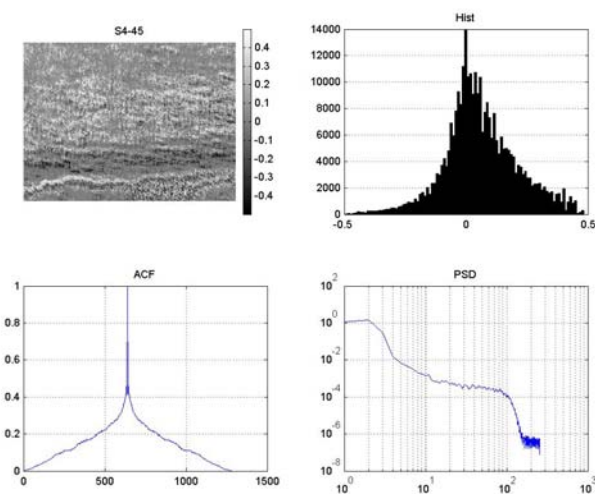


Рис. 3. Структура вектор-параметра Стокса S4 сухожилкової струни та розраховані гістограми розподілу інтенсивностей, кореляційна характеристика та спектр потужності сигналу

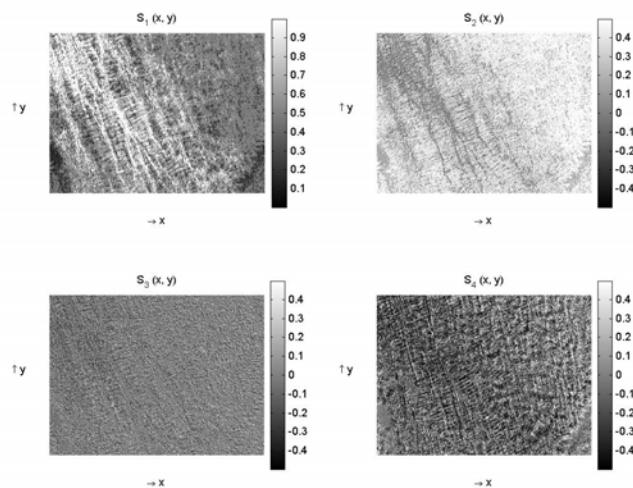


Рис. 4. Поляризаційні мапи вектор-параметра Стокса S1-S4 для аномально розташованої струни лівого шлуночка (азимут поляризації 45°)

У місцях відходження типових СС від соскоподібних м'язів виявляються пучки серцевих м'язових волокон, які супроводжуються кровоносними судинами, що проникають у товщу СС, але частіше не більше як на 1/3 її довжини.

Аномально розташовані струни (АРС) представляють собою тяжі, які, на відміну від типових СС, не прикріплюються до стулок мітрального клапана, а ектопічно фіксуються до вільних стінок шлуночка, міжшлуночкової перегородки, соскоподібних м'язів, перетинаючи порожнину лівого шлуночка.

При морфологічному дослідженні АРС зовні вистелені ендотелієм, під яким локалізується периферійний колагеново-еластичний шар із переважанням у ньому еластичних волокон, що відмежовує центральний стрижень струни.

За допомогою гістологічних методів дослідження встановлено, що серед АРС 50 % становлять струни фіброзно-м'язового типу, 27 % – фіброзного типу та 23 % становлять АРС м'язового типу.

Особливостями будови АРС фіброзно-м'язового типу є те, що стрижень даних АРС утворений пучками щільно упакованих і прямолінійно орієнтованих колагенових волокон, а також кардіоміоцитами, які найчастіше локалізуються у вигляді острівців у місцях прикріплення до стінки шлуночка або до соскоподібного м'яза, або простягаються вздовж всієї струни, поділяючи її навпіл.

Особливістю АРС м'язового типу є те, що окрім скоротливих кардіоміоцитів, які формують основу струни, виявлені елементи провідної системи серця, а саме клітини Пуркіньє.

Гістологічна будова АРС фіброзного типу характеризується тим, що стрижень таких струн сформований товстими щільно упакованими пучками колагенових волокон, орієнтованих прямолінійно вздовж струни.

Метод лазерної поляриметрії підтвердив дані гістологічних досліджень щодо структурної організації СС лівого шлуночка серця людини.

Проведені дослідження зображень зрізів типових СС мітрального клапана та АРС лівого шлуночка серця людини методом лазерної поляриметрії дозволили провести систематичний аналіз топографії анізотропних властивостей колагенових волокон, еластичних волокон та кардіоміоцитів.

Дослідження поляризаційної структури компонентів сполучної тканини в зразках зрізів СС лівого шлуночка виявили виразні двопронезаломлюючі властивості кожного із типів волокон – як колагенових, так і еластичних. Характер проявів анізотропних властивостей проявляється в різній топографічній архітектоніці вказаних типів волокон із відмінним один від одного рівнем величини двопронезаломлення. Кількісна оцінка цієї величини здійснена шляхом оцінювання значень статистичних моментів нижчих і вищих порядків у поляризаційних проєкціях зображень

окремих ділянок зразків. Встановлено, що суттєвою різницею у відмінностях статистичних оцінок мають величини асиметрії та ексцесу в розподілах поляризаційних мап.

На рис. 2 представлений приклад поляризаційного виділення структури колагенових волокон у вигляді упорядкованої структури з високим рівнем оптичної анізотропії, що проявляється у просвітленні поляризаційної топологічної мапи.

Кореляційна характеристика даної поляризаційно відфільтрованої колагенової сітки у вигляді непромодульованої в периферійній ділянці залежності вказує на впорядкований та великомасштабний характер проявів анізотропії пучків колагенових волокон.

Аналіз наведених поляризаційних мап вектор-параметра Стокса показав, що поряд з існуванням розвинутої структури анізотропних проявів пучків колагенових волокон існує невпорядкована топологія еластичних волокон, які проявляються лише в певних, визначених орієнтаціях аналізатор-поляризатор нашої експериментальної схеми. Анізотропну розгалужену топографію еластичних волокон вдалося виділити лише для ситуації аналізу зображень у циркулярних станах поляризації, що проявляється у статистичному моменті третього порядку (асиметрії) вектор-параметра Стокса S_4 (рис. 3).

При дослідженні поляризаційної структури зразків зрізів АРС лівого шлуночка, окрім компонентів сполучної тканини, а саме колагенових і еластичних волокон, що проявляли виразні двопронезаломлюючі властивості, провели оцінку ступеня анізотропії кардіоміоцитів, а саме міозину як основної складової міофібрил кардіоміоцитів (рис. 4).

Оцінка ступеня анізотропії кардіоміоцитів можлива за топологічно локалізованою і фазово-неоднорідною складовою анізотропних утворень у значеннях статистичних моментів вищих порядків вектор-параметра Стокса S_3 .

Внаслідок проведених досліджень розроблена та запропонована до використання методика поляризаційної селекції зображень для виявлення еластичних, колагенових волокон і кардіоміоцитів у зрізах типових СС та АРС лівого шлуночка шляхом оцінки статистичних моментів вищих порядків (асиметрії та ексцесу) орієнтаційного S_3 та фазового S_4 параметра Стокса в розрахованих поляризаційних мапах досліджуваних зразків.

У проведених поляризаційних дослідженнях колагенові, еластичні волокна та кардіоміоцити проявляють відмінні один від одного анізотропні властивості, які візуалізуються в різних поляризаційних станах зондуючого та аналізуючого пучків (азимутах поляризації). Шляхом управління станами азимуту та еліптичності поляризації встановлено, що для еластичних волокон характерні відмінні за кількісними показниками величини анізотропії, які діагностуються у циркулярних станах поляризації, а саме, у статистичному моменті третього порядку (асиметрії) вектор-

параметра Стокса S_4 . Для колагенових волокон характерні прояви упорядкованої ієрархічної анізотропної архітектури з виразною різницею значень статистичного моменту четвертого порядку (ексцесу) еліптичностей поляризації зображення. Для кардіоміоцитів відзначається топологічно локалізована та фазовонеоднорідна складова анізотропних утворень у значеннях статистичних моментів вищих порядків вектор-параметра Стокса S_3 .

Висновки

1. Проведені дослідження анізотропних властивостей колагенових і еластичних волокон у складі типових і аномально розташованих сухожилкових струн встановили, що для еластичних волокон характерна відмінна за кількісними показниками величина анізотропії, яка діагностується у статистичному моменті третього порядку (асиметрії) вектор-параметра Стокса S_4 .

2. Для колагенових волокон характерні прояви упорядкованої ієрархічної анізотропної архітектури з виразною різницею значень статистичного моменту четвертого порядку (ексцесу).

Перспективи подальших досліджень. За допомогою методу лазерної поляриметрії проведати дослідження змін сполучнотканинного компо-

нента клапанного апарату серця людини за його дисплазії.

Література

1. Застосування лазерної поляриметрії як доказового методу дослідження у вирішенні завдань судової медицини / І. Беженар, С. Годнюк, І. Савка [та ін.] // Мед. освіта. – 2008. – № 3. – С. 23.
2. 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. – 341 с.
3. Лазерна поляриметрична оцінка структури мережі міозинових фібрил м'язової тканини / О.Г. Ушенко, Т.М. Бойчук, О.Ю. Новаковська [та ін.] // Бук. мед. вісник. – 2013. – Т. 17, № 4 (68). – С. 214-218.
4. Цибух А. В. Методи та засоби лазерної діагностики біологічних об'єктів і процесів / А.В. Цибух, Л.С. Скрипка // Вісн. Харків. нац. тех. ун-ту сільськогосподарства ім. П. Василенка. – 2011. – № 116. – С. 84-85.
5. Pentelejchuk N.P. Morphology of chordae tendinae of atrioventricular valves hearts newborns and infants in terms of laser polarimetry / N.P. Pentelejchuk, K.M. Chala, S.B. Yermolenko // Proc. of SPIE. – 2013. – Vol. 9066. – P. 90661R.
6. Semenyuk T.O. Laser polarimetry in determining of anisotropic structure of the heart valves / T.O. Semenyuk, O.I. Petrishen, O.G. Prydyj // Proc. of SPIE. – 2013. – Vol. 9066. – P. 90661S-1-90661S-7.

ТИПИЧНЫЕ СУХОЖИЛЬНЫЕ СТРУНЫ МИТРАЛЬНОГО КЛАПАНА И АНОМАЛЬНО РАСПОЛОЖЕННЫЕ СТРУНЫ ЛЕВОГО ЖЕЛУДОЧКА СЕРДЦА ЧЕЛОВЕКА ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОЙ ПОЛЯРИМЕТРИИ

Ю.Ю. Малик

Резюме. В работе представлены результаты исследования срезов типичных и аномально расположенных сухожильных струн левого желудочка сердца человека методом лазерной поляриметрии, позволившие провести систематический анализ топографии анизотропных свойств коллагеновых волокон, эластичных волокон и кардиомиоцитов с помощью полученных распределений интенсивностей при различных поляризационных ориентациях изображений вектор-параметра Стокса, поляризационных карт (азимутов и эллиптичностей поляризации) и элементов матриц Мюллера и их соответствующих статистических моментов 1-го - 4-го порядков.

Ключевые слова: сухожильные струны, митральный клапан, левый желудочек, лазерная поляриметрия.

TYPICAL MITRAL VALVE CHORDAE TENDINEAE AND ABNORMALLY LOCATED CHORDAE TENDINEAE OF THE HUMAN HEART LEFT VENTRICLE IN THE INVESTIGATION BY METHOD OF LASER POLARIMETRY

Yu.Yu. Malyk

Abstract. The paper presents the results of studying the sections of the human left ventricle chordae tendinae by laser polarimetry method, which allowed to conduct a systematic analysis of the topography of the anisotropic properties of collagen fibers, elastic fibers and cardiomyocytes obtained through the intensity distribution at different polarization orientations of images of Stokes parameter vector, polarization maps and Mueller matrix elements and their corresponding statistical moments of the 1-st – 4-th order.

Key words: chordae tendinae, mitral valve, left ventricle, laser polarimetry.

Higher State Educational Institution of Ukraine «Bukovinian State Medical University» (Chernivtsi)

Рецензент – проф. І.С. Давиденко

Buk. Med. Herald. – 2017. – Vol. 21, № 2 (82), part 2. – P. 63-66

Надійшла до редакції 04.04.2017 року