

Л. Я. Федонюк, Ю. Ю. Малик
 Буковинський державний медичний університет, м. Чернівці, Тернопільський державний
 медичний університет ім. А. Я. Горбачевського, м. Тернопіль

ТИПОВІ СУХОЖИЛКОВІ СТРУНИ МІТРАЛЬНОГО КЛАПАНА ТА АНОМАЛЬНО РОЗТАШОВАНІ СТРУНИ ЛІВОГО ШЛУНОЧКА СЕРЦЯ ЛЮДИНИ

У роботі представлені тривимірні моделі структурної організації типових сухожилкових струн мітрального клапана та аномально розташованих струн лівого шлуночка серця людини, що вказують на відмінності їх структурної організації. Подано 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, тривимірна модель, лазерна поляриметрія.

Робота є фрагментом НДР «Взаємозв'язок фізичних властивостей і морфологічних ознак біологічних тканин у нормі та при їх структурній реорганізації в контексті лазерної поляриметрії» (№ держ. реєстрації 0111U006502).

Відтворення тривимірної архітектури біологічних об'єктів є невід'ємним завданням морфологічних досліджень, що ґрунтуються на аналізі площинних гістологічних препаратів [1]. Сучасні морфологічні дослідження вимагають високої якості ілюстративності результатів, чому може сприяти тривимірна реконструкція та моделювання [3, 4]. Створення тривимірних моделей сухожилкових струн (СС) необхідно для цілісного розуміння структури як єдиної функціональної системи, дасть можливість візуалізації їх внутрішнього вмісту, взаємодії їх структурних компонентів у просторі, а також дасть змогу уявити тимчасові або постійні відхилення від нормальної будови.

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]. Фотометричні, спектральні, поляризаційні та кореляційні характеристики поля, розсіяного біологічними шарами випромінювання, стають носіями інформації про їх властивості. Оскільки основу СС складає сполучна тканина, основними компонентами якої є колагенові і еластичні волокна, а також трапляються м'язові клітини, було б доцільним провести вивчення поляризаційних особливостей їх зображень.

Метою роботи було створення моделі тривимірної організації типових сухожилкових струн мітрального клапана та аномально розташованих струн лівого шлуночка серця. Вивчити оптичні характеристики сухожилкових струн лівого шлуночка серця за допомогою методу лазерної поляриметрії.

Матеріал та методи дослідження. Матеріалом для дослідження послужили сухожилкові струни лівих шлуночків 45 сердець людей зрілого віку. Для дослідження були використані метод світлової мікроскопії, метод тривимірної реконструкції та метод лазерної поляриметрії. Для світлової мікроскопії гістологічні препарати забарвлювалися гематоксилін-еозином і за Вейгерт-ван-Гізон. Для тривимірної реконструкції використовувались фотографії серії гістологічних зрізів, виготовлених за загальноприйнятою методикою, які в подальших етапах реконструкції оброблялися з використанням програмного комплексу «Amira for microscopy» та «Autodesk 3ds Max». Для методик лазерної поляриметрії використовували незафарбовані гістологічні зрізи, товщиною 20-30 мкм, виготовлені на заморожуючому мікротомі. 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.

Результати дослідження та їх обговорення. Виконані макроскопічні дослідження клапанних апаратів серця людини в нормі встановили, що у лівому шлуночку (ЛШ) типові СС у вигляді тяжів простягаються від верхівок соскоподібних м'язів і сполучаються зі стулками клапана. Залежно від типу прикріплення до стулок мітрального клапана серед типових СС виділено СС передньої стулки, СС задньої стулки та комісуральні СС. У передній стулці розрізняють СС потовщеної зони, що кріпляться до шлуночкової поверхні до ділянки, що

знаходиться між лінією змикання стулок і вільним краєм стулки та опорні СС, що відходять від переднього та заднього соскоподібних м'язів та кріпляться до шлуночкової поверхні по півколу передньої стулки по лінії змикання стулок на 4 і 8 години циферблату годинника. У задній стулці розрізняють СС потовщеної зони, СС розщеплень задньої стулки, що кріпляться до розщеплень між її фестонами та базальні СС, що прикріплюються до основи задньої стулки. Дві комісуральні сухожилкові струни віялоподібно кріпляться до передньо-латеральної та задньо-медіальної комісуральних зон стулок мітрального клапана. Слід зауважити, що серед усіх типів сухожилкових струн найдовшими є опорні сухожилкові струни передньої стулки мітрального клапана серця людини. Їх довжина становить $18,23 \pm 2,586$ мм (табл.1).

Таблиця 1

Параметри довжини та ширини сухожилкових струн мітрального клапана серця людини людей зрілого віку

Сухожилкові струни	Параметри сухожилкових струн, М±m, мм	
	Довжина	Товщина
Опорні СС	$18,23 \pm 2,586$	$1,53 \pm 0,586$
СС потовщеної зони передньої стулки	$17,47 \pm 2,543$	$1,45 \pm 0,461$
СС потовщеної зони задньої стулки	$14,37 \pm 2,059$	$1,18 \pm 0,334$
СС розщеплень задньої стулки	$13,03 \pm 2,512$	$0,95 \pm 0,422$
Базальні СС	$10,0 \pm 2,716$	$0,88 \pm 0,387$
Комісуральні СС	$14,0 \pm 3,314$	$0,89 \pm 0,232$

Найтовстішими СС є теж опорні СС передньої стулки мітрального клапана серця людини. Їх товщина складає $1,53 \pm 0,586$ мм. Базальні СС задньої стулки мітрального клапана є найкоротшими (середня довжина становить $10 \pm 2,716$ мм) та найтоншими (середня товщина – $0,88 \pm 0,387$ мм) (табл. 1).

Дослідження виконані за допомогою світлооптичної 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 відмежує 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. В 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 всю тканину СС. У місцях відходження типових СС від соскоподібних м'язів виявляються пучки серцевих м'язових волокон, які супроводжуються кровоносними судинами, що проникають у товщу СС 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 ЛШ.

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

За допомогою гістологічних методів дослідження встановлено, що серед АРС 50 % складають 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 Пуркінє. Гістологічна будова АРС фіброзного типу характеризується тим, що стрижень таких струн сформований товстими щільно упакованими пучками колагенових волокон, орієнтованих прямолінійно вздовж струни.

За допомогою метода тривимірної реконструкції змодельовано просторову будову типових СС мітрального клапана та АРС ЛШ серця людини. Отримані зображення типової СС мітрального клапана серця людини підтверджують результати гістологічного дослідження щодо наявності центрального щільного колагенового стрижня струни, оточеного пухким периферійним

колагеново-еластичним шаром із кровоносними судинами, що проходять у ньому (рис. 2). У зрізах обчислені відсоткове співвідношення відносної площі центрального колагенового стрижня СС, пухкої колагеново-еластичної периферії та площу, яку займають в СС кровоносні судини. Аналізуючи зміни співвідношення відносної площі, яку займають ці структури в зрізах (табл. 2) виявлено, що в напрямку від соскоподібних м'язів до стулки клапана 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 %).

Таблиця 2.

Параметри відносної площі компонентів типової сухожилкової струни

Порядковий номер зрізу	Відносна площа структури (%)		
	Центральний колагеновий стрижень	Пухка колагеново-еластична периферія	Судини
1.	78,1	18,5	3,4
2.	77,4	19,2	3,4
3.	77,5	19,1	3,4
4.	77,4	19,2	3,4
5.	77,3	19,4	3,3
6.	77	19,8	3,2
7.	76,5	20,1	3,4
8.	76,3	20,4	3,3
9.	76,1	20,6	3,3
10.	75,4	21,4	3,2
11.	74,4	22,3	3,3
12.	73,3	23,5	3,2
13.	72,8	24	3,2
14.	71	25,9	3,1
15.	70,6	26,3	3,1
16.	71,3	25,6	3,1
17.	71,2	25,6	3,2
18.	72,2	24,7	3,1
19.	72,1	24,8	3,1
20.	72,7	24,1	3,2

Методом 3D-реконструкції встановлено, що у типову СС із соскоподібного м'яза проникають від 3 до 5 кровоносних судин, прямуючи до стулки клапана в оточенні товстих сполучнотканинних футлярів. Кровоносні судини не галузяться і не анастомозують між собою (рис. 2). Аналізуючи зміни співвідношення відносної площі кровоносних судин (табл. 2), встановлено, що їх площа майже не змінюється в порівнянні її в зрізах біля соскоподібного м'яза (3,4 %) та в зрізах струни біля стулки клапана (3,2 %). Ці дані дають підставу віднести ці кровоносні судини до судин магістрального типу.



Рис. 1. Типова струна мітрального клапана серця людини. Мікрофото-графія. Заб.: Вейгерт-ван-Гізон. Зб. 400 х: 1– ендотелій; 2– периферійний колагеново-еластичний шар; 3– колагеновий стрижень сухожилкової струни.

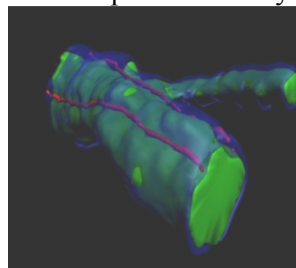


Рис. 2. Тривимірна модель типової сухожилкової струни мітрального клапана серця людини.

Прозоро-синій колір – периферійний пухкий колагеново-еластичний шар; червоний – кровоносні судини.

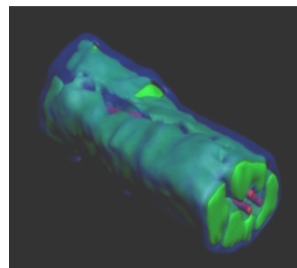


Рис. 3. Тривимірна модель anomalously розташованої струни лівого шлуночка серця людини.

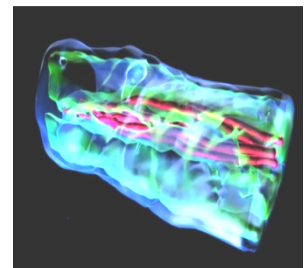


Рис. 4. Тривимірна модель anomalously розташованої сухожилкової струни лівого шлуночка серця людини.

зелений колір – центральний

Методом тривимірної реконструкції змодельовано просторову будову АРС ЛШ серця людини фіброзного типу. Створена тривимірна модель вказує на те, що серцевина АРС утворена центральним колагеновим стрижнем, який оточений периферійним шаром пухкої волокнистої сполучної тканини. У порівнянні із типовими СС, в яких спостерігається один центральний стрижень, в АРС їх кількість становить від 2 до 4 (рис. 3). Колагенові волокна в кожному із стрижнів розташовані менш щільно, вони переходять один в одний вздовж сухожилкової струни

та їх кількість по ходу APC 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. 4). При проведенні аналізу зміни співвідношення відносної площі, яку займають складові APC в зрізах (табл. 3) 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 APC змінюється з 59,8 % до 50,1 % відповідно.

Таблиця 3

Параметри відносної площі структур аномально розташованої струни фіброзного типу лівого шлуночка

Порядковий номер зрізу	Відносна площа структури (%)		
	Центральний колагеновий стрижень	Пухка колагеново-еластична периферія	Судини
21.	50,1	46,3	3,6
22.	52	44,3	3,7
23.	51,2	44,7	4,1
24.	51,9	43,2	4,9
25.	50,5	44	5,5
26.	49	44,7	6,3
27.	48,3	44,6	7,1
28.	48,6	43,8	7,6
29.	49,3	43,1	7,6
30.	50,7	41,1	8,2
31.	49,4	42	8,6
32.	50,4	41,2	8,4
33.	52	39,8	8,2
34.	51,7	40,1	8,2
35.	53,2	39,4	7,4
36.	55	38,3	6,7
37.	55,9	37,9	6,2
38.	57,5	37	5,5
39.	58,6	36,2	5,2
40.	59,8	35,3	4,9

Метод лазерної поляриметрії підтвердив дані гістологічних досліджень щодо структурної організації СС ЛШ серця людини. Проведені дослідження зображень зрізів типових СС мітрального клапана та APC ЛШ серця людини методом лазерної поляриметрії дозволили провести систематичний аналіз топографії анізотропних властивостей колагенових волокон, еластичних волокон і кардіоміоцитів.

Дослідження поляризаційної структури компонентів сполучної тканини в зрізах зрізів СС ЛШ виявили виразні двопронезаломлюючі властивості кожного із типів волокон – як колагенових, так і еластичних. Характер проявів анізотропних властивостей проявляється у 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 проекціях зображень окремих ділянок зразків. Встановлено, що суттєвою різницею у відмінностях статистичних оцінок мають величини асиметрії та ексцесу в розподілах поляризаційних мап.

На рис. 5 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 області залежності вказує на впорядкований та великомасштабний характер проявів анізотропії пучків колагену. Аналіз приведених поляризаційних мап вектор-параметра Стокса показав, що поряд із 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 (рис. 6).

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 S4. Спосіб виявлення оцінки ступеня анізотропії кардіоміоцитів, а саме міозину як основної складової, можливий за топологічно локалізованою і фазово-неоднорідною складовою анізотропних утворень в значеннях статистичних моментів вищих порядків вектор-параметра Стокса S3 (рис. 7).

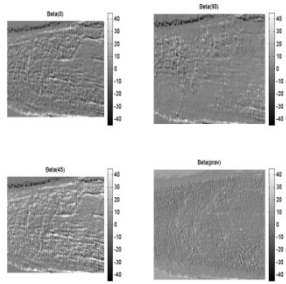


Рис. 5. Поляризаційні мапи (еліптичність поляризації) сухожилкових струн лівого шлуночка серця людини.

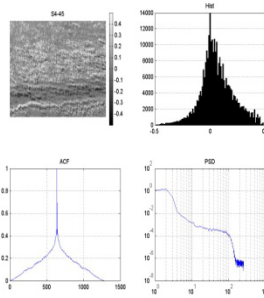


Рис. 6. Структура вектор-параметра Стокса S4 сухожилкової струни та розраховані гістограми розподілу інтенсивностей, кореляційна характеристика та спектр потужності сигналу.

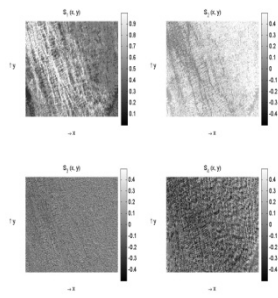


Рис. 7. Поляризаційні мапи вектор-параметра Стокса S1-S4 для аномально розташованої струни лівого шлуночка (азимут поляризації 45°).

Внаслідок розроблена та запропонована до використання методика поляризаційної селекції зображень для виявлення еластичних, колагенових волокон і кардіоміоцитів у зрізах типових СС та АРС ЛШ шляхом оцінки статистичних моментів вищих порядків (асиметрії та ексцесу) орієнтаційного S3 та фазового S4 параметру Стокса у 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 S4. Для колагенових волокон характерні прояви упорядкованої ієрархічної анізотропної архітектури із виразною різницею значень статистичного моменту четвертого порядку (ексцесу) еліптичностей поляризації зображення. Для кардіоміоцитів відмічається топологічно локалізована та фазово-неоднорідна складова анізотропних утворень в значеннях статистичних моментів вищих порядків вектор-параметра Стокса S3.

Висновки

1. Опорні сухожилкові струни стулки мітрального клапана серця є найдовшими (середня довжина становить $18,23 \pm 2,586$ мм) та найтовстішими (середня товщина – $1,53 \pm 0,586$ мм) на відміну від базальних сухожилкових струн, що є найкоротшими (середня довжина складає $10 \pm 2,716$ мм) та найтоншими (середня товщина – $0,88 \pm 0,387$ мм).
2. Під ендотелієм, який зовні вкриває типову сухожилкову струну, розташовується колагеново-еластичний шар пухкої волокнистої сполучної тканини, в якому проходять магістральні кровеносні судини в напрямку від соскоподібного м'язу до стулки клапана. Остов сухожилкової струни утворений щільно розташованими колагеновими волокнами, які прямолінійно орієнтованими вздовж струни. У місцях відходження сухожилкових струн від соскоподібних м'язів локалізуються пучки серцевих м'язових волокон.
3. Моделі просторової організації типових сухожилкових струн мітрального клапана та аномально розташованих струн лівого шлуночка серця людини вказують на відмінність їх структурної організації. Типова сухожилкова струна утворена одним центральним розташованим стрижнем, що оточений периферійним колагеново-еластичним шаром, в якому проходить до 5 кровеносних судин магістрального типу. Аномально розташована струна утворена 2-4 стрижнями, що розділені пухкою волокнистою сполучною тканиною, в якій проходять кровеносні судини мікроциркуляторного русла.
4. 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 S4. Для колагенових волокон характерні прояви упорядкованої ієрархічної анізотропної архітектури із виразною різницею значень статистичного моменту четвертого порядку (ексцесу).

Перспективи подальших досліджень: за допомогою методу лазерної поляриметрії провести дослідження змін сполучно-тканинного компоненту клапанного апарату серця людини при його дисплазії.

Список літератури

1. Tverdohlib I. V. Prostorova rekonstrukcija biologichnih ob'ektiv za dopomogoj kompjuternogo modeljuvannja / I. V. Tverdohlib // Morfologija.- 2007.– Т.1, №1.-S. 135-139.
2. Ushenko O. G. Lazerna poljarizacijna morfologija biologichnih tkanin. Statistichnij i fraktal'nij pidhodi: monografija / O.G. Ushenko, V.P. Pishak, O.V. Angel'skij [ta in.] // Chernivci: Kolir-Druk, - 2007. – 341 s.
3. Burton R. A. B. Three-dimensional models of individual cardiac histoanatomy: tools and challenges / R. A. B. Burton, G. Plank, J. E. Schneide [et al.] // Ann N Y Acad Sci. - 2006.- Vol.1080. - P.301–319.
4. Burton R. A. B. Three-dimensional histology: tools and application to quantitative assessment of cell-type distribution in rabbit heart / R.A.B. Burton, P. Lee, R. Casero [et al.] // Europace (European Society of Cardiology).– 2014. Vol. 16. – P. 1586-1595.

Реферати**ТИПИЧНЫЕ СУХОЖИЛЬНЫЕ ХОРДЫ МИТРАЛЬНОГО КЛАПАНА И АНОМАЛЬНО РАСПОЛОЖЕННЫЕ ХОРДЫ ЛЕВОГО ЖЕЛУДОЧКА СЕРДЦА ЧЕЛОВЕКА****Федонюк Л. Я., Малик Ю. Ю.**

В работе представлены трехмерные модели структурной организации типичных сухожильных хорд митрального клапана и аномально расположенных хорд левого желудочка сердца человека, указывающие на различия их структурной организации. Поданы результаты исследования срезов типичных и аномально расположенных сухожильных хорд 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 эллипичностей поляризации) и элементов матриц Мюллера и их соответствующих статистических моментов 1-го - 4-го порядков.

Ключевые слова: сухожильные хорды, митральный клапан, трехмерная модель, лазерная поляриметрия.

Статья надійшла 27.10.2014 р.

TYPICAL MITRAL VALVE CHORDAE TENDINEAE AND ABNORMALLY LOCATED CHORDAE TENDINEAE OF THE HUMAN HEART LEFT VENTRICLE**Fedonyuk L.Ya., Malyk Yu.Yu.**

In the article presents the three-dimensional models of the structural organization of the typical mitral valve chordae tendineae and abnormally located chordae of the left ventricle of the human heart, indicating differences in their structural organization. Submitted the results of research of sections of the human left ventricle chordae tendineae 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 parameter vector Stokes, polarization maps and Mueller matrix elements and their corresponding statistical moments of the 1-st – 4-th order.

Key words: chordae tendineae, mitral valve, three-dimensional model, laser polarimetry.

Рецензент Сілкина Ю.В.

УДК 611.126.018.28-053.3

Л. Я. Федонюк, *Н. П. Пантелейчук**ДВНЗ «Тернопільський державний медичний університет імені І.Я. Горбачевського МОЗ України», м. Тернопіль.*****Буковинський державний медичний університет, м. Чернівці****МОРФОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА СУХОЖИЛКОВИХ СТРУН ПЕРЕДСЕРДНО-ШЛУНОЧКОВИХ КЛАПАНІВ СЕРЦЯ ПЛОДІВ, НОВОНАРОДЖЕНИХ І ДІТЕЙ ГРУДНОГО ВІКУ В НОРМИ**

Метою дослідження було вивчити морфологічну будову та поляризаційні властивості сухожилкових струн передсердно-шлуночкових клапанів серця плодів, новонароджених і дітей грудного віку за допомогою комплексу адекватних методів морфологічного дослідження. У результаті проведеного макроскопічного дослідження встановлено, що стулки митрального та тристулкового клапанів серця зв'язані з соскоподібними м'язами за допомогою сухожилкових струн, які мають вигляд тонких фіброзних ниток. У результаті проведення 3D моделювання клапанного апарату серця плода 90,0 мм тім'яно-куприкової довжини виявлено, що соскоподібні м'язи безпосередньо переходять у стулки передсердно-шлуночкових клапанів. У плодів 135,0 мм тім'яно-куприкової довжини сухожилкові струни являють собою м'язові тяжі, що в подальшому перетворюються на сухожилкові струни, у складі яких домінує щільна оформлена сполучна тканина. У товщі сухожилкових струн плодів і новонароджених дітей, окрім пучків колагенових волокон, зустрічаються пучки серцевих м'язових клітин, що дає змогу віднести їх до сухожилкових струн фіброзно-м'язового типу. При імуногістохімічному дослідженні сухожилкових струн спостерігається позитивна реакція: Anti-Human Collagen IV+, що вказує на присутність колагену IV в базальній мембрані кардіомиоцитів. Оптичні властивості сухожилкових струн митрального та тристулкового клапанів серця дають можливість диференціювати у їх складі колагенові, еластичні та м'язові волокна, підтверджуючи типоналежність сухожилкової струни.

Ключові слова: серце, плоди, новонароджені, діти грудного віку.

Незважаючи на велику кількість наукових досліджень, присвячених вивченню структурної організації клапанного апарату серця (КАС) [2, 4, 5, 8, 9], низка питань щодо особливостей будови сухожилкових струн (СС) плодів, новонароджених і дітей грудного віку залишається не до кінця з'ясованими. За даними МОЗ України, в структурі вродженої патології дітей першого року життя 14,2 % випадків складають вроджені вади КАС, темп зростання яких найвищий серед усіх зареєстрованих вроджених вад [1, 3]. Надзвичайно важливими є своєчасна діагностика цієї патології та проведення