

Л.Я.Федонюк¹
Ю.Ю.Малик²

¹ ДВНЗ «Тернопільський державний медичний університет ім. І.Я. Горбачевського»,

² Буковинський державний медичний університет, Чернівці

Ключові слова: сухожилкові струни, мітральний клапан, соскоподібні м'язи, колагенові волокна, еластичні волокна.

Надійшла: 24.08.2014

Прийнята: 14.09.2014

УДК 611.126.018

СТРУКТУРНА ОРГАНІЗАЦІЯ НОРМАЛЬНО РОЗТАШОВАНИХ СУХОЖИЛКОВИХ СТРУН МІТРАЛЬНОГО КЛАПАНА СЕРЦЯ ЛЮДИНИ

Дослідження проведене в рамках науково-дослідної роботи «Взаємозв'язок фізичних властивостей і морфологічних ознак біологічних тканин у нормі та при їх структурній реорганізації в контексті лазерної поляриметрії» (номер державної реєстрації 0111U006502).

Реферат: Топографія та будова сухожилкових струн впливають на нормальне функціонування клапанного апарату серця та його гемодинаміку, тому метою наших досліджень було вивчення методами світлової мікроскопії та імуногістохімії структурної організації нормально розташованих сухожилкових струн мітрального клапана серця людини. Для гістологічного дослідження ми брали окремо струни передньої та задньої стулок і комісуральні струни. Динаміку зміни гістоструктури сухожилкових струн ми прослідкували при вивченні ділянок відходження їх від соскоподібних м'язів та прикріплення струни до стулок клапану.

Morphologia. – 2014. – Т. 8, № 3. – С. 61-66.

© Л.Я.Федонюк, Ю.Ю.Малик, 2014

✉ yul-mlk@ya.ru

Fedonyuk L.Ya., Malyk Yu.Yu. Structural organization of normally located mitral valve chordae tendineae of the human heart.

ABSTRACT. Background. The mitral valve complex of the human heart consists of: the fibrous annulus, valve leaflets, chordae tendineae and papillary muscles. Deficiency or degeneration one of these structures may result in the dysfunction of the valvular apparatus. Topography and structure of the chordae tendineae effect to the normal functioning of heart valve complex and its hemodynamics, due to the aim of our research was to examine the peculiarities of the structural organization normally located mitral valve chordae tendineae of the human heart. **Methods.** The investigation was made on sectional material. We used light microscopy and immunohistochemistry methods. **Results.** The chordae tendineae are cord-like tendons that connect the papillary muscles to the valve leaflets in the heart. The chordae tendineae were covered by endocardium which contained superficial layer of endothelium. Subendocardial layer includes loosely located collagen and elastic fibers which were interwoven with each other. Core of the chordae are composed of bundles of densely packed collagen fibrils with few elastic fibers. **Conclusion.** The investigations allowed to receive a new objective data on some structural peculiarities of chordae tendineae of the human mitral valve that later can become the basis for the differential diagnosis of disease, including valvular heart pathology.

Key words: chordae tendineae, mitral valve, papillary muscles, collagen fibers, elastic fibers.

Citation:

Fedonyuk LYa, Malyk YuYu. [Structural organization of normally located mitral valve chordae tendineae of the human heart]. *Morphologia.* 2014;8(3):61-6. Ukrainian.

Вступ

Не дивлячись на досягнення як в кардіології, так і в кардіохірургії [1], захворювання серцево-судинної системи, нажаль, зберігають першість у структурі захворюваності та смертності. Важко переоцінити роль клапанного апарату серця у функціонуванні серцево-судинної системи [2, 3], а також у розвитку різноманітних патологічних процесів підклапанних структур [4, 5] і кардіоваскулярних розладів. Нормальне функціонування клапанного апарату залежить, в першу чергу, від взаємозв'язку його структурних компонентів [6,

7]. Топографія та зміна будови сухожилкових струн (СС) впливають на його нормальне функціонування та гемодинаміку [8, 9]. Вивчення анатомо-гістологічних особливостей СС в складі клапанів серця має не лише теоретичне, але й велике практичне значення, бо саме знання морфологічних особливостей дозволяє вірно трактувати дані клінічного обстеження.

Мета

Визначити особливості структурної організації нормально розташованих сухожилкових струн мітрального клапана серця людей.

Матеріали та методи

Матеріалом для дослідження були СС мітральних клапанних апаратів 53 сердець людей віком від 17 до 60 років. Для дослідження були використані макроскопічний метод, метод світлової мікроскопії, гістохімічний та імуногістохімічний методи.

Результати та їх обговорення

Виконані макроскопічні дослідження дозволили встановити, що мітральний комплекс містить наступні взаємопов'язані елементи: фіброзне кільце, стулки мітрального клапана (МК), сухожилкові струни та соскоподібні м'язи (СМ). Стулки МК своїми верхніми краями (основа стулки) фіксувалися до фіброзного кільця, а нижніми (вільними) краями провисали в порожнину лівого шлуночка і обмежували лівий передсердно-шлуночковий отвір.

СС представляли собою переважно сполучнотканинні утворення у вигляді тяжів, що простягалися від верхівок СМ, або їх верхньої третини та сполучалися зі стулками клапана. На основі макроскопічного дослідження сердець людини встановлено, що при з'єднанні зі стулкою клапана СС на своєму шляху галузилися розсипним або дихотомічним способом. Тому до стулки клапана кріпилася значно більша кількість СС, ніж відходила від СМ. Розділення струни на окремі пучки при з'єднанні зі стулкою визначали як порядковість розділення. З кожним поділенням товщина струни зменшувалась.

Від кожного соскоподібного м'язу СС прикріплювалися до відповідної стулки і в меншій кількості до сусідньої. В залежності від місця прикріплення ми виділили СС передньої стулки, СС задньої стулки та комісуральні СС.

Всі струни, що прикріплювалися до стулок клапанів, вважалися нормально розташованими, а ті, що не кріпилися до них – аномально розташованими.

Кількість СС, що кріпилися до передньої стулки варіювала. Звичайним явищем був поділ багатьох СС на 2-3 нитки, що прикріплювалися до стулки на рівній відстані.

До вільного краю передньої стулки прикріплювалось від 10 до 23 СС, до шлуночкової поверхні підходило по 7-12 СС.

В залежності від типу прикріплення розрізняли два типи сухожилкових струн передньої стулки: СС потовщеної зони та опорні СС. Опорні СС відходили від переднього та заднього СМ, товсті, прикріплювалися до шлуночкової поверхні по півколу передньої стулки по лінії змикання стулок на 4 і 8 циферблата годинника. СС потовщеної зони кріпилися до шлуночкової поверхні до ділянки, що знаходилась між гребнем і вільним краєм стулки. Опорні СС зазвичай ділилися на три струни до прикріплення до стулки: одна кріпилася до вільного краю стулки (крайова струна), друга по лінії змикання стулок, а

третьою дещо далі від краю стулки на шлуночкової поверхні (рис. 1).

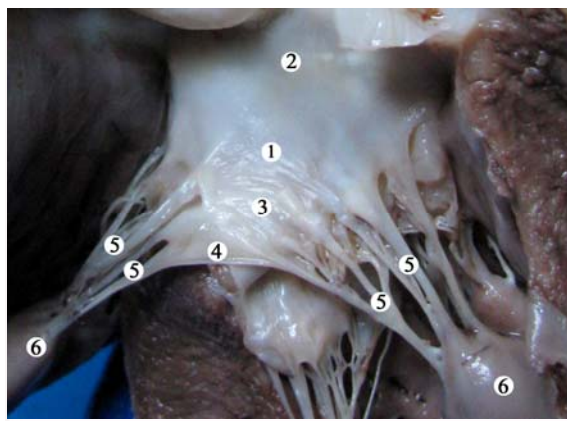


Рис. 1. Фрагмент клапанного апарату лівого шлуночка серця людини. 1 – шлуночкова поверхня передньої стулки; 2 – мембранозна частина; 3 – потовщена зона передньої стулки; 4 – вільний край; 5 – сухожилкові струни; 6 – соскоподібні м'язи. Макропрепарат.

СС, що прикріплювалися до мембранозної зони, яка розташована між лінією змикання та фіброзним кільцем, ми не виявили (див. рис. 1).

До вершини передньої стулки, інколи, в одній умовній точці прикріплювалися струни від двох СМ.

До задньої стулки МК кріпилося СС в кількості 17-58. По вільному краю задньої стулки фіксувалися 17-40 струн, до шлуночкової поверхні - 12-23 струни.

За місцем прикріплення СС задньої стулки поділені на три типи: струни потовщеної зони, струни розщеплень задньої стулки та базальні струни. Струни розщеплень задньої стулки зазвичай віялоподібно кріпилися до розщеплень між її фестонами. Базальні струни прикріплювалися до основи задньої стулки, часто йшли від трабекул задньої стінки лівого шлуночка. Часто СС задньої стулки віялоподібно ділилися перед прикріпленням до стулки.

Макроскопічно було виявлено клапани серця, в яких від СМ відходило декілька СС, що на певній відстані об'єднувалися в одну струну, а ближче до клапана розгалужувалися пучком або віялоподібно і прикріплювалися до стулки.

Методом світлової мікроскопії було досліджено комісуральні струни, струни передньої та задньої стулок. Умовно струни були поділені на три частини: місце відходження від соскоподібного м'язу, середня третина струни, місце прикріплення до стулки клапану.

Дослідження виконані за допомогою світлової мікроскопії середньої третини нормально розташованих СС МК показали, що з усіх поверхонь струна вкрита ендокардом. Під ендокардом з усіх поверхонь сухожилкової струни розташо-

вустя підендокардіальний пухкий колагеново-еластичний шар, який відмежує серцевину струни, що формує її внутрішній остов (рис. 2).

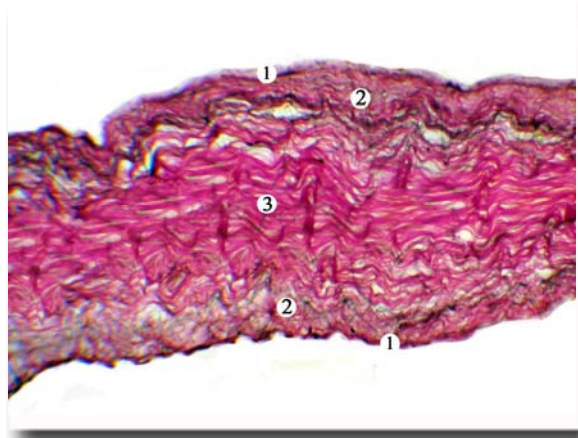


Рис. 2. Світлооптична будова нормально розташованої сухожилкової струни передньої стулки мітрального клапана серця людини. 1 – ендокард; 2 – підендокардіальний колагеново-еластичний шар; 3 – серцевина струни. Забарвлення: по Вейгерт-Ван-Гізон. Мікрофотографія. $\times 400$.

Ендокард складався з поверхневого шару плоских клітин – ендотеліоцитів, які лежали на тонкій базальній мембрані, що підтвердилось імуногістохімічним дослідженням, при якому спостерігалась CD 34 – позитивна реакція (Monoclonal Mouse Anti Human CD 34, Class II, Clone QVEnd 10, Code № M7165). Клітини ендотелію утворювали з'єднання у вигляді ланцюжка. Коричневе забарвлення, яке супроводжувало позитивну реакцію, відповідало або контурам клітин або лише слабо маркувало їхні ядра (рис. 3).

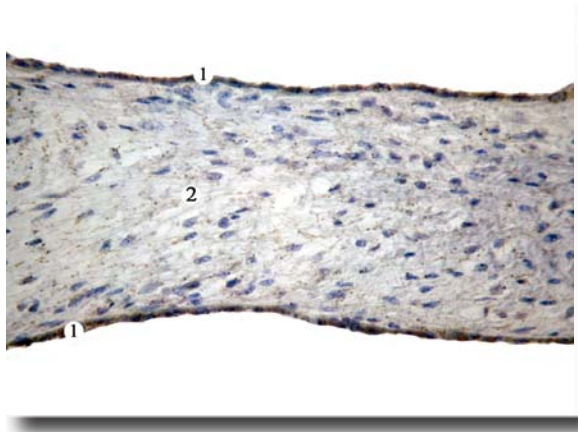


Рис. 3. Середня третина нормально розташованої сухожилкової струни мітрального клапана серця людини. 1 – ендотелій (експресія CD 34+); 2 – сполучнотканинний каркас струни. Імуногістохімічний метод: Monoclonal Mouse Anti Human CD 34, Class II, Clone QVEnd 10; додаткове фарбування гематоксилином Маса-ра. $\times 400$.

Підендокардіальний шар, який відмежує серцевину струни, утворений пухко розташова-

ними колагеновими та еластичними волокнами, а також клітинами фібробластичного ряду: фібро-бластами та фіброцитами.

Еластичні волокна розташовувались лінійно у поздовжньому напрямку серед хвилеподібних колагенових волокон і заповнювали проміжки між клітинами сполучної тканини (рис.4). Співвідношення еластичних і колагенових волокон на периферії становило 60/40, в напрямку до центру СС кількість еластичних волокон стає меншою, а вміст колагену збільшується.

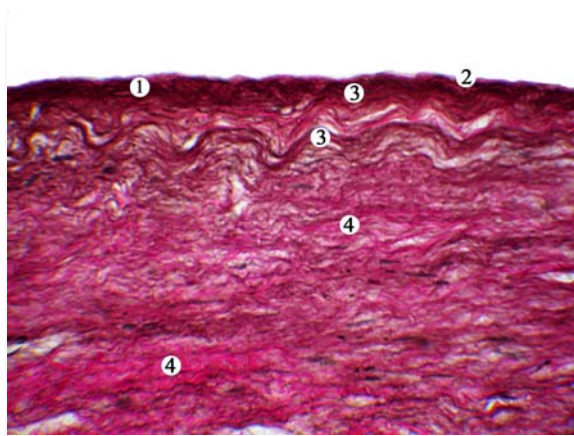


Рис 4. Світлооптична будова середньої третини нормально розташованої сухожилкової струни мітрального клапана серця людини. 1 – ендокард; 2 – ендотелій; 3 – колагеново-еластичний шар; 4 – пучки колагенових волокон. Забарвлення: по Вейгерт-Ван-Гізон. $\times 400$.

Серцевину СС формують потужні пучки прямолінійно орієнтованих колагенових волокон, що щільно упаковані між собою (див. рис.4). Колагенові волокна забезпечують міцність та цілісність СС.

Товщу СС також пронизують тонкі еластичні волокна в невеликій кількості, формуючи в ній сітку.

Динаміку змін гістоструктури СС ми прослідкували при вивченні ділянок відходження їх від СМ методом світлової мікроскопії.

В місцях відходження СС від верхньої або середньої третини СМ ми виявляли сполучнотканинні пучки, що чергувалися з пучками серцевої поперечно-посмугової м'язової тканини та входили в основу СС. Орієнтація їх була поздовжньою або дугоподібною.

Мікроскопічне дослідження ділянки відходження СС від СМ також виявило, що пучки колагенових волокон у складі СС є віялоподібними у верхівках СМ і розташовуються між кардіоцитами, що особливо добре видно на зрізах забарвлених по Ван-Гізон (рис. 5).

У ділянках верхівок СМ виявлено наявність поздовжніх м'язових пучків, які наближаючись один до одного, утворювали гострий кут, відкритий до основи СМ, що говорить про продовжен-

ня поздовжніх і косих пучків в сухожилкових струнах.

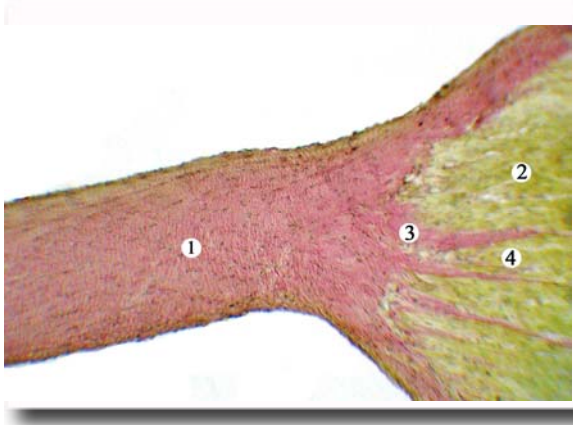


Рис 5. Світлооптична будова нормально розташованої сухожилкової струни мітрального клапана в місці прикріплення до соскоподібного м'язу. 1 – сухожилкова струна; 2 – соскоподібний м'яз; 3 – пучки колагенових волокон; 4 – кардіоміоцити. Забарвлення: по Ван-Гізон. $\times 200$.

Кардіоміоцити проникають в СС на невелику відстань, і часто супроводжуються кровоносними судинами (рис.6).



Рис. 6. Сухожилкова струна мітрального клапана серця людини. Місце прикріплення до соскоподібного м'язу. 1 – ендотелій; 2 – пучки колагенових волокон; 3 – кардіоміоцити; 4 – кровоносні судини. Забарвлення гематоксиліном та еозином. $\times 200$.

Кровоносні судини проникали в СС із СМ шлуночків серця на різну відстань в напрямку до стулок передсердно-шлуночкових клапанів. Ми виявили кровоносні судини вздовж $\frac{1}{2}$ довжини СС.

Імуногістохімічне дослідження СС клапанів серця виявило позитивний рівень експресії маркера Anti-Human Collagen IV, Code № M 0785, що був найбільший в ділянці відходження СС від СМ, що пояснюється присутністю IV типу колагену у базальних мембранах сарколеми, що оточує кардіоміоцити (рис. 7).

Базальна мембрана, що вкриває поверхню кардіоміоцита, входить у безпосередній контакт

із міжклітинним простором, стінками капілярів, колагеновими волокнами. Вона представляє собою опорно-фібрилярний комплекс складних ліпідів, протеогліканів і колагена IV типу.

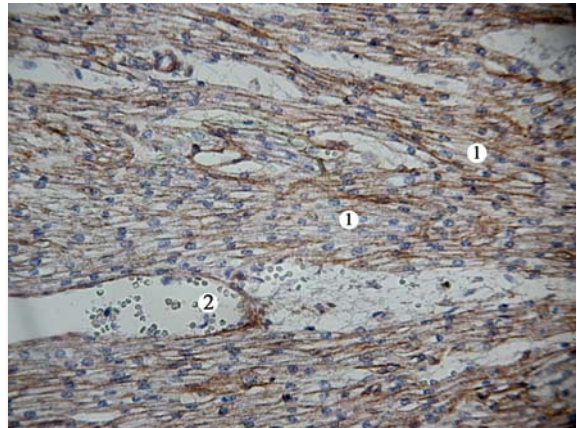


Рис. 7. Сухожилкова струна передньої стулки мітрального клапана серця людини 1 – кардіоміоцити; 2 – кровоносні судини. Імуногістохімічний метод: Anti-Human Collagen IV, Code № M 0785; додаткове фарбування гематоксиліном Маєра. $\times 600$.

Окрім того, колаген IV типу був виявлений у складі стінок кровоносних судин, які локалізувались в цій частині СС і супроводжували кардіоміоцити.

За допомогою імуногістохімічного метода було виявлено, що експресія маркера Anti-Human Smooth Muscle Actin була найвищою в кровоносних судинах, що розташовувались серед клітин поперечно-посмугової серцевої м'язової тканини (рис. 8).

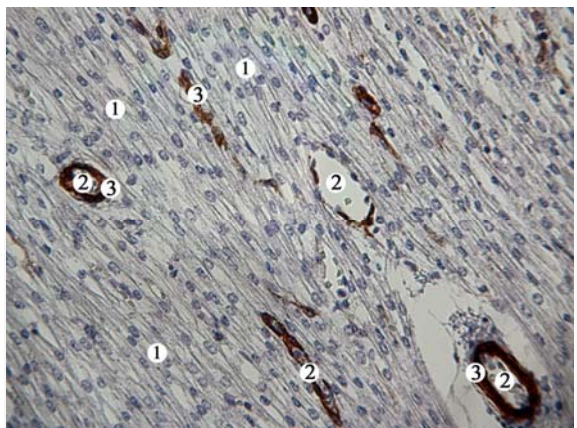


Рис. 8. Сухожилкова струна мітрального клапана серця людини (місце прикріплення до соскоподібного м'язу). 1 – кардіоміоцити; 2 – кровоносні судини; 3 – гладкі міоцити. Імуногістохімічний метод: Monoclonal Mouse Anti-Human Smooth Muscle Actin, Clone 1A4; додаткове фарбування гематоксиліном Маєра. $\times 600$.

Це підтверджує думку про те, що кровозабезпечення СС відбувається через верхівки СМ.

У місцях прикріплення СС до стулок передсердно-шлуночкових клапанів і у самих клапанах серця спостерігалися складні переплетення колагенових і еластичних волокон. Пучки колагенових волокон щільної серцевини струни в місці прикріплення до стулки розходились у різні сторони або ділилися віялоподібно і, вплітаючись у стулки клапана, прямували до фіброзного кільця (рис. 9).

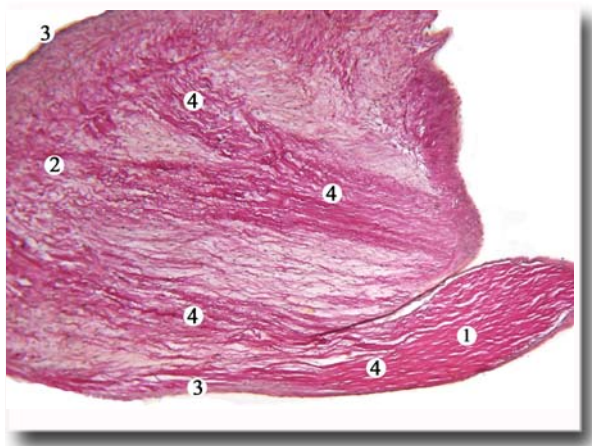


Рис. 9. Перехід сухожилкової струни в стулку мітрального клапана. 1 – сухожилкові струна; 2 – стулка клапана; 3 – ендокард; 4 – пучки колагенових волокон. Забарвлення: по Вейгер-Ван-Гіззон. $\times 200$.

Колагеновий каркас СС проходив у шлуночкову поверхню стулки клапана, а її ендотелій і підендотеліальний шар переходили на стулку клапана. Частина пучків щільної серцевини СС повертала та прямувала до вільного краю стулки клапана, формуючи фіброзний шар гладкої поверхні та вільні краї (рис.10). Пучки колагенових волокон інколи лежали під кутом один до одного.

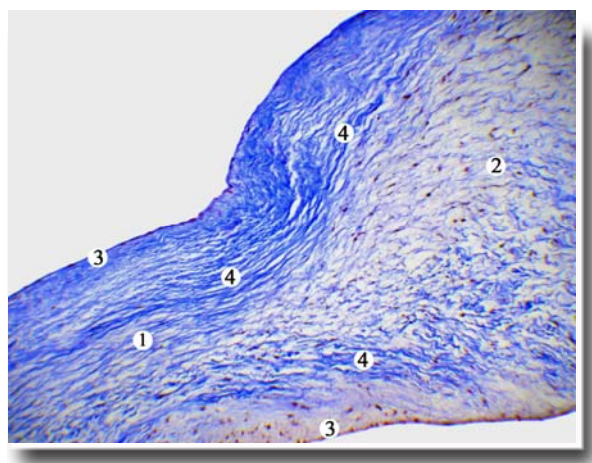


Рис. 10. Сухожилкова струна мітрального клапана серця людини. Місце прикріплення до стулки клапана. 1 – сухожилкові струна; 2 – стулка клапана; 3 – ендокард; 4 – пучки колагенових волокон. Забарвлення: по Слінченко. $\times 400$.

При імуногістохімічному дослідженні поперечного зрізу СС у ділянці, що лежала ближче до клапана, виявлено позитивну реакцію маркера Anti-Human Smooth Muscle Actin, що спостерігалась у сполучній тканині як під ендокардом, так у центральній ділянці струни. За особливостями експресії та будови структур, в яких виявлялась позитивна реакція з цим маркером, можна припустити, що це є різновид скоротливих інтерстиційних клітин (рис. 11).

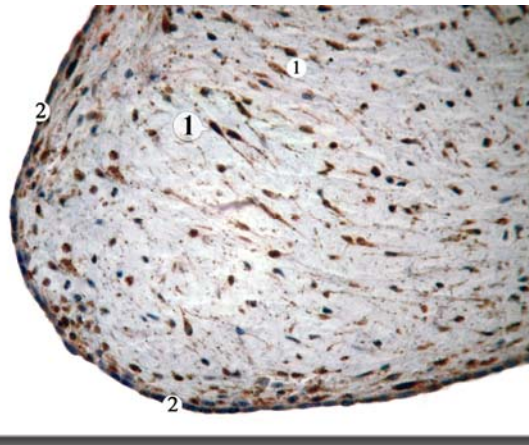


Рис. 11. Сухожилкова струна передньої стулки мітрального клапана серця людини. 1 – скоротливі інтерстиційні клітини (міофібробласти); 2 – ендотелій. Імуногістохімічний метод: Anti-Human Smooth Muscle Actin, Clone 1A4; додаткове фарбування гематоксилином Маєра. $\times 400$.

Виконані дослідження дозволили встановити особливості будови сухожилкових струн мітрального клапана людей в нормі, що в подальшому стане підґрунтям для диференціальної діагностики їх патології, зокрема патології клапанного апарату серця.

Висновки

1. Сухожилкові струни представляють собою сполучнотканинні утвори у вигляді тяжів, які простягаються від верхівок соскоподібних м'язів і сполучаються зі стулками клапана.

2. Залежно від типу прикріплення до стулок мітрального клапана виділено сухожилкові струни передньої стулки (потовщеної зони та опорні), сухожилкові струни задньої стулки (потовщеної зони, струни розщеплень задньої стулки та базальні) та дві комісуральні сухожилкові струни, що віялоподібно кріпляться до передньо-латеральної та задньо-медіальної комісуральних зон стулок мітрального клапана.

3. При комплексному гістологічному дослідженні сухожилкових струн мітрального клапана встановлено, що під ендотелієм локалізується периферійний колагеново-еластичний шар, а центральний стрижень струни утворений щільно розташованими колагеновими волокнами.

Перспективи подальших досліджень

Визначення типів колагену, притаманних

для стулок клапана та сухожилкових струн в нормі, допоможе зрозуміти та віддиференціювати

зміни, які характерні для дисплазії сполучної тканини клапанного апарату серця.

Літературні джерела References

1. Knyshov HV. [Cardiosurgery in Ukraine: past, present and future]. *Sertse i sudyny*. 2003;1:8–14. Russian.
2. Millington-Sanders C, Meir A, Lawrence L, Stolinski C. Structure of chordae tendineae in the left ventricle of the human heart. *Journal Anat*. 1998;192:573-81.
3. Kozlov VO, Dziak VH, authors; [Chordae tendineae of the heart: educational and methodical textbook]. Dnipropetrovsk: Lira; 2006. 128 p. Ukrainian.
4. Akhtar S, Meek KN. Ultrastructure abnormalities in proteoglycans collagen fibers and elastic fibers in normal and myxomatous mitral valve chordae tendineae. *Cardiovascular Pathology*. 1999;8(4):191-201.
5. Icardo JM, Colvee E, Revuelta JM. Structural analysis of chordae tendineae in degenerative disease of the mitral valve. *International Journal of Cardiology*. 2012;167(4):1603–9.
6. Gusukuma WL, Prates JC, Smith RL. Chordae tendineae architecture in the papillary muscle insertion. *Int. J. Morphol*. 2004;22(4):267-72.
7. Kostilenko YuP, Stepanchuk AP. [Trabecular formations and chordae tendineae of the left ventricle of the human heart]. *Visnik morfologii*. 2010;16(1):66–70. Russian.
8. Lobko PI, Rombal'skaya AR. [Microscopic anatomy of the trabeculae carneae, papillary muscles and chordae tendineae of the human heart ventricles]. *Klinichna anatomiya ta operativna hirurgiya*. 2010;9(1):60–3. Russian.
9. Rombal'skaya AR. [Topography and value of the chordae tendineae of the human heart ventricles in the hemodynamics]. *Morfologiya*. 2007;131(3): 89. Russian.

Федонюк Л.Я., Малик Ю.Ю. Структурная организация нормально расположенных сухожильных хорд митрального клапана сердца человека.

Реферат. Топография и изменение строения сухожильных хорд влияют на нормальное функционирование клапанного аппарата сердца и его гемодинамику, поэтому целью наших исследований было изучение методами световой микроскопии и иммуногистохимии структурной организации нормально расположенных сухожильных хорд митрального клапана сердца человека. Для гистологического исследования мы брали отдельно хорды передней и задней створок и комиссуральные струны. Динамику изменения гистоструктуры сухожильных хорд мы проследили при изучении участков отхождения их от сосочковых мышц и прикрепления хорд к створкам клапана.

Ключевые слова: сухожильные хорды, митральный клапан, сосочковые мышцы, коллагеновые волокна, эластические волокна.