

Л.Я.Федонюк<sup>1</sup>  
Т.О.Семенюк<sup>2</sup>  
Є.Р.Боднар<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ДВНЗ «Тернопільський державний медичний університет ім. І.Я. Горбачевського»,  
<sup>2</sup> Буковинський державний медичний університет,  
Чернівці

**Ключові слова:** передсердно-шлуночковий клапан, шлуночково-судинний клапан, стулка, заслінка, світлова мікроскопія, електронна мікроскопія.

Надійшла: 17.08.2014  
Прийнята: 12.09.2014

УДК 611.126.018

## СВІТЛООПТИЧНА ТА УЛЬТРАМІКРОСКОПІЧНА БУДОВА КЛАПАНІВ СЕРЦЯ ЛЮДИНИ В НОРМІ

*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.** Проведено аналіз будови стулок/заслінок 48 клапанів серця людини. Використані світлооптичний та електронно-мікроскопічний методи досліджень дозволили вивчити морфологію стулок передсердно-шлуночкових та заслінок шлуночково-судинних клапанів серця. Отримані дані свідчать про пошарове розташування різних видів волокнистих сполучних тканин у їх складі. Розташування шарів у стулках/заслінках клапанів серця зумовлено гемодинамічними умовами під час серцевого циклу.

**Morphologia.** – 2014. – Т. 8, № 3. – С. 67-71.

© Л.Я.Федонюк, Т.О.Семенюк, Є.Р.Боднар, 2014

✉ [tstefanet@yahoo.com](mailto:tstefanet@yahoo.com)

**Fedoniuk L., Semeniuk T., Bodnar E. Microscopic and ultramicroscopic characteristic of heart valves in human.**

**ABSTRACT. Background.** Valvular apparatus of the heart is the frequent object of the surgical operations for today. Morphological changes which are happened within valves of the heart at time of cardiac diseases the modern medicine considers on the clinical, instrumental, histological, cytological and ultramicroscopical levels. The cardiac surgeons that make the heart valve replacement using the tissue engineering have the great interest in front of the heart valves. The achievements of the modern medicine are impossible without the fundamental morphological investigations. **Objective.** To study the morphological features of the cusps of human heart valves on the light and ultramicroscopic levels. **Methods.** We have reviewed the structure of cusps of 48 heart valves of adults. It was used a light and electron microscopy which enabled us to study the morphology of cusps of atria-ventricular and ventriculo-vascular heart valves. **Results.** The data indicate that cusps of heart valves are stratified. Layers of cusps are made of different types of fibrous connective tissues. The spongy layer is made of loose connective tissue, the fibrous layer – dense regular connective tissue, ventricular layer – dense irregular connective tissue. The arrangement of these layers in the cusps of atria-ventricular heart valves (in the direction from atrium toward ventricle) is: spongy, fibrous and ventricular. The arrangement of these layers in the cusps of ventricular-vascular heart valves (in the direction from side that is faced to the wall of blood vessel toward the ventricle) is: fibrous, spongy, ventricular. **Conclusion.** The position of data layers within cusp of atria-ventricular valves differs from position of data layers within ventriculo-vascular valves. These changes of tissue localization correlate to haemodynamic conditions during heart cycle.

**Key words:** atria-ventricular valve, ventriculo-vascular valve, cusp, light microscopy, electron microscopy.

### Citation:

Fedoniuk L, Semeniuk T, Bodnar E. [Microscopic and ultramicroscopic characteristic of heart valves in human]. *Morphologia*. 2014;8(3):67-71. Ukrainian.

### Вступ

Клапанний апарат серця (КАС) є найчастішим об'єктом оперативних втручань сьогодення [1]. Пошкодження клапанів є причиною змін, що відбуваються у організмі людини, у зв'язку з тим, що серце виконує механічну функцію насосу, який качає кров і спрямовує її в одному напрямку, запобігаючи її зворотному поверненню під час серцевого циклу [2].

У сучасній клінічній медицині спостерігаються аномалії розвитку клапанів серця (КС) та

їх структурних компонентів, які діагностуються як вроджені та набуті вади розвитку [1, 3-5].

Зміни, що відбуваються у клапанному апараті під час хвороби серця, сучасна медицина розглядає на клінічному, інструментальному, гістологічному, цитологічному та ультрамікроскопічному рівнях. Особливу увагу КАС приділяють кардіохірурги, які займаються протезуванням клапанів [6] із використанням досягнень на рівні тканинної інженерії [7-9]. Досягнення сучасної клінічної медицини не можливі без фу-

ндаментальних морфологічних досліджень.

**Метою** нашого дослідження стало з'ясувати морфологічні особливості стулок/заслінок клапанів серця людини на світлооптичному та субмікроскопічному рівнях.

#### **Матеріали та методи**

Матеріалом дослідження стали стулки/заслінки 48 клапанів сердець дорослих людей. Були використані світлооптичний та електронно-мікроскопічний методи дослідження.

#### **Результати та їх обговорення**

Дослідження стулок передсердно-шлуночкових та заслінок шлуночково-судинних КС людини, виконані за допомогою світлооптичної мікроскопії, показали, що їм притаманна морфологічна подібність.

Стулки/заслінки КС вкриті ендотелієм, який зберігає свою цілісність. Ендотеліальні клітини мали плоску, видовжену форму розташовувались одним шаром на базальній мембрані (рис.1). У центрі клітини містилось одне ядро овальної форми, яке забарвлювалось базофільно, при цьому вісь ядра ендотеліоцита була спрямована паралельно до поверхні стулки/заслінки КС.

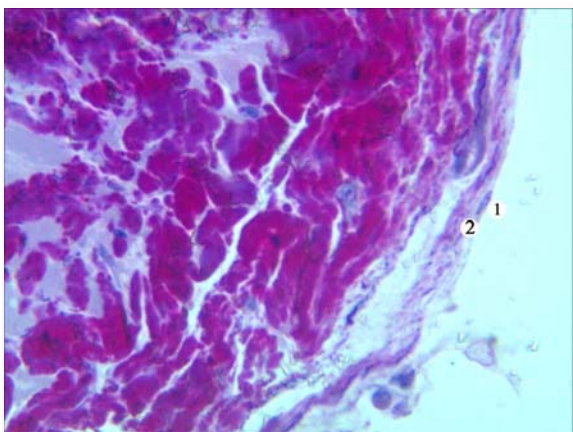


Рис. 1. Напівтонкий зріз стулки тристулкового клапана. Шлуночкова поверхня. 1– ядро ендотеліоцита; 2 – цитоплазма ендотеліоцита. Забарвлення метиленовим синім-азуром-фуксином.  $\times 400$ .

При вивченні ендотеліоцитів при електронній мікроскопії звертало на себе увагу те, нуклеоплазма ядра рівномірно заповнена хроматином. Органели біосинтетичного апарату представлені в помірній кількості та розташовуються як перинуклеарно, так і в периферійних ділянках клітини. На люмінальній поверхні ендотеліальних клітин містились мікроворсинки (рис. 2).

Мітохондрії, які розташовуються в зоні органел ендотеліоцита, варіюють за розмірами та електронною щільністю матрикса, каналці ендоплазматичної сітки не розширені, спостерігаються лізосоми та залишкові тільця. Периферійну частину ендотеліоцитів займають піноцитозні пухирці, що свідчить про активні процеси

трансендотеліального транспорту.

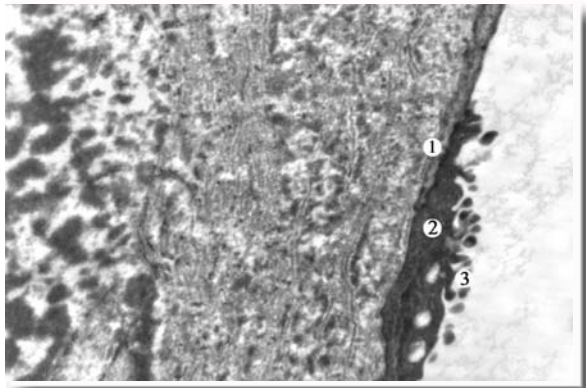


Рис. 2. Ультрамікроскопічна організація поверхні стулки тристулкового клапана. 1 – базальна мембрана; 2 – цитоплазма ендотеліоцита; 3 – мікроворсинки люмінальної поверхні ендотеліоцита. Електронна мікрофотографія.  $\times 6400$ .

Ендотеліальні клітини КС характеризуються міцними контактами, функціональними щільними взаємодіями та перекриваються крайовими складками.

Товщу стулок/заслінок КС людини, в основному, утворюють клітинні та неклітинні елементи волокнистої сполучної тканини.

Присутність у стулках/заслінках КС щільної оформленої та пухкої неформленої сполучних тканин зумовлює їх пошаровість, зокрема розташування спонгіозного, фіброзного та шлуночкового шарів у стулках передсердно-шлуночкових клапанів (ПШК) у напрямку від передсердної до шлуночкової поверхні.

Спонгіозний шар стулки складався із слабо організованої сполучної тканини, яка візуалізувалась безпосередньо під шаром ендотеліальних клітин у в'язкому середовищі. Сполучна тканина складалась із колагенових і еластичних волокон, а також із клітин фібробластичного ряду, зокрема фіброblastів та фіброцитів. Еластичні волокна виявились чисельними та поздовжньо орієнтованими на відміну від косо направлених колагенових волокон (рис. 3).

Спонгіозний шар стулки знижує механічне навантаження у стулках КС і підтримує їх гнучкість.

Нашу увагу привернули клітини, що розташовувались між пучками сполучнотканинних волокон у спонгіозному шарі. Цитоплазма клітин була заповнена великою кількістю секреторних гранул (рис. 4). У їх цитоплазмі відзначається добре розвинута ендоплазматична сітка та комплекс Гольджі. У ядрі переважав еухроматин. Дані клітини розцінено як різновид секреторних інтерстиційних клітин. Вони є необхідними компонентами відновлюючої системи таких структур, як КС. Постійних рух стулок і деформація сполучної тканини, яка з нею пов'язана, призво-

дить до пошкодження, на яке інтерстиційні клітини реагують з метою збереження цілісності клапана. Відновлюючий процес є життєво важливим для нормального функціонування клапана і відсутність цих клітин у сучасних моделях штучних КС, можливо є фактором, що сприяє структурним пошкодженням біопротезів.

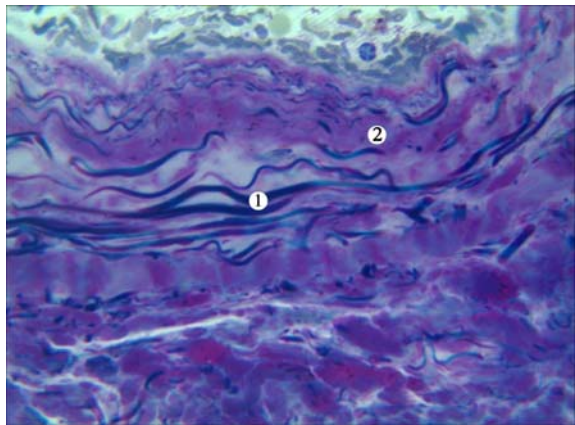


Рис. 3. Напівтонкий зріз стулки тристулкового клапана. 1 – еластичні волокна у складі спонгіозного шару стулки; 2 – колагенові волокна спонгіозного шару. Забарвлення метиленовим синім-азуром-фуксином.  $\times 400$ .

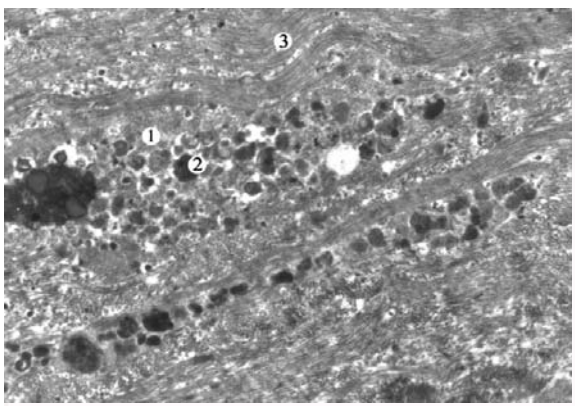


Рис. 4. Субмікроскопічна будова інтерстиційної клітини. 1 – цитоплазма; 2 – секреторні гранули; 3 – міжклітинна речовина. Електронна мікрофотографія.  $\times 4000$ .

Фіброзний шар, в основному, утворений товстими пучками колагенових волокон, які паралельно одне одному прямують в одному напрямку вздовж осі стулки клапана. Між масивними пучками колагенових волокон у прошарках пухкої сполучної тканини залягали фібробласти (рис. 5). При електронній мікроскопії було встановлено, що клітини мають неправильну форму з відростками. Клітини мають велике світле ядро, яке розташовується в центрі клітини з переважанням еухроматину. Цитоплазма містить органи за загального призначення, серед яких найкраще розвинуті органи синтетичного апарату клітини.

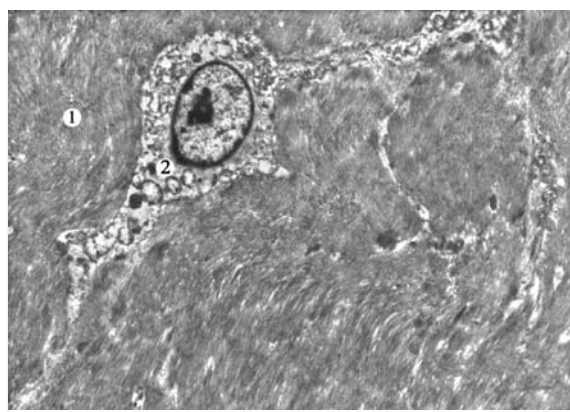


Рис. 5. Субмікроскопічна будова фіброзного шару тристулкового клапана. 1 – пучки колагенових волокон; 2 – фібробласт. Електронна мікрофотографія.  $\times 3200$ .

Зі сторони шлуночкової поверхні стулок ПШК, де втручаються пучки колагенових волокон СС, за допомогою електронної мікроскопії виявлено, що пучки залишаються досить масивними та щільно прилягають один до одного, але напрямок пучків змінюється (рис. 6).

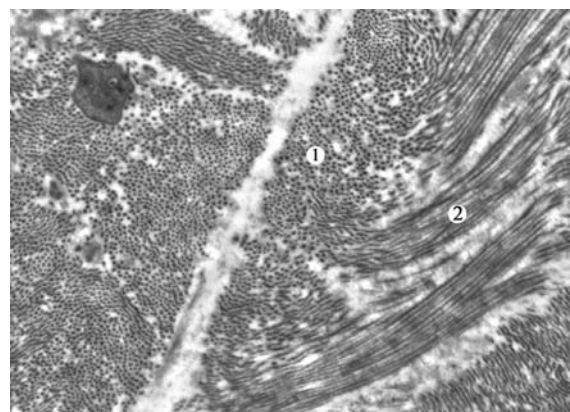


Рис. 6. Субмікроскопічна будова шлуночкового шару тристулкового клапана. 1 – поперечно зрізані пучки колагенових волокон; 2 – косо поздовжньо зрізані пучки колагенових волокон. Електронна мікрофотографія.  $\times 8000$ .

У стулках ПШК серця людини у ділянках їх основи були виявлені капіляри соматичного типу (рис. 7). Їх стінка утворена суцільним шаром ендотеліальних клітин, що лежать на добре вираженій базальній мембрані. Клітинна оболонка ендотеліоцита мала чіткі контури, зі сторони люмінальної поверхні ендотеліоцита спостерігали мікровирости, складки та мікроворсинки, що були утворені пареплазмолемальним шаром, плазмолемою та підмембранним шаром. Цитоплазма клітин містила органи за загального призначення та велику кількість піноцитозних пухирців, що свідчить про активні процеси транспорту та обміну речовин.

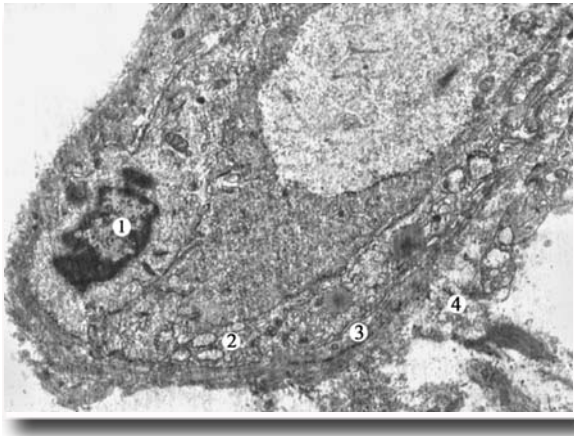


Рис. 7. Субмікроскопічна будова соматичного капіляра стулки мітрального клапана. 1 – ядро ендотеліоцита; 2 – цитоплазма ендотеліоцита; 3 – базальна мембрана; 4 – сполучна тканина. Електронна мікрофотографія.  $\times 4800$ .

У заслінках шлуночково-судинних клапанів (ШСК) серця в напрямку від поверхні, що обернута до судини, до поверхні, що спрямована у сторону шлуночків, були виявлені наступні шари: фіброзний, спонгіозний та шлуночковий (рис.8). Тканинні складові шарів заслінок мали подібність до складових шарів ПШК. Спостерігались тільки зміни місць розташування. Спонгіозний шар, що був утворений пухкою сполучною тканиною, у заслінках ШСК займав середнє положення. Щільна сполучна тканина займала межове розташування.



Рис. 8. Поперечний зріз заслінки аортального клапана. 1 – ендотеліоцити; 2 – фіброзний шар; 3 – спонгіозний шар, 4 – шлуночковий шар. Забарвлення гематоксином та еозином.  $\times 100$ .

У складі фіброзного шару були виявлені масивні пучки колагенових волокон, між пучками яких знаходились великі за розміром клітини секреторно активні фібробласти.

У спонгіозному шарі заслінок спостерігались пучки колагенових волокон та еластичні волокна, які ближче до фіброзного шару були ущільнені, а в центральній ділянці вже візуалізу-

валось більш пухке їх розташування. Між пучками колагенових волокон та еластичними волокнами у аморфному компоненті міжклітинної речовини локалізувались клітини неправильної форми, з великим світлим ядром, каріолема якого формувала глибокі виразні інвагінації. Світле ядро та його великі розміри відповідають клітинам із високою секреторною активністю. Цитоплазма фібробласта містить усі органи за загального призначення. Особливо добре розвинені гранулярна ендоплазматична сітка та комплекс Гольджі, які розкидані по всій цитоплазмі клітини.

У шлуночковому шарі заслінок ШСК серця дорослих людей спостерігались пучки колагенових волокон, які змінювали свій напрям.

Еластичні волокна мали тенденцію до збільшення як в кількості, так і в товщині. Серед різнонаправлених пучків колагенових волокон розташовувались досить масивні еластичні волокна (рис. 9), в яких відзначались розгалуження.

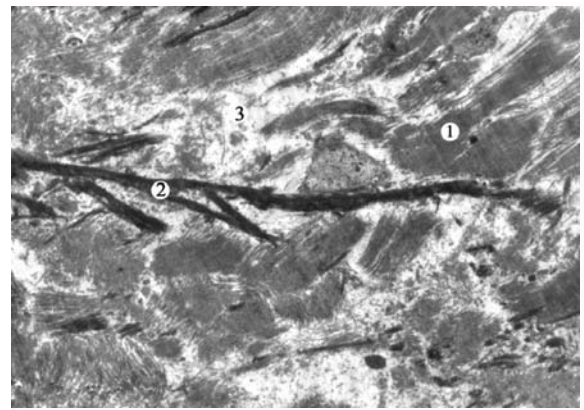


Рис. 9. Ультрамікроскопічна будова шлуночкового шару заслінки клапана легеневого стовбура. 1 – поперечно зрізані пучки колагенових волокон; 2 – косопоздовжно зрізані пучки колагенових волокон; 3 – еластичні волокна; 4 – аморфна речовина. Електронна мікрофотографія.  $\times 6400$ .

Взаємозв'язок між колагеном і еластином допускають розтягнення стулок до 40 % без стійкої деформації. При дії незначного навантаження колагенові структури цього шару орієнтуються в напрямку навантаження.

#### Підсумок

В результаті проведених досліджень на світлооптичному та ультрамікроскопічному рівнях дійшли висновку, що стулки/заслінки КС дорослих людей мають чітку пошарову будову, яка зумовлена присутністю в їх складі різних видів сполучної тканини, зокрема щільної оформленої, неформленої та пухкої неформленої. В складі стулок ПШК серця шари в напрямку від передсердної до шлуночкової поверхні упорядковані наступним чином: спонгіозний, фіброзний та шлуночковий. У заслінках ШСК серця шари в напрямку від сторони, що обернута до судини,

розташовані наступним чином: фіброзний, спонгіозний та шлуночковий. Зміна розташування шарів у стулках та заслінках КС відповідає тим гемодинамічним умовам, які впливають на них під час серцевого циклу.

#### Перспективи подальших досліджень

Вивчення особливостей морфологічної будови стулок/заслінок КС в нормі дозволило з нових позицій висвітлити структурно-тканинний потенціал, що може бути використано в сфері тканинної інженерії з метою удосконалення біопротезів клапанів серця.

#### Літературні джерела References

1. Knishov GV. [Cardiosurgery in Ukraine: past, present, future]. Heart and vessels. 2003;1:8-14. Russian.
2. Sokolov VV. [Comparative morphology of heart valves]. Rostov-na-Donu: Publishing house of Rostov state medical university; 2003. 250 p. Russian.
3. Bilavka IV, Kravchenko IM, Zerbino DD. [Bicuspid aortic valve: clinical pathology]. Medicines of Ukraine. 2009;4(130):69-73. Ukrainian.
4. Stepanchuk AP. [Morphological changes of the valvular apparatus of human heart in acquired valvular diseases]. Visnik morfologii. 2008;14(1):247-9. Ukrainian.
5. Fedoniuk LYa, Zaharova VP, Krikunov OA. [Morphological characteristic of human heart valves in infective endocardities]. Bucovinian medical herald. 2004;8(4):83-5. Ukrainian.
6. Orlovskii PI, Gritsenko VV, Uhnev AD, Evdokimov SV, Gavrilentov VI, Shevchenko Uil. [Artificial heart valves]. OLMA Media Grupp; 2007. 448 p. Russian.
7. Mendelson K, Schoen FJ. Heart valve tissue engineering: concepts, approaches, progress, and challenges. Annals of Biomedical Engineering. 2006;34(12):1799-819.
8. Schmidt D, Mol A, Breymann Chr. Living autologous heart valves engineered from human prenatally harvested progenitors. Circulation. 2006; 114[suppl I]: P. I-125-I-131. <http://www.circulation-aha.org>.
9. Vesely I. Heart valve tissue engineering. Circ. Res. 2005;97:743-55. <http://circres.ahajournals.org/content/97/8/743>.

#### **Федонюк Л.Я., Семенюк Т.А., Боднар Е.В. Светооптическое и ультрамикроскопическое строение клапанов сердца человека в норме.**

**Резюме.** Проведен анализ строения створок 48 клапанов сердца взрослого человека. Использованные светооптический и электронно-микроскопический методы исследований позволили нам изучить морфологическое строение створок атрио-вентрикулярный и вентрикуло-вазкулярных клапанов сердца. Полученные данные свидетельствуют о слоистом расположении разных видов волокнистых соединительных тканей в составе створок клапанов сердца. Локализация данных слоев в створках двух групп клапанов сердца отличается, что обусловлено гемодинамическими условиями в полостях сердца во время сердечного цикла.

**Ключевые слова:** атрио-вентрикулярный клапан, вентрикуло-вазкулярный клапан, створка, световая микроскопия, электронная микроскопия.