

## КЛАПАНИ СЕРЦЯ: ОСНОВНІ МОМЕНТИ ЇХ РОЗВИТКУ, МІКРОСКОПІЧНА БУДОВА ТА ОСОБЛИВОСТІ КРОВОПОСТАЧАННЯ

КЛАПАНИ СЕРЦЯ: ОСНОВНІ МОМЕНТИ ЇХ РОЗВИТКУ, МІКРОСКОПІЧНА БУДОВА ТА ОСОБЛИВОСТІ КРОВОПОСТАЧАННЯ – Морфологія клапанів серця давно приваблює увагу вчених. Інтерес до вивчення його будови та функції у нормі та при патологічних станах на сучасному етапі ініціюється не тільки бурним розвитком кардіології та кардіохірургії, але і необхідністю обґрунтування формоутворювальних процесів у цьому складному органі. Нормальне функціонування клапана залежить від комплексної взаємодії всіх компонентів клапанного апарату. Порушення структури або функції одного з компонентів клапанного апарату призводить до порушення затворювальної функції клапана та насосної функції серця в цілому. Однак фундаментальних досліджень, проведених десятки років тому назад щодо особливостей будови клапанного апарату серця, не достатньо для встановлення динаміки розвитку системи кровопостачання клапанів серця і потребують оновлення.

КЛАПАНЫ СЕРДЦА: ОСНОВНЫЕ МОМЕНТЫ ИХ РАЗВИТИЯ, МИКРОСКОПИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И ОСОБЕННОСТИ КРОВОСНАБЖЕНИЯ – Морфология клапанов сердца давно привлекает внимание исследователей. Интерес изучения его строения и функции в норме и при патологических состояниях на современном этапе инициируется не только бурным развитием кардиологии и кардиохирургии, но и необходимостью обоснования формообразовательных процессов в этом сложном органе. Нормальное функционирование клапана зависит от комплексного взаимодействия всех компонентов клапанного аппарата. Нарушение структуры или функции одного из компонентов клапанного аппарата приводит к нарушениям закрывательной функции клапана и насосной функции сердца в целом. Однако фундаментальных исследований, проведенных десятки лет назад по поводу особенностей строения клапанного аппарата сердца не достаточно для установления динамики развития системы кровоснабжения клапанов сердца и требуют обновления.

HEART VALVES: MAIN MOMENTS OF THEIR DEVELOPMENT, MICROSCOPIC STRUCTURE AND FEATURES OF THEIR BLOOD SUPPLY – Researches have great interest to the morphology of heart valves. This interest to structure and function in norm and in pathology is induced as rapid development of cardiology and cardiosurgery as necessity of reason developmental processes in this organ. Normal function of valve depends on complex correlation of all components of valve apparatus. Disorders in structure and function one of components gives rise to disturbances of valve shutoff and pump function of the heart. Fundamental researches that were a lot years ago with respect to features of morphology of valve apparatus are too little for detection of determination of dynamic development of blood supply of heart valves and must be update.

**Ключові слова:** кардіогенез, морфологія клапанів, кровопостачання стулук/заслінок.

**Ключевые слова:** кардиогенез, морфология клапанов, кровоснабжение створок/заслонок.

**Key words:** cardiogenesis, morphology of valves, blood supply of cusps.

Одне з перших місць серед причин смертності та інвалідизації людей посідають захворювання серця. Сьгодні кількість вад не тільки не знижується, але й збільшується. Серед вад розвитку значне місце по-

сїдають вади серця, що пов'язані з клапанним апаратом [15, 18]. І саме тому останні десятиріччя характеризуються особливою увагою вчених до вивчення проблем закладки, формування [9, 10, 19] та гістогенетичних закономірностей становлення серця [22] в цілому, розвитку та будови стінок камер серця та перегородкових компонентів [24, 27] і клапанного апарату серця [4, 12, 21], що сприяє розумінню механізмів нормального формоутворення цього важливого органа, а також розвитку різних уроджених і набутих вад серця.

Опису клапанного апарату присвячено багато фундаментальних робіт як вітчизняних [14, 16], так і закордонних авторів [25, 26, 28], але залишається достатньо дискусійним питання щодо кровопостачання та вікових особливостей будови клапанів серця [1, 4, 17] і тому вивчення вікових та індивідуальних перетворень структурних компонентів клапанного апарату, а саме кровопостачання клапанів серця протягом онтогенезу, є актуальним.

У багатьох роботах, в яких описується пренатальний кардіогенез, автори мають спільну думку щодо джерела розвитку клапанів серця [7, 22, 24, 27]. Вони вказують на те, що ендокардіальні подушки (ЕКП) атріоventрикулярного каналу ембріонального серця є основним джерелом для клапанного апарату серця, що відіграють роль провізорних клапанів атріоventрикулярного каналу. На початку їх формування весь простір подушки заповнений кардіогелем. Пізніше, внаслідок епітеліально-мезенхімних перетворень [22, 24], вони неоднорідно заповнюються мезенхімними клітинами. Проліферація та ріст клітин ендокардіальної подушки відбувається на поверхні зі сторони просвіту серця, де клітини розташовані щільним шаром і, можливо, саме з цієї поверхні починається заповнення об'єму подушки клітинами, які, у свою чергу, витісняють кардіогель [20]. Розселення мезенхімних клітин відбувається в напрямку від вільного краю ЕКП до стінки атріоventрикулярного каналу [8]. В. О. Козлов та співавт. [9] в товщі подушки виділяють три зони: 1 – субендокардіальну, 2 – проміжну, 3 – зону прилягання до міокарда. Субендокардіальна зона – ділянка, що прилягає до ендокарда і найпершою заселяється мезенхімою [7]. Вздовж ендокарда подушки спостерігають найщільніше розташування мезенхімних клітин з малими короткими відростками. Проміжна зона становить основну частину об'єму ендокардіальної подушки [20]. В цій зоні зменшується щільність та кількість клітин. Мезенхімні клітини є типовими, між ними зберігається невелика кількість кардіогелю у вигляді залишків. У зоні, що прилягає до міокарда передсердно-шлуночкового отвору, спостерігають ще меншу кількість та щільність мезенхімних клітин [21].

В подальшому спостерігають розшарування міокарда стінки шлуночків та міокарда атріоventрикулярного каналу серця ембріона – делямінація [8–10, 27],

що відбувається внаслідок втрати зв'язків вставних дисків між кардіоміоцитами [2]. Внаслідок делямінації відокремлюється внутрішній шар міокарда, вкритий ендотелієм, що має назву делямінаційної пластинки. На її поверхні, що звернена у порожнину серця, зберігаються ЕКП. Делямінаційна пластинка на цей період ембріогенезу містить в собі пучки кардіоміоцитів. Верхня частина пластинки являє собою первинну стулку передсердно-шлуночкового каналу. Нижня частина шляхом перфорації розділяється на окремі м'язові тяжі, що вкриті шаром ендокарда та являють собою сосочкоподібні м'язи, а також бере участь у закладці первинних сухожилкових струн [2, 21, 27].

В. О. Козлов та В. Ф. Шаторна [7, 21] вказують на те, що стулки передсердно-шлуночкових клапанів, сухожилкові струни і сосочкоподібні м'язи серця закладаються і формуються як єдина структура.

При подальшому розвитку в клапанах передсердно-шлуночкового отвору відбувається і розростання міокардіальних елементів. Відомо, що стулки зрілого клапана серця містять в собі м'язові волокна [2, 14, 16]. Перші м'язові прошарки у стулках клапана спостерігають в ранньому плідному періоді. На наступних стадіях розвитку кількість м'язових клітин збільшується, з'являються клітинні тяжі, що пронизують усю площу стулки клапана. Ці тяжі розростаються, при цьому вони більше наближені до майбутньої передсердної поверхні стулки, ніж до шлуночкової [2]. Формування лівого передсердно-шлуночкового клапана серця хронологічно відстає від процесів утворення клапана у правій половині серця, а також існує відміна процесів формування клапанів, яка полягає в тому, що не настає відокремлення нижнього краю стулки клапана, а в наслідок делямінації стінка шлуночка розділяється на дві нерівні частини: тонку – внутрішню, що є залишками ЕКП, та товсту – зовнішню, що залишається стінкою шлуночка [8, 21].

Клапани аорти та легеневого стовбура розвиваються, починаючи з 5–6 тижня пренатального онтогенезу. В отворах великих судин серця утворюються мезенхіми вкриті ендотелієм, які не містять колагенових та еластичних волокон, виглядають як випинання мезенхіми в порожнину судин і відповідають ендокардіальним подушкам передсердно-шлуночкового каналу [11]. Вже з самого початку утворення закладки півмісяцевих заслінок клапанів великих судин виділяють три здуття у просвіт судини, що дають початок заслінкам клапанів. Первинні клапани являють собою мезенхімні вирости у порожнину судин, основа яких значно збільшена та кріпиться до стінки судини, а вільна поверхня звернена у простір судин, тонша [12]. У подальшому в первинних заслінках клапанів відбуваються процеси утворення колагенових волокон. Перші колагенові пучки з'являються у клапанах по краю заслінки і одночасно в стінці судини, утворюючи замкнуте кільце з колагену. На наступних стадіях розвитку зростає площа та кількість колагенових волокон і збільшується їх щільність [9].

Будова серця та його клапанного апарату в людей є предметом багаточисельних досліджень. До складу передсердно-шлуночкового клапанного апарату входить: волокнисте кільце з елементами м'язової тканини, стулки, сухожилкові струни та сосочкоподібні

м'язи [6, 8]. Клапани аорти та легеневого стовбура також являють собою комплексні утворення, до складу яких входять: волокнисті кільця, стінка аорти або легеневого стовбура, півмісяцеві заслінки з різноманітними фіброзними структурами [8]. Дані багатьох авторів [14, 16] свідчать про те, що у дорослих людей дві стулки у мітральному клапані та три стулки у тристулковому клапані значною мірою є умовним. У тристулковому клапані кількість стулок коливається від 2 до 4 у дітей, та від 2 до 6 у дорослих. Мітральний клапан частіше має 3 стулки, рідше – 2 та ще рідше – 4, 5, 6. На відміну від передсердно-шлуночкових клапанів, клапани аорти та легеневого стовбура стабільно мають по 3 півмісяцевих заслінки, однак у рідких випадках у клапані легеневого стовбура кількість заслінок може збільшуватись до 4, а у клапані аорти – зменшуватись до 2. За даними досліджень деяких науковців [25, 28], у тристулковому клапані дорослих частіше відмічається – 4 стулки, з яких 3 основні та 1 додаткова, також мають місце 5 стулок, з яких 3 основних та 2 додаткові, та 6 стулок, з яких 3 основні та 3 додаткові. Найменший відсоток припадає на типовий тристулковий клапан. Самим рідким видом є тристулковий клапан, у якому спостерігають 7 стулок, з яких 4 стулки є додатковими.

Макроскопічні дослідження стулок передсердно-шлуночкових клапанів виявляють, що поверхні стулок відрізняються, а саме в кожній стулці є передсердна поверхня, яка є рівною, та шлуночкова поверхня, яка відрізняється від попередньої своєю нерівністю, що виникає внаслідок кріплення до стулок сухожилкових струн [2, 25, 26, 28].

Дані гістологічних досліджень вказують на те, що стулки атріовентрикулярних клапанів вкриті ендотелієм та мають пошарову будову [3, 5, 23, 26]. В напрямку від передсердної до шлуночкової поверхні в них розрізняють наступні шари: 1 – спонгіозний (губчатий); 2 – фіброзний; 3 – шлуночковий. Основу стулки складає фіброзна пластинка, яка являє собою відгалуження від волокнистого кільця та утворена щільною оформленою волокнистою сполучною тканиною. Спонгіозний шар вузький та утворений пухкою волокнистою сполучною тканиною, де виявляють велику кількість еластичних волокон, які сконцентровані більше по вільному краю стулки. Порівняно більше еластичних волокон відзначається у стулках мітрального клапана, ніж у тристулковому. У шлуночковому шарі домінують колагенові волокна.

В роботах В. О. Козловської [11–13], яка вивчала будову і розвиток клапанів аорти та легеневого стовбура в онтогенезі, за допомогою гістологічних досліджень зрізів клапанів аорти та легеневого стовбура у людей зрілого віку встановлено, що до їх складу входить як щільна, так і пухка волокниста сполучна тканина, які пошарово розташовуються.

Martin Misfeld, Hans-Hinrich Sievers [26] при дослідженні півмісяцевих заслінок аорти виявили та описали наступні шари: 1 – шлуночкову пластинку (*lamina ventricularis*); 2 – радіальну пластинку (*lamina radialis*); 3 – спонгіозну пластинку (*lamina spongiosa*); 4 – фіброзну пластинку (*lamina fibrosa*); 5 – артеріальну пластинку (*lamina arterialis*). При описі цих шарів вони дотримувались номенклатури Gross & Kugel від 1931 року,

але звернули увагу на те, що наявність саме цих шарів у півмісяцевих заслінках клапанів є дискусійним і серед них найлегше розпізнаються: lamina radialis, lamina spongiosa, lamina fibrosa.

На підставі даних гістологічних досліджень В. В. Соколов і К. І. Кульчицький [14, 16] у людини виділяють два типи клапанів серця:

1 – клапани фіброзного типу, які в літературі описуються у новонароджених, дітей грудного віку, дітей віком від 1 року до 12 років та у людей зрілого віку (від 22 до 55/60 років);

2 – клапани фіброзно-еластичного типу, які описуються у підлітків (від 12 до 16 років) та юнацтва (від 17 до 21 року).

Достатньо дискусійним залишається питання щодо кровопостачання клапанів серця. Джерелом кровопостачання стулок клапанів є судини, які починаються від стінок серця, волокнистих кілець та розгалужуються в стулках передсердно-шлуночкових клапанів [4]. Фундаментальними дослідженнями з питання кровопостачання передсердно-шлуночкових клапанів, клапанів аорти та легеневого стовбура є дослідження В. В. Соколова [16]. На його думку, дискусія як в зарубіжній, так і у вітчизняній літературі щодо кровопостачання клапанів серця виникла у зв'язку з тим, що дослідження, які проводились, не були комплексними. Комплексні методи, що використовували при дослідженнях клапанів серця дають змогу стверджувати, що клапани серця містять серцеві поперечно-посмуговані м'язові волокна, кровоносні судини, а також пучки нервових волокон та вільні нервові закінчення. Поперечно-посмуговані серцеві м'язові волокна проникають у стулки клапанів на різну відстань залежно від вікової групи. У супроводі поперечно-посмугової м'язової тканини проникають у стулки і кровоносні судини. Так, у новонароджених кровоносні судини та поперечно-посмуговані серцеві м'язові волокна проникають на 1/2–1/3 їх довжини. У дітей грудного віку – до 1/3 їх довжини. У дітей від 1 року до 12 років поперечно-посмуговані м'язові волокна проникають на 1/4–1/5, а кровоносні судини на 1/3–1/4 їх довжини. У підлітків поперечно-посмугована м'язова тканина на 1/5–1/6, а кровоносні судини на 1/4–1/6 їх довжини. У юнаків – 1/6–1/8 та 1/5–1/8 відповідно. А у людей I періоду зрілого віку проникнення поперечно-посмугової м'язової тканини та кровоносних судин – на 1/7–1/8 їх довжини. I розташування як поперечно-посмугової м'язової тканини, так і кровоносних судин, відмічається в основі стулок у людей II періоду зрілого віку. Було встановлено, що краще кровопостачання мають стулки передсердно-шлуночкових клапанів, порівняно з заслінками клапанів аорти та легеневого стовбура, в яких кровоносні судини виявлені лише поблизу основи заслінки. Стулки мітрального клапана серця мають краще кровопостачання, їх кровоносні судини проникають у стулки на незначно більшу відстань їх довжини, ніж у тристулковому клапані. Такі дані дають можливість прийти до висновку, що з віком в нормі ступінь проникнення кровоносних судин у стулки передсердно-шлуночкових клапанів значно зменшується. Збільшення кількості кровоносних судин у стулках клапанів надає дослідникам стверджувати, що в нормі у стулках клапанів їх кількість є незначною.

Отримані дані про кровопостачання клапанів серця вказують на те, що присутні в них кровоносні судини не здатні забезпечити достатній рівень їх трофіки, тому не можна виключати і те, що їх живлення може відбуватися безпосередньо за рахунок крові, що потрапляє в камери серця через ендокард.

Отже, літературне дослідження свідчить про те, що вчені й надалі зацікавлені вивченням закономірностей розвитку та будови клапанів серця в пре- і постнатальному онтогенезі, що зумовлено високою частотою серцево-судинних захворювань, які можуть привести до швидкої інвалідазації та смерті людини. Проте наявні дані потребують доповнення та уточнення щодо кровопостачання клапанів серця, тому як саме це питання є одним із дискусійних. Не вистачає морфологічної характеристики кровоносних судин, що можуть бути наявними в клапанах серця у нормі та кількість яких збільшується при серцевій патології, що потребує подальшого макроскопічного та мікроскопічного дослідження.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Евтушенко А. В. Особенности микроциркуляторного русла венечных артерий в различных отделах сердца / А. В. Евтушенко // Матер. докл. VIII конгр. Международной ассоциации морфологов, г. Орел, 15 сент. 2006 г. // Морфология. – 2006. – Т. 129. – № 4. – С. 49.
2. Зозуля О. С. Особливості розвитку стулок передсердно-шлуночкових клапанів / О. С. Зозуля // Морфологія. – 2007. – Т. 1. – № 2. – С. 54–58.
3. Зозуля Е. С. Динамика морфометрических показателей передсердно-желудочковых клапанов на протяжении онтогенеза / Е. С. Зозуля, В. В. Кошарный // Вісник проблем біології і медицини. – 2006. – Вип. 4. – С. 63–66.
4. Зозуля О. С. Закономірності розвитку та будови передсердно-шлуночкових клапанів серця в пре- і постнатальному онтогенезі: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. мед. наук. – Дніпропетровськ, 2007. – 15 с.
5. Зозуля Е. С. Особенности строения передсердно-желудочковых клапанов сердца в онтогенезе человека / Е. С. Зозуля // Український морфологічний альманах. – 2006. – Т. 4. – С. 30–32.
6. Зозуля Е. С. Особенности строения передсердно-желудочковых клапанов у людей второго периода зрелого возраста / Е. С. Зозуля // Вісник проблем біології і медицини. – 2006. – Вип. 3. – С. 97–102.
7. Козлов В. О. Формування клапанного апарату серця в ембріогенезі / В. О. Козлов, В. Ф. Шаторна // Клінічна анатомія та оперативна хірургія. – 2004. – Т. 3, № 3. – С. 21–24.
8. Особенности строения клапанного аппарата сердца / В. А. Козлов, В. Ф. Шаторная, Е. С. Зозуля, А. А. Козловская // Вісник морфології. – 2003. – Т. 9, № 2. – С. 163–165.
9. Козлов В. О. Нормальный кардиогенез та вплив деяких тератогенних факторів на розвиток серця / В. О. Козлов, В. Ф. Шаторна, М. А. Машталір // Морфологія. – 2007. – Т. 1, № 1. – С. 7–15.
10. Клинико-морфологические параллели в развитии сердца в пренатальном онтогенезе / В. А. Козлов, В. Ф. Шаторная, Л. В. Абдул-Оглы, Е. А. Савенкова // Таврический медико-биологический вестник. – 2006. – Т. 9, № 3, Ч. III. – С. 7–15.
11. Козловська Г. О. Пренатальний розвиток клапанів аорти та легеневого стовбура / Г. О. Козловська // Морфологія. – 2007. – Т. 1, № 2. – С. 67–69.
12. Козловська Г. О. Морфофункціональні особливості будови та розвитку клапанів аорти та легеневого стовбура в онтогенезі: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. мед. наук. – Дніпропетровськ, 2007. – 17 с.

13. Козловская А. А. Морфометрические особенности строения клапанов аорты и легочного ствола у людей второго периода зрелого возраста / А. А. Козловская // *Вісник проблем біології і медицини*. – 2006. – Вип. 3. – С. 102–107.
14. Кульчицкий К. И. Клапаны сердца / К. И. Кульчицкий, В. В. Соколов, Н. Г. Марущенко. – К.: Здоровья, 1990. – 184 с.
15. Мутафьян О. А. Врожденные пороки сердца у детей / О. А. Мутафьян. – Санкт-Петербург, 2002. – 210 с.
16. Соколов В. В. Сравнительная морфология клапанов сердца / В. В. Соколов. – Ростов-на-Дону : Изд. Ростовского государственного медицинского университета, 2003. – 250 с.
17. Соколов В. В. Возрастные особенности кровоснабжения клапанов сердца / В. В. Соколов // *Акт. пит. вікової анат. та ембріотопіграфії : тези доп. Всеукраїнської наук. конф. // Клінічна анатомія та оперативна хірургія*. – 2006. – Т. 5, № 2. – С. 59–60.
18. Степанчук А. П. Морфологічні зміни клапанного апарату серця людини при набутих вадах / А. П. Степанчук // *Вісник морфології*. – 2008. – № 14 (1). – С. 247–248.
19. Хлопонин П. А. Процессы кардиомиогенеза в зародышевом периоде развития человека / П. А. Хлопонин, О. Ю. Платюченко // *Морфология*. – 2003. – Т. 123, № 1. – С. 50–54.
20. Шаторная В. Ф. Формирование эндокардиальных подушек сердца на этапах раннего эмбриогенеза птиц / В. Ф. Шаторная // *Буковинський медичний вісник*. – 2002. – Т. 6, № 2. – С. 132–134.
21. Шаторна В. Ф. Формування клапанного апарату серця в ембріогенезі: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. біол. наук / В. Ф. Шаторна. – Тернопіль, 2003. – 20 с.
22. Ehrin J. Armstrong. Heart valve development: endothelial cell signaling and differentiation / Ehrin J. Armstrong, Joyce Bischoff // *Circ. Rec.* – 2004. – Vol. 95. – P. 459–470.
23. Sex variation in occurrence of myocardium in human mitral valve cusps / P. Gatonga, P. O. Odula, H. Saidi, P. Mandela // *Int. J. Morphol.* – 2009. – Vol. 27 (4). – P. 1217–1222.
24. Ian S. Harris. Development of the endocardium / Ian S. Harris, Brian L. Black // *Pediatr. Cardiol.* – 2010. – Vol. 31. – P. 391–399.
25. Notes on the morphology of the tricuspid valve in the adult human heart / Magdalena Skwarek, Marek Grzybiak, Adam Kosinski, Jolanta Hreczecha // *Folia Morphol.* – 2004. – Vol. 63, № 3. – P. 319–324.
26. Martin Misfeld. Heart valve macro- and microstructure / Martin Misfeld, Hans-Hinrich Sievers // *Phil. Trans. R. Soc. B.* – 2007. – Vol. 362. – P. 1421–1436.
27. Development of the atrioventricular valves: clinicomorphological correlations / Mazyar Kanani, Antoon F. M. Moorman, Andrew C. Cook [et al.] // *Ann. Thorac. Surg.* – 2005. – Vol. 79. – P. 1797–1804.
28. The morphology of the right atrioventricular valve in the adult human heart / M. Skwarek, J. Hreczecha, M. Dudziak, M. Grzybiak // *Folia Morphol.* – 2006. – Vol. 65, № 3. – P. 200–208.

Отримано 16.04.12