УДК 616.12-07

ЕХОКАРДІОГРАФІЧНА ОЦІНКА ЛІВОГО ШЛУНОЧКА

О. С. Коржелецький, О. Р. Дацюк

Резюме. *У статті розглянуто технічні аспекти оцінки лівого шлуночка: кількісної оцінки порожнини, маси міокарда та функції, які є частиною кожного повноцінного ехокардіографічного дослідження.*

Ключові слова: *стандарти, виміри, об'єми, лінійні розміри, кількісна оцінка.*

Актуальність проблеми. Розміри, товщина стінок та об'єми лівого шлуночка (ЛШ) широко використовуються в клінічній практиці та наукових дослідженнях. Але при цьому розміри та функція ЛШ до цього часу часто оцінюються візуально. Втім якісна оцінка розмірів та функції ЛШ часто призводить до значної варіабельності результатів досліджень, виконаних різними операторами, а їх якість суттєво залежить від досвіду виконавця. Відповідно її потрібно регулярно порівнювати з кількісними вимірами, особливо коли різні доступи та зрізи якісно пропонують різні ступені дисфункції ЛШ. З іншого боку, важливо перевіряти кількісні результати візуальним якісним контролем для запобігання переоцінці результатів процес-залежних вимірів, які часом залежать від якості зображення та структур, що візуалізуються на статичній картинці. На сьогодні визнаною є оцінка розмірів, маси та функції ЛШ у 2-мірній (2D-, або В-режим) ЕхоКГ.

Є певні чіткі переваги та недоліки кожної з загальноприйнятих кількісних методик (табл. 1).

Таблиця 1

Розміри/ об'єми	Використання/переваги	Обмеження
Лінійні виміри		
М-режим	Відтворюваність Висока частота оновлення кадру Багато накопичених даних Найбільш репрезентативно при нормальній моделі ЛШ	Рідко вдається досягнути перпендикулярності променя до довгої осі шлуночка Одне вимірювання може бути нерепрезентативним при вираженій дилатації шлуночка
В-режим	Забезпечує орієнтацію виміру перпендикулярно до довгої осі шлуночка	Нижча частота оновлення кадру порівняно з М-режимом
Волюмомотричні методи		
Біплановий за Сімпсоном	Враховує локальні порушення контуру ендокарда Мінімізує вплив математичного припущення (формули)	Часто зрізується верхівка Випадіння ехо-сигналів ендокарда Виміри тільки з двох площин Мало даних, накопичених у здоровій популяції
Площа – довжина	Частково враховує локальні порушення контуру ендокарда	Базується на математичному припущенні (формулі) малонакопичених даних
Маса		
М- чи В-режим	Багато накопичених даних	Не є точним при порушеннях сегментарної скоротливості Неперпендикулярна орієнтація променя в М-режимі Маленька помилка виміру підноситься в куб (особливість формули) Переоцінка маси ЛШ
Площа – довжина	Враховує внесок папілярних м'язів	Нечутливий до порушень моделі ЛШ
Усічений еліпсоїд	Більш чутливий до порушень моделі ЛШ	Базується на ряді математичних припущень (формул) Мінімум накопичених даних у здоровій популяції

© О. С. Коржелецький, О. Р. Дацюк, 2015

Наприклад, лінійні виміри ЛШ, що широко визнані в лікуванні клапанних вад серця, можуть призводити до неправильної інтерпретації дилатації чи дисфункції ЛШ у пацієнтів із регіональними порушеннями скоротливості в результаті ішемічної хвороби серця (ІХС). Таким чином, ехокардіографісти повинні бути ознайомлені з усіма відомими методиками та вміти їх використовувати відповідно до конкретного клінічного випадку.

Загальні принципи лінійних та волюмометричних вимірювань ЛШ

Для отримання акуратного лінійного виміру товщини міжшлуночкової перегородки, товщини задньої стінки ЛШ (ЗСЛШ) та внутрішніх розмірів ЛШ запис зображення треба провести з парастернальної позиції по довгій осі ЛШ. Рекомендується, щоб внутрішні розміри ЛШ (кінцево-діастолічний (КДР) та кінцево-систолічний розмір (КСР) відповідно) та товщина стінок вимірювалися в поперечній осі ЛШ на рівні кінців стулок мітрального клапана. Ці лінійні виміри можуть проводитися безпосередньо в В-режимі або в М-режимі під В-режим контролем.

Завдяки високій частоті оновлення кадру запис у М-режимі має чудову часову роздільність та може дати додаткову до В-режиму інформацію щодо розрізнення структур, таких як трабекули, що контактують із задньою стінкою, несправжні хорди з лівої сторони МШП, апарат трикуспідального клапана чи модераторний пучок ПШ, що контактує з МШП з правого боку. Втім, треба пам'ятати, що навіть під контролем В-режиму в М-режимі може бути неможливо виставити напрям променя перпендикулярно довгій осі ЛШ, що є необхідним для отримання справжньої поперечної осі ЛШ, у якій проводяться виміри. У такому випадку альтернативою може бути виведення та вимірювання розмірів камери ЛШ та товщини його стінок в парастернальній позиції по короткій осі ЛШ безпосередньо в В-режимі чи в М-режимі під В-режим контролем, коли курсор може бути напевно позиціонованим перпендикулярно МШП та ЗСЛШ.

Запропонований метод у В-режимі особливо корисний при дослідженні хворих з ІХС. При використанні цього методу рекомендується, щоб внутрішні розміри ЛШ (КДР та КСР відповідно) та товщина стінок вимірювалися на рівні поперечника ЛШ, на рівні хорд мітрального клапана. Ці лінійні виміри також можуть бути виконані безпосередньо в В-режимі чи під його контролем у М-режимі. Пряме вимірювання в В-режимі на рівні хорд пересікає МШП нижче виносного тракту ЛШ (ВТЛШ) і, таким чином, забезпечує загальну оцінку ЛШ, що скорочується симетрично, та дозволяє оцінити регіональну функцію базального відділу ЛШ за наявності порушень регіональної скоротливості.

Прямі поперечні розміри в В-режимі менші за такі в М-режимі з верхніми межами КДР ЛШ 5,2 та 5,5 см відповідно та нижніми межами фракційного скорочення (ФС) ЛШ 0,18 та 0,25 відповідно. Нормальні діастолічні виміри для КДР та КСР ЛШ становлять відповідно 4,7 ± 0,4 см та 3,3 ± 0,5 см.

Поперечні розміри ЛШ, товщина МШП та ЗСЛЖ вимірюються в кінці діастоли та систоли в В- чи М-режимі, бажано в декількох кардіальних циклах (рис. 1).

Технічні вдосконалення в обробці зображення дозволили поліпшити роздільність кардіальних структур. Тому сьогодні можливо вимірювати безпосередню товщину міжшлу-

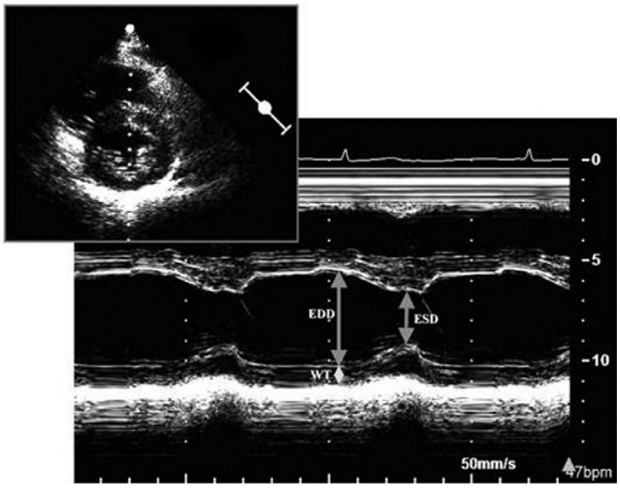

Рис 1. **Вимірювання кінцево-діастолічного (КДР – EDD) і кінцево-систолічного (КСР – ESD) розмірів лівого шлуночка в М-режимі під контролем зображення в В-режимі в парастернальній позиції по короткій осі (зверху зліва) для оптимізації медіально-латерального позиціонування ультразвукового променя. WT – товщина задньої стінки**

ночкової перегородки та інші виміри камер та структур, що визначаються як справжня межа між тканиною та кров'ю, а не відстань між крайовими ехо-сигналами, як рекомендувалося раніше. Використання лінійних вимірів у В-режимі дозволяє подолати звичайну проблему неперпендикулярних косих вимірів поперечних розмірів структур та камер в М-режимі, що призводять до переоцінки величин розмірів порожнин та товщини стінок.

Для отримання волюмометричних вимірів до найбільш важливих доступів при кількісних вимірах у В-режимі належать парастернальний доступ по короткій осі ЛШ на рівні папілярних м'язів та апікальні 4- і 2-камерні доступи. Волюмометричні виміри потребують ручного окреслення ендокардіальних меж. При цьому при розрахунку маси міокарда ЛШ папілярні м'язи слід виключати. Точні виміри потребують оптимальної візуалізації межі ендокарда для мінімізації потреби в екстраполяції. Рекомендується, щоб базальна межа площини порожнини ЛШ проводилася прямою лінією, що поєднує латеральну та септальну межі мітрального кільця в апікальній 4-камерній і передню та нижню межі мітрального кільця в апікальній 2-камерній позиціях.

Кінець діастоли може бути визначений як початок комплексу QRS, але краще його визначати як проміжок часу безпосередньо після закриття мітрального клапана або проміжок кардіального циклу, коли розмір порожнини ЛШ є найбільшим. При синусовому ритмі це відповідає моменту безпосередньо після систоли передсердь. Кінець систоли краще визначити як проміжок кардіального циклу перед розкриттям мітрального клапана або коли розмір ЛШ є найменшим. В апікальній 2-камерній позиції рух мітрального клапана не завжди чітко візуалізується, тому кінцево-діастолічний (КДО) та кінцево-систолічний (КСО) об'єми, відповідно, визначаються як найбільший та найменший.

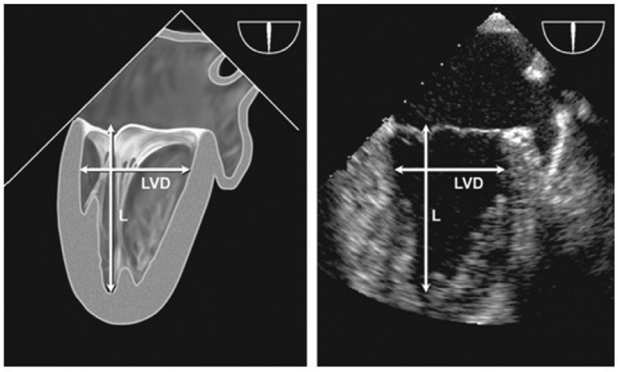

Рис. 2. **Черезстравохідні виміри довжини (L) та поперечного діаметра (LVD) ЛШ із середньостравохідної 2-камерної позиції, що звичайно найкраще візуалізується під кутами від 60 до 90°**

При виконанні ЧСЕхоКГ рекомендованими для вимірів порожнини ЛШ є середньостравохідний (рис. 2) та трансгастральний (рис. 3) 2-камерні зрізи.

Діаметри ЛШ вимірюються від краю ендокарда передньої стінки до краю ендокарда нижньої стінки перпендикулярно довгій осі шлуночка на межі базальної та середньої третини ЛШ. Рекомендованим доступом для вимірювання товщини стінок ЛШ при ЧСЕхоКГ

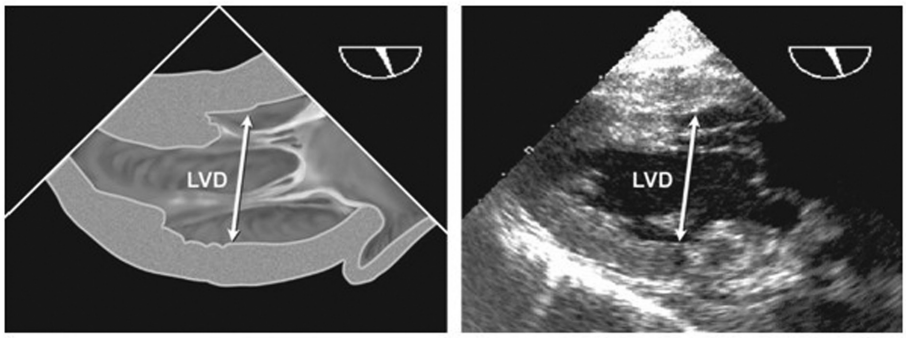

Рис. 3. **Черезстравохідні виміри поперечного діаметра (LVD) ЛШ з трансгастральної 2-камерної позиції ЛШ, що найкраще візуалізується під кутом приблизно 90–110° після оптимізації максимального розміру ЛШ, що візуалізується шляхом медіально-латеральної ротації**

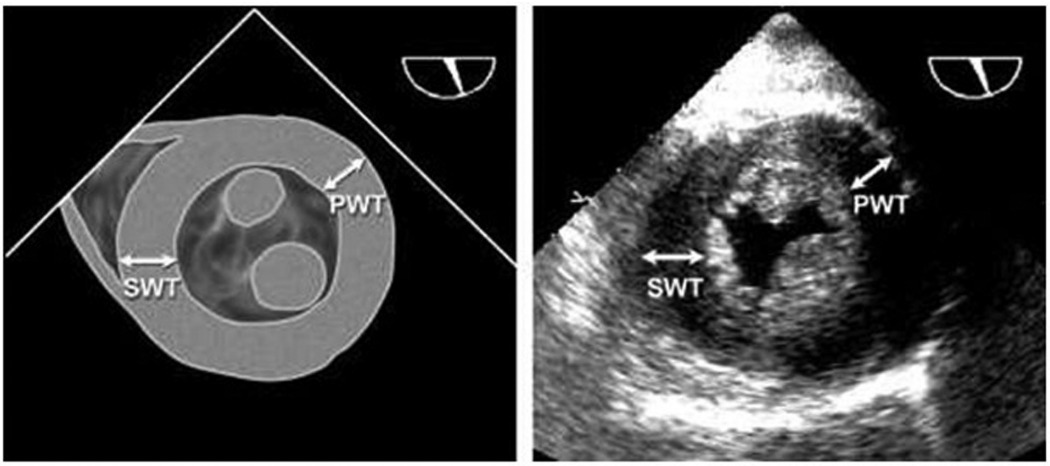

Рис. 4. **Черезстравохідні виміри товщини стінок ЛШ – МШП та ЗС із трансгастрального доступу по короткій осі ЛШ на рівні папілярних м'язів, що звичайно найкраще візуалізується під кутом від 0 до 30°**

є трансгастральна позиція по короткій осі ЛШ (рис. 4).

При ЧСЕхКГ величина довгої осі в середньостравохідній 4-камерній позиції та позиції по довгій осі часто занижується, тому для вимірів рекомендовано використовувати 2-камерну позицію. Треба намагатися запобігати вкороченню довгої осі ЛШ у черезстравохідних позиціях, записуючи зрізи, що показують найбільший розмір камери, знаходячи кут для виміру діаметрів камери, перпендикулярний довгій осі камери, а не вимірювати максимальний діаметр по короткій осі.

Розрахунок маси міокарда ЛШ

У клінічній практиці розміри камери ЛШ часто використовуються для розрахунку показників систолічної функції ЛШ, у той час як в епідеміологічних дослідженнях та клінічних випробуваннях єдиним великим застосуванням ЕхоКГ був розрахунок маси міокарда ЛШ та її зміни під час антигіпертензивної терапії. Всі алгоритми розрахунку маси ЛШ з використанням М- чи В-режиму або тривимірної ЕхоКГ базуються на вирахуванні об'єму порожнини ЛЖ з об'єму, що обмежує епікард, для визначення об'єму міокарда ЛШ. Даний об'єм після цього конвертується в масу шляхом множення на щільність міокарда. Таким чином, кількісний розрахунок маси ЛШ потребує акуратної ідентифікації поверхні між порожниною та ендокардом, а також між епікардом та перикардом.

Сьогодні більшість розрахунків маси ЛШ виконується із застосуванням лінійних вимірів у М-режимі під В-режим контролем чи більш часто останнім часом – у В-режимі. Формула для розрахунку маси ЛШ за допомогою лінійних розмірів, що рекомендована Американським товариством з ехокардіографії (ASE) (кореляція з даними автопсії $r = 0{,}90$, $p < 0{,}001$), базується на моделі ЛШ як витягнутого еліпса:

$$\text{ММ ЛШ} = 0{,}8 \times \{1{,}04[(\text{КДР} + \text{ЗСд} + \text{МШПд})^3 - \text{КДР}^3]\} + 0{,}6 \text{ г},$$

де ЗСд та МШПд – кінцево-систолічна товщина задньої стінки ЛШ та міжшлуночкової перегородки відповідно, КДР – кінцево-діастолічний розмір ЛШ.

Ця формула є адекватною для застосування у пацієнтів без значних порушень геометрії ЛШ (наприклад, у хворих із гіпертензією). Оскільки формула потребує піднесення первинних вимірів у куб, навіть найменша помилка вимірів також підноситься в куб. Підрахунок відносної товщини стінок (ВТС) ЛШ за формулою (2 × ЗСд)/КДР дозволяє розрізняти збільшення маси ЛШ на концентричну (ВТС ЛШ ≥ 0,42) та ексцентричну (ВТС ЛШ ≤ 0,42) гіпертрофію, а також дозволяє виділити концентричне ремоделювання ЛШ (нормальна ММ ЛШ при збільшенні ВТС ЛШ ≥ 0,42) (рис. 5).

Найбільш часто використовувані методи визначення маси міокарда ЛШ у В-режимі базуються на формулі «площа – довжина» та моделі зрізаного еліпса, як детально описано

Рис. 5. **Порівняння відносної товщини стінок ЛШ (ВТС ЛШ). Пацієнти з нормальною ММ ЛШ можуть мати концентричне ремоделювання (нормальна ММ ЛШ при збільшенні ВТС ЛШ ≥ 0,42) чи нормальну геометрію (ВТС ЛШ ≤ 0,42) при нормальній ММ ЛШ. Пацієнти зі збільшеною ММ ЛШ можуть мати концентричну (ВТС ЛШ ≥ 0,42) чи ексцентричну (ВТС ЛШ ≤ 0,42) гіпертрофію. Ці визначення ММ ЛШ базуються на лінійних вимірах**

в рекомендаціях ASE з кількісної оцінки ЛШ 1989 р. Обидва методи були доведені на початку 1980-х рр. на тваринних моделях та при порівнянні результатів преморбідних ехограм із визначенням маси ЛШ при автопсії. Обидва методи засновані на визначенні міокардіальної площі на рівні середини папілярних м'язів у позиції по короткій осі. Епікард окреслюється для отримання загальної площі (A1), а ендокард – для визначення площі порожнини (A2). Площа міокарда (Am) розраховується як їх різниця: Am = A1 – A2. Після цього розраховуються радіус b = √A2/p та середня товщина стінок ЛШ (рис. 6). Маса міокарда ЛШ може бути розрахована за однією з формул, наведених на рис. 6.

За наявності значних порушень регіональної скоротливості (наприклад, ІМ) може використовуватися біплановий метод Сімпсона,

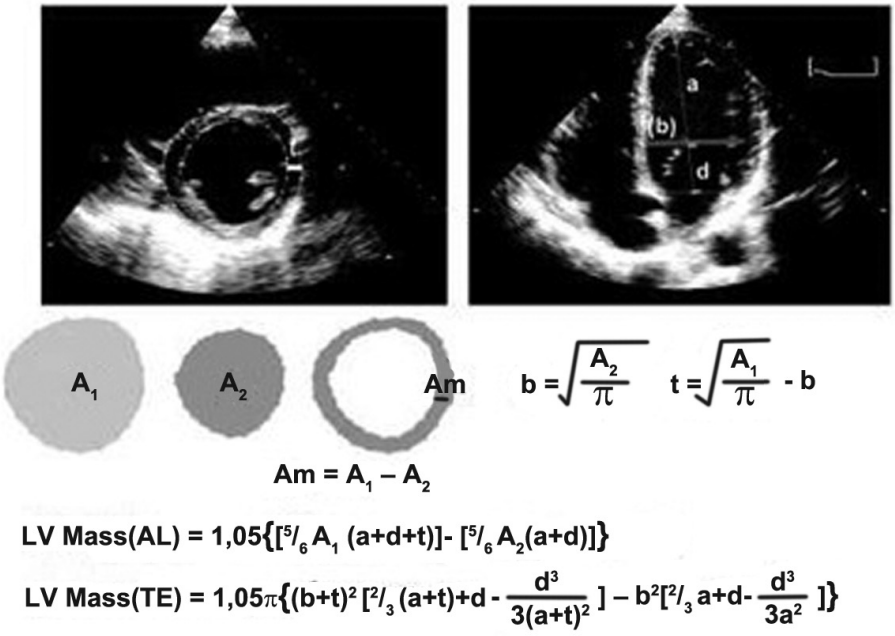

Рис. 6. **Два методи для визначення маси ЛШ за формулами «площа – довжина» (AL) та зрізаного еліпсоїда (TE) з парастернального доступу по короткій осі ЛШ та апікальної 4-камерної позиції в В-режимі. A_1 = загальна площа ЛШ; A_2 = площа порожнини ЛШ; Am = площа міокарда; a – відрізок довгої осі від найбільшого поперечного розміру ЛШ до верхівки; b – радіус короткої осі; d – відрізок довгої осі від найбільшого поперечного розміру ЛШ до площини мітрального кільця. Радіус (b) та середня товщина стінок (t) розраховуються згідно з епікардіальною площею порожнини ЛШ у парастернальній позиції по короткій осі ЛШ (LV Mass = маса міокарда ЛШ)**

хоча цей метод залежить від адекватного визначення меж ендокарда та епікарда ЛШ, що часто є досить складним у цій позиції. Більшість лабораторій отримують ці виміри наприкінці діастоли, виключаючи папілярні м'язи при окресленні міокардіальної площі.

Черезстравохідна оцінка маси ЛШ також є дуже точною, але з невеликими систематич-

ними розбіжностями при визначенні товщини ЗСЛШ. Зокрема, маса міокарда, визначена за товщиною стінок ЛШ під час ЧСЕхоКГ, у середньому буває вища на 6 г/м^2.

Систолічна функція ЛШ: лінійні та волюмометричні виміри

Багато ехокардіографічних лабораторій покладаються на виміри в М- чи В-режимі для визначення кількісних параметрів. Лінійні виміри в М- чи В-режимі довели свою відтворюваність із доволі низькою варіабельністю при вимірах одним чи декількома дослідниками. Хоча лінійні виміри функції ЛШ не є вірогідними за наявності виражених регіональних порушень сегментарної скоротливості, у пацієнтів із неускладненою гіпертензією, ожирінням чи клапанною патологією такі порушення регіональної скоротливості є рідкими за умов відсутності клінічно визнаного ІМ. Таким чином, ФС та його взаємозв'язок із кінцево-систолічним напруженням часто дає корисну інформацію в клінічних дослідженнях. Методи Тейхольца чи Квінонса, що використовувалися раніше для розрахунку ФВ ЛШ з лінійних розмірів ЛШ, можуть призводити до неточних вимірювань у результаті наявних порушень геометрії ЛШ, тому що ФВ ЛШ, отримана з лінійних розмірів, є проекцією лінійних розмірів на тривимірну структуру. Відповідно, використання лінійних вимірів для розрахунку ФВ ЛШ не рекомендоване у клінічній практиці.

Скорочення м'язових волокон у середньому шарі стінки ЛШ може краще відображати внутрішню скоротливість, ніж скорочення субендокардіального шару міокарда. Розрахунок ФС саме середнього, а не субендокардіального шару міокарда є особливо корисним у виявленні систолічної дисфункції в умовах концентричної гіпертрофії. ФС середнього шару (ФССШ) може бути розрахована з лінійних вимірів діастолічного та систолічного розміру порожнини ЛШ та товщини стінок ЛШ на основі математичних моделей за такими формулами:

$$\text{Внутрішня оболонка} = [(\text{КДР} + \text{МШПд}/2 + \text{ЗСЛШд}/2)^3 - \text{КДР}^3 + \text{КСР}^3]^{1,3} - \text{КДР},$$

$$\text{ФССШ} = ([\text{КДР} - \text{МШПд}/2 + \text{ЗСЛШд}/2] - [\text{КСР} + \text{внутрішня оболонка}])/(\text{КДР} - \text{МШПд}/2 + \text{ЗСЛШд}/2) \times 100\ \%.$$

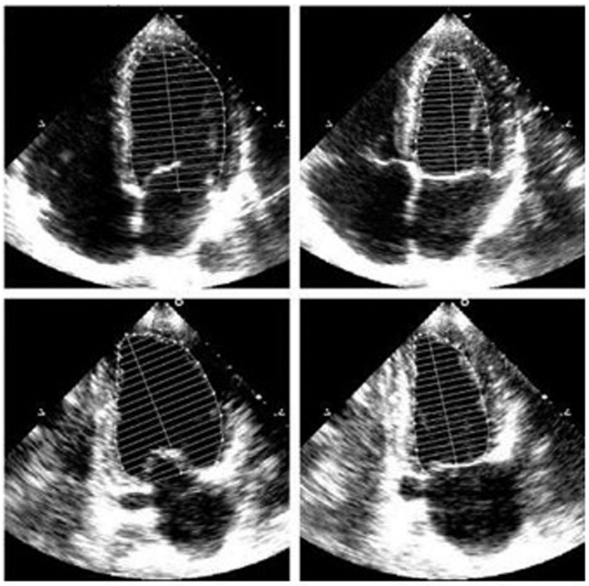

Рис. 7. **Двомірні виміри для розрахунку об'ємів за біплановим методом дисків (модифікована формула Сіпсона) в апікальній 4-камерній (зверху) та апікальній 2-камерній (знизу) позиціях наприкінці діастоли (КДР ЛШ) та систоли (КСР ЛШ). Під час окреслення меж ендокарда папілярні м'язи включаються в контур порожнини**

Найбільш часто використовуваним методом вимірів об'ємів ЛШ у В-режимі є біплановий метод дисків (модифікована формула Сімпсона). Сьогодні цей метод є рекомендованим методом вибору при визначенні об'ємів ЛШ згідно з консенсусом комітету експертів (рис. 7).

Принцип, що лежить в основі цього методу, полягає в тому, що загальний об'єм ЛШ розраховується з сумації об'ємів еліптоїдних дисків. Висота кожного диска розраховується як фракція (звичайно 1/20) довгої осі ЛШ у 2- та 4-камерних апікальних позиціях. Поперечна площа диска базується на двох діаметрах, розрахованих у 2- та 4-камерних взаємно перпендикулярних позиціях. Коли не можна вивести адекватно дві ортогональні позиції, можливе використання однієї позиції, і тоді диск вважається правильно круглим, а його площина розраховується за одним діаметром. Але наявність порушень регіональної скоротливості є великим обмеженням при використанні однієї площини замість двох ортогональних.

Альтернативним методом розрахунку об'ємів ЛШ, коли неможливо чітко визначити межі апікального ендокарда, є метод, який базується на припущенні, що ЛШ має форму кулі, – метод

«площа – довжина». Методом планіметрії розраховується площа порожнини ЛШ у мезовентрикулярному відділі в парастернальній позиції по короткій осі ЛШ на рівні папілярних м'язів, після чого вимірюється довжина ЛШ від середньої точки мітрального кільця до верхівки ЛШ в апікальній 4-камерній позиції. Ці виміри проводяться наприкінці діастоли та систоли, а об'єми розраховуються за формулою: об'єм = [5 × площа × довжина]/6. Для індексації об'ємів найчастіше використовують площу поверхні тіла (ППТ), що вимірюється у метрах квадратних.

ФВ розраховується за допомогою розрахованих вищеописаними методами кінцево-діастолічного та кінцево-систолічного об'ємів за формулою:

Фракція викиду = (КДО – КСО)/КДО.

Значення для градації зниженої систолічної функції ЛШ (табл. 4) становлять конвенційну практику використання тих самих граничних значень для жінок та чоловіків. Втім накопичені дані ЕхоКГ та магнітного резонансу (МРТ) свідчать, що ФВЛШ та інші показники у здорових жінок є дещо вищими, ніж у чоловіків. Кількісна оцінка об'ємів ЛШ із використанням ЧСЕхоКГ ускладнена тяжкістю виведення нескорочених зрізів порожнини ЛШ зі стравохідних доступів. Втім при ретельному виконанні дані прямого порівняння об'ємів та ФВЛШ за ЧСЕхоКГ та ТТЕхоКГ не демонструють вірогідних відмінностей або ці відмінності мінімальні.

Реферативні значення для вимірів ЛШ

У табл. 2–4 показано реферативні значення для лінійних вимірів ЛШ, що були отримані від етнічно гетерогенної популяції з 510 дорослих нормотензивних індивідів без зайвої ваги та без цукрового діабету білої, негроїдної та монголоїдної (американські індіанці) рас без доведеної серцево-судинної патології. Раніше були наведені детальні описи використаної популяції. Реферативні дані волюмометричних вимірів також були отримані в осіб дорослої здорової популяції.

Нормальні значення для ММ ЛШ є різними для чоловіків та жінок при їх індексації до ППТ (табл. 2).

Який метод для нормалізації вимірів ММ ЛШ у дорослих є найкращим – досі предмет дискусії. Хоча ППТ найчастіше використовується у клінічних дослідженнях, цей метод все ж таки недооцінює поширеність гіпертрофії ЛШ у пацієнтів із надмірною масою тіла та ожирінням. Здатність виявляти гіпертрофію ЛШ, пов'язану з ожирінням та серцево-судинними захворюваннями, підвищується індексацією ММ ЛШ за рахунок її взаємозв'язку з ростом людини. На сьогодні наявні дані не дають відповіді, чи може така індексація ММ ЛШ покращити чи погіршити предиктивні дані щодо серцево-судинних подій. Слід відзначити, що реферативні межі для маси ЛШ в табл. 2 є нижчими, ніж ті, що були раніше опубліковані в деяких попередніх ехокардіографічних дослідженнях, але є майже ідентичними до тих даних, що були отримані під час автопсій, а також до реферативних значень, що використовувались у клінічних дослідженнях. Хоча в деяких попередніх дослідженнях були отримані дані щодо певних расових розбіжностей у вимірах ММ ЛШ, консенсусна доступна література вказує, що між клінічно здоровими суб'єктами білої та негроїдної рас немає вірогідної різниці. Але дані недавніх досліджень показали наявність расозалежної різниці в ремоделюванні ЛШ у дорослих хворих із гіпертензією. Хоча чутливість, специфічність та предикативна цінність вимірів товщини стінок ЛШ для виявлення гіпертрофії ЛШ є нижчою порівняно з розрахунком ММ ЛШ, часто це найлегший спосіб у клінічній практиці ідентифікувати гіпертрофію ЛШ за допомогою реєстрації потовщення МШП та ЗСЛШ.

Використання розрахунків маси ЛШ у дітей ускладнене необхідністю індексації вимірів до розмірів тіла пацієнта. Метою індексації є врахування нормального росту м'язової маси тіла дитини без зневажання патологічних ефектів у пацієнтів із надмірною масою тіла чи ожирінням. Таким чином, індексована ММ ЛШ у ранньому дитинстві може бути порівнянною з послідовними вимірами в підлітковому та дорослому віці. Найбільш широко у підлітків та дітей старшого віку використовують розподіл ММ ЛШ на зріст у метрах із піднесенням у ступінь 2,5 чи 3,0, тому що цей метод найкра-

Референтні значення та градація порушень ММ ЛШ і геометрії ЛШ

Таблиця 2

	Жінки				Чоловіки			
	межі норми	легке підвищення	помірне підвищення	тяжке підвищення	межі норми	легке підвищення	помірне підвищення	тяжке підвищення
Лінійний метод								
ММ ЛШ, г	67–162	163–186	187–210	≥211	88–224	225–258	259–292	≥293
Індекс ММ ЛШ/ППТ, г/м^2	43–95	96–108	109–121	≥122	49–115	116–131	132–148	≥149
ММ ЛШ/зріст, г/м	41–99	100–115	116–128	≥129	52–126	127–144	145–162	≥163
ММ ЛШ/зріст, г/м	18–44	45–51	52–58	≥59	20–48	49–55	56–63	≥64
ВТС ЛШ, см	0,22–0,42	0,43–0,47	0,48–0,52	≥0,53	0,24–0,42	0,43–0,46	0,47–0,51	≥0,52
Товщина МШП, см	0,6–0,9	1,0–1,2	1,3–1,5	≥1,6	0,6–1,0	1,1–1,3	1,4–1,6	≥1,7
Товщина ЗСЛШ, см	0,6–0,9	1,0–1,2	1,3–1,5	≥1,6	0,6–1,0	1,1–1,3	1,4–1,6	≥1,7
В-режим								
ММ ЛШ, г	66–150	151–171	172–182	>193	96–200	201–227	228–254	≥255
ММ ЛШ/ППТ, г/м^2	44–88	89–100	101–112	≥113	50–102	103–116	117–130	≥130

П р и м і т к а : виділено найбільш доведені та рекомендовані виміри.

Таблиця 3

	Жінки				Чоловіки			
	межі норми	легке підвищення	помірне підвищення	тяжке підвищення	межі норми	легке підвищення	помірне підвищення	тяжке підвищення
Розміри ЛШ								
КДРЛШ	3,9–5,3	5,4–5,7	5,8–6,1	>6,2	4,2–5,9	6,0–6,3	6,4–6,8	>6,9
Індекс КДР/ППТ, см/мг	2,4–3,2	3,3–3,4	3,5–3,7	>3,8	2,2–3,1	3,2–3,4	3,5–3,6	>3,7
Індекс КДР/зріст, см/м	2,5–3,2	3,3–3,4	3,5–3,6	>3,7	2,4–3,3	3,4–3,5	3,6–3,7	>3,8
Об’єм ЛШ								
КДОЛШ, мл	56–104	105–117	118–130	>131	67–155	156–178	179–201	>201
Індекс КДО/ППТ, мл/м^2	35–75	76–86	87–96	>97	35–75	76–86	87–96	>97
КСО, мл	19–49	50–59	60–69	>70	22–58	59–70	71–82	>83
Індекс КСО/ППТ, мл/м^2	12–30	31–36	37–42	>43	12–30	31–36	37–42	>43

П р и м і т к а : виділено найбільш доведені та рекомендовані виміри.

Таблиця 4

	Жінки				Чоловіки			
	межі норми	легке зниження	помірне зниження	тяжке зниження	межі норми	легке зниження	помірне зниження	тяжке зниження
Лінійний метод								
Фракційне скорочення ендокарда, %	27–45	22–26	17–21	<16	25–43	20–24	15–19	<14
Фракційне скорочення середнього шару міокарда, %	15–23	13–14	11–12	<10	14–22	12–13	10–11	<10
В-режим								
Фракція викиду, %	>55	45–54	30–44	<30	>55	45–54	30–44	<30

П р и м і т к а : виділено найбільш доведені та рекомендовані виміри.

ще корелює з індексацією ММ ЛШ до м'язової маси тіла. Сьогодні загальновикористовуваним є проміжне значення 2,7. У дітей молодшого віку (до 8 років) найбільш ідеальний метод індексації ще досі є предметом дослідження, хоча найбільш прийнятним сьогодні є зріст у другому ступені.

Тривимірна оцінка об'ємів та маси

Тривимірний об'єм камери та маса тривимірної структури неповно характеризуються одновимірним або двовимірним підходами, адже базуються на геометричних припущеннях. Хоча в минулому ці неточності вважалися неподоланними та такими, що мають мінімальне клінічне значення, у більшості ситуацій потрібні якомога точні виміри, особливо коли має місце оцінка перебігу захворювання в динаміці під час серій дослідження. Протягом останніх п'ятнадцяти років стали доступними декілька тривимірних ехокардіографічних технік, що дозволяють вимірювати об'єми порожнини та ММ ЛШ. Їх концептуально можна поділити на техніки, що базуються на реконструкції отриманих під час дослідження двомірних зображень, та техніки отримання даних у режимі реального часу матричним датчиком, що також відомі як тривимірні ЕхоКГ у режимі реального часу. Після отримання «сирих» даних розрахунки об'ємів ЛШ та ММ ЛШ потребують визначення меж ендокардіальних поверхонь (а також епікардіальних меж для розрахунку маси) з використанням ручних та напівавтоматичних алгоритмів. Ці визначені межі потім обробляються для розрахунку об'єму порожнини чи міокарда методом сумації дисків чи іншими методами.

Незалежно від методів отримання зображень чи аналізу тривимірна ЕхоКГ не базується на геометричних припущеннях для розрахунку об'ємів/маси та не має недоліків у вигляді помилок у позиціонуванні площини сканування, що може призвести до штучного укорочення камери ЛШ. Дослідження, що порівнювали результати розрахунків об'ємів та маси ЛШ порівняно з іншими золотими стандартами (наприклад, МРТ), підтвердили точність тривимірної ЕхоКГ. Порівняно з МРТ об'єми ЛШ та ПШ, розраховані за допомогою тривимірної ЕхоКГ, були вірогідно точнішими з меншими розбіжностями та варіабельністю результатів залежно від виконавців дослідження, ніж двовимірна ЕхоКГ. Також була продемонстрована перевага тривимірної ЕхоКГ у розрахунку ММ ЛШ порівняно з М- та В-режимами. Об'єм та маса ПШ, розраховані за допомогою тривимірної ЕхоКГ, також достовірно корелювали з даними, отриманими за допомогою МРТ. Сучасні обмеження при проведенні тривимірної кількісної оцінки включають необхідність синусового ритму, гіршу візуалізацію порівняно з В-режимом та час, необхідний для обробки й аналізу даних. Утім вірогідно, що у майбутньому ці обмеження будуть усунені.

Регіональна функція ЛШ

У 1989 р. ASE рекомендувало 16-сегментарну модель для оцінки сегментарної скоротливості ЛШ. Ця модель включає по 6 сегментів базального та мезовентрикулярного (серединного) відділів ЛШ та 4 сегменти на рівні верхівки (рис. 8).

Точки прикріплення стінок ПШ до ЛШ визначають межі МШП, що на базальному та мезовентрикулярному рівнях поділяється на передню та нижню (нижньоперегородкова) частини. Далі проти годинникової стрілки інші сегменти базального та серединного відділів визначаються як нижній, нижньолатеральний (задній), передньолатеральний (боковий) та передній. Верхівковий відділ включає септальний, нижній, латеральний (боковий) та передній сегменти. Ця модель сьогодні широко використовується в ЕхоКГ. Навпаки, при методах візуалізації з перфузією радіоактивними агентами, магнітно-резонансному скануванні та комп'ютерній томографії серця частіше використовують більшу кількість сегментів.

У 2002 р. робоча група Американської асоціації серця з сегментарної оцінки функції міокарда при різних методах візуалізації серця в рамках спроби встановити стандарти сегментарного розподілу ЛШ для всіх засобів візуалізації запропонувала 17-сегментарну модель (рис. 8). Ця модель відрізняється від попередньої 16-сегментарної переважно тільки дода-

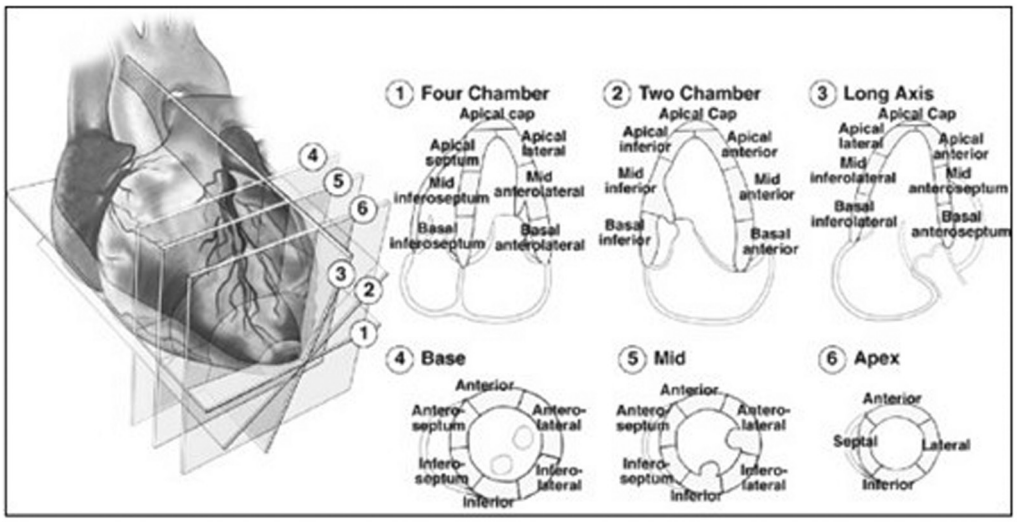

Рис 8. **Сегментарний аналіз стінок ЛШ базується на схематичних зображеннях парастернальних та апікальних доступів по короткому та довгому зрізах на трьох різних рівнях (базальному, серединному та апікальному). Апікальні сегменти звичайно візуалізуються з апікальних 4-, 2- та 3-камерних позицій. Власне верхівка може бути оцінена тільки під час дослідження з використанням контрасту. 16-сегментарна модель може використовуватися без урахування оцінки власне верхівки, як описано в рекомендаціях ASE 1989 р. 17-сегментарна модель, що включає власне верхівку (ковпачок), була запропонована Робочою групою Американської асоціації серця з сегментарної оцінки функції міокарда при різних методах візуалізації серця**

ванням 17-го сегмента – власне верхівки (ковпачок верхівки). Ковпачок верхівки – це сегмент безпосередньо під закінченням порожнини ЛШ. Вважається, що сучасні засоби поліпшення ЕхоКГ зображення, включаючи «гармоніку» та контрастування, у майбутньому дозволять поліпшити візуалізацію власне апікального сегмента під час ЕхоКГ. Обидві моделі є досить практичними для клінічного використання, при цьому достатньо детальними для напівкількісного аналізу. 17-сегментарна модель повинна використовуватися під час досліджень із перфузією міокарда та при будь-яких спробах порівняння різних методик візуалізації. 16-сегментарна модель теж є абсолютно придатною для визначення порушень регіональної скоротливості, оскільки ковпачок верхівки (17-й сегмент) є нерухомим.

Маса та розмір міокарда, що оцінювалися під час автопсії, стали основою для визначення відділів та сегментів. При розподілі ЛШ на базальний, мезовентрикулярний (серединний), що обмежений довжиною папілярних м’язів, та апікальний відділи (третини) було визначено, що у дорослих на базальний відділ припадає 43 %, на серединний – 36 % та на апікальний відділ – 21 % маси міокарда. 16-сегментарна модель наближається до цього співвідношення, створюючи такий розподіл маси міокарда: 37 % – для базальної та серединної третин та 25 % – для апікального відділу. 17-сегментарна модель створює такий розподіл: 35,3; 35,3 та 29,4 % – для базального, серединного та апікального відділів (включаючи власне апікальний сегмент) відповідно.

Існує індивідуальна варіабельність кровопостачання сегментів міокарда ЛШ з точки зору басейнів коронарних артерій. Втім сегменти звичайно відповідають басейнам 3-х головних коронарних артерій, розподіл кровопостачання якими при ТТЕхоКГ показаний на рис. 9.

З 1970-х років ЕхоКГ використовується для оцінки регіональної скоротливості стінок ЛШ при інфаркті та ішемії. Визнано, що регіональне кровопостачання та регіональна систолічна функція ЛШ є взаємопов’язаними, у тому числі в сенсі залежності типу порушення скоротливості від ступеня порушення коронарного кровотоку. Хоча регіональні порушення скоротливості у стані спокою можуть не реєструватися

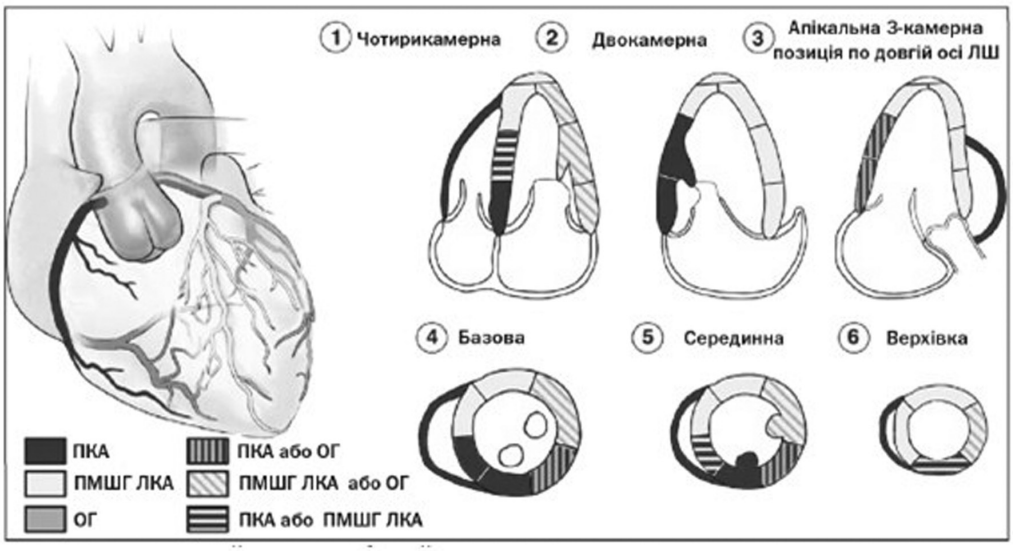

Рис 9. **Типовий розподіл басейнів правої коронарної артерії (ПКА), передньої міжшлуночкової гілки (ПМШГ) лівої коронарної артерії (ЛКА) та огинаючої гілки (ОГ) ЛКА. Поширення басейнів коронарних артерій може варіювати в різних пацієнтів (деякі сегменти мають варіабельне коронарне кровопостачання з різних артерій)**

до перекриття просвіту артерії вище за 85 %, при навантаженні навіть коронарний стеноз до 50 % звуження просвіту артерії може призводити до регіональної міокардіальної дисфункції. Визнано, що ЕхоКГ може переоцінювати кількість ішемізованого або інфарктного міокарда, оскільки суміжні неішемізовані сегменти можуть бути залучені в зону порушення регіональної скоротливості за рахунок підтягування, зсуву регіонального навантаження чи оглушення міокарда. Таким чином, слід брати до уваги характер потовщення та руху стінки. Крім того, слід пам'ятати, що порушення регіональної скоротливості можуть виникати також за відсутності атеросклеротичного ураження коронарних артерій (наприклад, дисинхронія при блокаді лівої ніжки пучка Гіса).

Рекомендовано, щоб кожний сегмент аналізувався окремо, а напівкількісний підрахунок проводився на основі їх рухів та систолічного потовщення. В ідеалі функція кожного сегмента має бути верифікована з різних множинних доступів. Кількісні еквіваленти функції сегмента такі: нормо- чи гіперкінез = 1 бал; гіпокінез = 2 бали; акінез (відсутнє потовщення) = 3 бали; дискінез (парадоксальний рух у систолу) = 4 бали та аневризма (діастолічна деформація) = 5 балів. Індекс локальної скоротливості розраховується з суми балів усіх сегментів, що вдалося візуалізувати, поділеної на кількість візуалізованих сегментів.

Оцінка ремоделювання ЛШ та використання ЕхоКГ у клінічних дослідженнях

Ремоделювання ЛШ описує процес, при якому серце змінює свої розміри, геометрію та функцію протягом часу. Кількісна оцінка під час ТТЕхоКГ у В-режимі дозволяє характеризувати ремоделювання ЛШ, що відбувається як у здорових індивідів, так і при різних серцевих захворюваннях. Ремоделювання ЛШ може бути фізіологічним, коли серце збільшується в розмірі, але функціонує нормально під час зростання організму, завдяки фізичним тренуванням та під час вагітності. Деякі дослідження продемонстрували, що як ізометричні, так і ізотонічні фізичні вправи призводять до ремоделювання розмірів порожнин ЛШ та ПШ та до збільшення товщини стінок. Ці зміни у добре тренованих серцях професійних спортсменів прямо пов'язані з типом та тривалістю тренувань та чітко охарактеризовані саме ехокардіографічно. При ізометричних вправах відбувається непропорційне збільшення маси ЛШ порівняно зі збільшенням діастолічного об'єму ЛШ, що призводить до значно більшого підви-

щення відношення товщини стінки до розміру порожнини (співвідношення h/R) порівняно зі здоровими неспортсменами без суттєвих змін показників глобальної скоротливої функції ЛШ. Це фізіологічне гіпертрофічне ремоделювання «спортивного» серця є зворотним при припиненні інтенсивних тренувань, воно пов'язане з загальним збільшенням м'язової маси тіла та запускається підвищеною симпатичною активністю в серці. Ремоделювання може мати компенсаторний характер при хронічному перенавантаженні тиском унаслідок системної гіпертензії або аортального стенозу, що призводить до концентричної гіпертрофії (підвищених маси міокарда та ВТС ЛШ при нормальних розмірах порожнин та збереженій ФВ ЛШ) (рис. 5). Компенсаторне ремоделювання ЛШ також відбувається при хронічному перевантаженні об'ємом, це асоціюється з мітральною чи аортальною недостатністю, що індукує зміни архітектури шлуночка, які характеризуються як ексцентрична гіпертрофія з дилатацією порожнини ЛШ та на початку нормальною скоротливою функцією. Перевантаження тиском та об'ємом може довго залишатися компенсованим відповідним типом гіпертрофії, що нормалізує напруження стінки таким чином, що гемодинаміка та ФВ ЛШ довгий час залишаються стабільними. Втім у більшості пацієнтів, якщо хронічне збільшення післянавантаження не може бути нормалізоване вчасно, процеси ремоделювання стають патологічними.

Перехід до патологічного ремоделювання визначається прогресуючою дилатацією шлуночка, розтягненням контурів його порожнини, порушенням нормальної геометрії мітрального кільця та підклапанного апарату, що призводять до мітральної регургітації. Додаткове перевантаження об'ємом за рахунок мітральної регургітації потенціює прогресування зниження систолічної функції та розвиток серцевої недостатності. Дилатація ЛШ провокує розвиток мітральної регургітації, а мітральна регургітація потенціює прогресування подальшої дилатації ЛШ, його ремоделювання та контрактильної дисфункції.

Зміни в розмірах та геометрії ЛШ, що викликаються гіпертензією (рис. 5), відображають асоційовані гемодинамічні порушення, сполучені з підвищенням артеріального тиску. Ехокардіографічна картина перевантаження тиском у вигляді концентричної гіпертрофії є типовою для суб'єктів з гіпертензією та асоціюється з високим систолічним артеріальним тиском і високим периферичним судинним опором. Навпаки, ексцентрична гіпертрофія ЛШ асоціюється з нормальним рівнем периферичного опору, але з високим серцевим індексом, відповідним до надмірного об'єму циркулюючої крові. Концентричне ремоделювання (нормальна маса ЛШ з підвищеною ВТС ЛШ) характеризується високим периферичним опором, низьким серцевим індексом та підвищеною жорсткістю артеріальної стінки.

Унікальний різновид ремоделювання відбувається після ІМ як результат різкої втрати частини скоротливих кардіоміоцитів. Рання експансія інфарктної зони асоціюється з ранньою дилатацією ЛШ, у той час як підвищення регіонального напруження стінок перерозподіляється на інші стінки для збереження ударного об'єму. Вираженість раннього та пізнього постінфарктного ремоделювання визначається рядом факторів, включаючи розмір та локалізацію інфаркту, симпатоадреналову активацію, ап-регуляцію ренін-ангіотензин-альдостеронової системи та секреції натрій-уретичних пептидів. Від третини до половини пацієнтів після ІМ страждають від прогресивної дилатації ЛШ з розтягненням порожнини та розширенням геометрії ЛШ і розвитком вторинної мітральної регургітації. Мітральна регургітація ще більше індукує прогресування дисфункції ЛШ та розвиток застійної серцевої недостатності. Патологічне ремоделювання ЛШ є фінальним загальним шляхом до серцевої недостатності незалежно від того, що є першим, початковим стимулом до неї – хронічне перевантаження тиском чи об'ємом, генетично зумовлена кардіоміопатія чи ІМ. Ішемічна хвороба серця є причиною дисфункції ЛШ у приблизно двох третин хворих із серцевою недостатністю.

Висновки

Описано ремоделювання ЛШ у пацієнтів з артеріальною гіпертензією, хронічною клапанною регургітацією та первинними кардіоміопатіями, однак безпосередньо перехід до клінічно

маніфестної серцевої недостатності є менш відомим, оскільки дуже пролонгований. На відміну від них, час від ІМ до розвитку серцевої недостатності є значно коротшим та добре задокументованим.

Традиційні кількісні ехокардіографічні виміри, рекомендовані для оцінки ремоделювання ЛШ, включають оцінку об'ємів ЛШ у двох чи одній проекції згідно з рекомендаціями ASE. Хоча двопланові та однопланові визначення об'ємів не є взаємозамінними, всі вони є однаково чутливі до виявлення часозалежного ремоделювання ЛШ та прогресування скоротливої дисфункції. У багатьох дослідженнях у хворих після гострого інфаркту міокарда чи з серцевою недостатністю було продемонстровано, що об'єми ЛШ та похідна ФВ є предикторами небажаних серцево-судинних подій, включаючи смерть, повторний інфаркт, серцеву недостатність, шлуночкові аритмії та мітральну регургітацію. ASE рекомендує використання кількісного визначення об'ємів ЛШ, ФВ ЛШ, маси міокарда ЛШ та його геометрії, як описано у вищенаведених відповідних розмірах для визначення відповідного типу ремоделювання ЛШ, викликаного фізіологічними чи патофізіологічними причинами. Крім того, ці виміри забезпечують прогностичну інформацію, що відповідає загальним демографічним даним.

Список використаних джерел

1. Шиллер Н., Осипов М.А. Клиническая эхокардиография // Практика. – 2005. – С. 62–102.
2. Schiller N. B., Shah P. M., Crawford M. et al. Recommendations for quantitation of the left ventricle by two-dimensional echocardiography: American Society of Echocardiography committee on standards, subcommittee on quantitation of two-dimensional echocardiograms // J. Am. Soc. Echocardiogr. – 1989. – Vol. 2. – P. 358–67.
3. Hirata K., Watanabe H., Beppu S. et al. Pitfalls of echocardiographic measurement in tissue harmonic imaging: in vitro and in vivo study // J. Am. Soc. Echocardiogr. – 2002. – Vol. 15. – P. 1038–44.
4. McGavigan A. D., Dunn F. G., Goodfield N. E. Secondary harmonic imaging overestimates left ventricular mass compared to fundamental echocardiography // Eur. J. Echocardiogr. – 2003. – Vol. 4. – P. 178–81.
5. Feigenbaum H., Armstrong W., Ryan T. Feigenbaum's echocardiography. – 6th ed. – Philadelphia: Lippincott, Williams and Wilkins, 2005.
6. Mulvagh S. L., DeMaria A. N., Feinstein S. B. et al. Contrast echocardiography: current and future applications // J. Am. Soc. Echocardiogr. – 2000. – Vol. 13. – P. 331–42.
7. Nahar T., Croft L., Shapiro R. et al. Comparison of four echocardiographic techniques for measuring left ventricular ejection fraction // Am. J. Cardiol. – 2000. – Vol. 86. – P. 1358–62.
8. Colombo P. C., Municino A., Brofferio A. et al. Cross-sectional multiplane transesophageal echocardiographic measurements: comparison with standard transthoracic values obtained in the same setting // Echocardiography. – 2002. – Vol. 19. – P. 383–90.
9. Hozumi T., Shakudo M., Shah P. M. Quantitation of left ventricular volumes and ejection fraction by biplane transesophageal echocardiography // Am. J. Cardiol. – 1993. – Vol. 72. – P. 356–9.
10. Vasan R. S., Larson M. G., Levy D. et al. Distribution and categorization of echocardiographic measurements in relation to reference limits: the Framingham heart study; formulation of a height- and sex-specific classification and its prospective validation // Circulation. – 1997. – Vol. 96. – P. 1863–73.

ЭХОКАРДИОГРАФИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЛЕВОГО ЖЕЛУДОЧКА

А. С. Коржелецкий, А. Р. Дацюк

Резюме. *В статье рассмотрены технические аспекты оценки левого желудочка: количественной оценки полости, массы миокарда и функции, которые являются частью любого полноценного эхокардиографического исследования.*

Ключевые слова: *стандарты, измерения, объемы, линейные размеры, количественная оценка.*

ECHOCARDIOGRAPHIC EVALUATION OF THE LEFT VENTRICLE

O. Korzheletskyi, O. Daciuk

Summary. *The article describes the technical aspects of the left ventricle assessment: a quantitative assessment of the cavity, myocardial mass and the functions that are part of any full echocardiography.*

Keywords: *standards, measurements, volumes, linear dimensions, quantification.*