

УДК 616.13-089

А.О. Матвійчук

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут", Київ

## РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ МОДЕЛЮВАННЯ ЛІВОГО ШЛУНОЧКА СЕРЦЯ

В статті розглянуто моделювання лівого шлуночка серця з аневризмою. Створено спосіб визначення об'ємних показників рубцевого ураження лівого шлуночка серця за даними двовірної ехокардіографії та вентрикулографії. Розроблено програмне забезпечення для обчислення розмірів і локалізації постінфарктних аневризм лівого шлуночка серця для уточнення тактики та об'єму їх хірургічного видалення. Дана розробка дозволить підвищити якість і продуктивність кабінету функціональної діагностики.

**Ключові слова:** аневризма, лівий шлуночок серця.

### Вступ

Постінфарктні аневризми лівого шлуночка серця (ПА ЛШС) розвиваються у кожного п'ятого з хворих, що перенесли трансмуральний інфаркт міокарда [1]. П'ятирічне виживання пацієнтів з ПА ЛШС при спонтанному перебігу хвороби навіть на фоні проведеної медикаментозної терапії складає не більше 30-50% [2].

При хірургічному лікуванні ПА ЛШС летальність змінюється в межах від 7% до 30% [3]. Головною причиною несприятливих результатів є порушення в системі кровообігу, які виникають в післяопераційному періоді та приводять до гострої ішемії міокарда з розвитком гострої серцевої недостатності, рецидивами – шлуночковими аритміями та тромбоемболічними ускладненнями.

**Метою дослідження** є математичне моделювання аневризми лівого шлуночка (ЛШ) серця і оцінки об'єму рубцевого ураження.

### Матеріали дослідження

У відділі ультразвукових методів дослідження Національного інституту серцево-судинної хірургії ім. М.М. Амосова за допомогою ехокардіографа були отримані відеозаписи (у форматі \*.avi), на яких зображується зміна в часі перерізу лівого шлуночка з аневризмою (відносно повздовжньої осі ЛШ) упродовж циклу серцевого скорочення.

За допомогою програмного пакету VirtualDubMod із відео були отримані покадрові зображення (у форматі „png”) з інтервалом часу  $\Delta t = 0,020$  с, з яких було визначено висоту  $h$  та діаметри  $D$  ЛШ з аневризмою та безпосередньо самої аневризми.

### Методи дослідження

Найбільш розповсюдженими математичними моделями, що використовуються для вивчення особливостей ремоделювання ЛШ, є представлення ЛШ у вигляді еліпсоїда або параболоїда обертання. Такий аналітичний підхід не вимагає значних програмно-апаратних ресурсів і при цьому має достатньо

високу діагностичну точність, що дає можливість його широкого використання в клінічній практиці.

Однак при моделюванні ЛШ з аневризмою використання такої спрощеної математичної моделі не є коректним через значні зміни в геометрії ураженої камери серця. В даному дослідженні ЛШ представлений у вигляді довільної фігури, яка утворена сукупністю кіл, що розміщені у взаємно паралельних площинах і перпендикулярні повздовжній осі ЛШ (рис. 1).

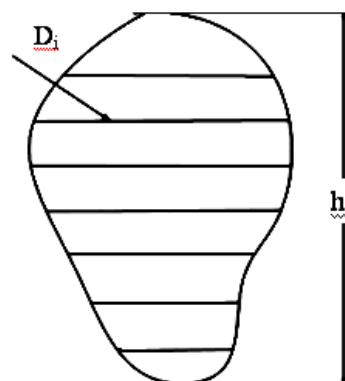


Рис. 1. Модель ЛШ, представлена у вигляді сукупності кіл,  $D_i$  – діаметр  $i$ -го кола,  $h$  – висота шлуночка

Сегментація ендокарда ЛШ на ультразвукових зображеннях – складний процес, який дає важливу інформацію для подальшого аналізу його функцій. Складність сегментації заключається в тому, що ультразвукові зображення формуються на основі відображених сигналів звукової хвилі. При цьому границі анатомічних ділянок часто є недостатньо чіткими, оскільки акустичні імпеданси сусідніх біо-структур можуть бути близькими або плавно змінюватися. Крім того, ультразвукові зображення часто містять відсутність растрових точок, де проходив слабкий сигнал через втрату енергії в акустичній хвилі, кута хвилі, зворотнього розсіювання та тіней від анатомічних структур.

Для визначення об'ємних характеристик ЛШ на отриманих зображеннях з ехограми за допомогою

написаного програмного забезпечення обводиться контур ураженого ЛШ серця під час систоли та діастолі та ЛШ з відсіченою частиною з аневризмою під час цих фаз. Враховуючи низьку контрастність отриманих зображень виділення контуру було проведено вручну, оскільки це дозволило збільшити точність та достовірність отриманих даних.

Ручна робота з зображенням була здійснена з використанням елементів управління, подібних до елементів „гумка” та „олівець” графічних редакторів зображень (рис. 2).

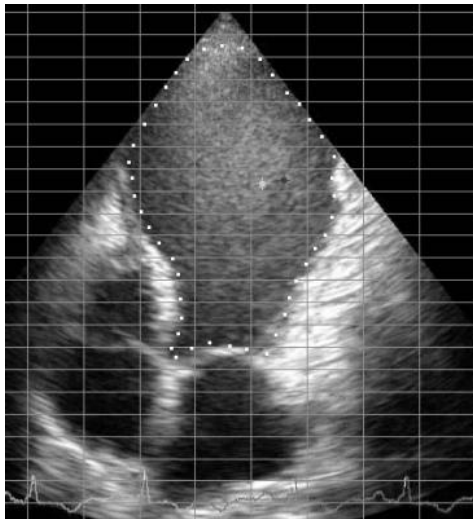


Рис. 2. Виділення контуру ЛШ з аневризмою

Отримана довільна фігура по висоті розбивається на 20 рівновіддалених перерізів перпендикулярно поздовжній вісі ЛШ. Об’єм даної фігури складається з суми елементарних об’ємів зрізаних конусів та двох сегментів сфери.

Об’єм початкової фігури (ЛШ з аневризмою) розраховуємо за формулами (1) – (4):

$$V_{1\_поч.сф.} = \frac{1}{3} \pi h_0^2 \cdot (3R_1 - h_0); \quad (1)$$

$$V_{i\_i\hat{i}\hat{i}\hat{i}\hat{i}} = \frac{1}{3} \pi h_0 (R_i^2 + R_{i-1}^2 + R_i \cdot R_{i-1}), \quad i = 2..19; \quad (2)$$

$$V_{2\_поч.сф.} = \frac{1}{3} \pi h_0^2 \cdot (3 \cdot R_{19} - h_0), \quad (3)$$

$$V_{i\hat{i}\hat{i}\hat{i}\hat{i}\hat{i}\hat{i}} = V_{1\_i\hat{i}\hat{i}\hat{i}\hat{i}\hat{i}} + V_{2\_i\hat{i}\hat{i}\hat{i}\hat{i}\hat{i}} + \sum_{i=2}^{19} V_{i\_i\hat{i}\hat{i}\hat{i}\hat{i}\hat{i}}, \quad (4)$$

де  $R = \frac{D_i}{2}$ , а  $D_i$  отримані зі знімків,  $V_{1\_поч.сф.}$  – об’єм сегмента сфери, верхньої частини об’єма ЛШ;  $V_{2\_поч.сф.}$  – об’єм сегмента сфери, нижньої частини об’єма ЛШ;  $V_{i\_поч.кон.}$  – сума елементарних об’ємів зрізаних конусів;  $h_0$  – висота елементарного об’єму.

Об’єм аневризми був розрахований аналогічно:

$$V_{1\_поч.аневр} = \frac{1}{3} \pi \cdot h_0^2 \cdot (3R_1 - h_0); \quad (5)$$

$$V_{i\_i\hat{i}\hat{i}\hat{i}\hat{i}\hat{i}} = \frac{1}{3} \pi h_0 (R_i^2 + R_{i-1}^2 + R_i \cdot R_{i-1}), \quad i = 2..19; \quad (6)$$

$$V_{поч.аневр} = V_{1\_поч.аневр} + \sum_{i=2}^N V_{i\_поч.аневр}, \quad (7)$$

де  $N$  – номер перерізу, на якому відсікається аневризма.

Об’єм ЛШ без аневризми було визначено як:

$$V_{л.ш.без\_аневр} = V_{поч.камери} - V_{поч.аневр}$$

Як зазначено вище, в виконаному дослідженні ЛШ був представлений у вигляді довільної фігури, яка утворена сукупністю горизонтальних кіл, оскільки уражені аневризмою стінки шлуночка розглядалися як гнучка тканина.

Кожне з цих кіл було представлено сукупністю двох дуг, як показано на рис. 3. Дуга  $L_1$  – частина шлуночка, що скорочується, дуга  $L_2$  – уражена частина

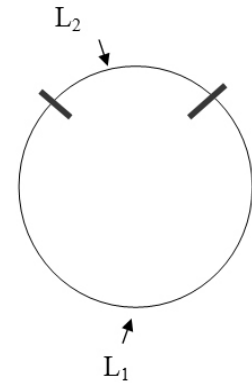


Рис. 3. Переріз фігури, яка апроксимує ЛШ

Значення діаметрів  $d_{сис.i}$  для систоли та  $d_{диа.i}$  для діастолі було визначено з ехокардіографічних знімків. Довжина дуги для кожного горизонтального перерізу  $L_1$  та  $L_2$  була розрахована за формулами (8) – (11):

$$k = \frac{d_{сис.i}}{d_{диа.i}}; \quad (8) \quad \begin{cases} L_{2i} + L_{1i} = \pi \cdot d_{диа.i} \\ L_{2i} + k \cdot L_{1i} = \pi \cdot d_{сис.i} \end{cases}; \quad (9)$$

$$L_{1i} = \frac{\pi(d_{диа.i} - d_{сис.i})}{1 - k}; \quad (10)$$

$$L_{2i} = \frac{\pi(d_{сис.i} - k \cdot d_{диа.i})}{1 - k}, \quad (11)$$

де  $k$  – коефіцієнт скорочення камери серця;  $i$  – номер перерізу.

### Вибір тактики хірургічного втручання

Хірургічні методи лікування аневризми ЛШ передбачають оперативне усунення аневризми з подальшим відновленням цілісності ЛШ. Використовують декілька методик пластики ЛШ після аневризмектомії, що направлені на відновлення його об’єму та геометрії [4]. У ряді випадків може використовуватися лінійна пластика, що полягає в простому зшиванні стінок ЛШ [5]. Усунення аневризми з лінійною пластикою ЛШ передбачає повне або часткове видалення рубцевої тканини з видаленням тромботичних нашарувань. Закриття дефекту стінки ЛШ досягається зіставленням країв рани і накладенням двухрядного шва.

При великих розмірах аневризми ЛШ така методика є ризикованою через небезпеку розвитку синдрому «малого ЛШ» і фатальної серцевої недостатності. У цих випадках застосовується один з варіантів

ендовентрикулопластики за допомогою вшивання латки по межі незмінених тканин з боку ендокарда. Слід зазначити, що проведення пластики ЛШ з латкою має негативні наслідки та високу летальність, оскільки викликає кальциноз шва та заважає скороченню серця. Тому лінійна пластика є більш оптимальною методикою резекції аневризми ЛШ.

В рамках виконаного дослідження було запропоновано два варіанти лінійної пластики ЛШ: операція I типу (повне видалення ураженої частини ЛШ) та операція II типу (резекція із залишковим фрагментом аневризми). Тактику хірургічного лікування необхідно вибирати на основі доопераційних розрахунків об'ємних характеристик прогнозованого ЛШ.

На першому етапі необхідно розрахувати об'ємні характеристики для операції I типу. Після повного видалення аневризми крайні точки залишкового шлуночка зшивають між собою. Таким чином, довжина окружності, апроксимації горизонтального перерізу фігури ЛШ, стає рівною довжині дуги  $L_1$ .

Значення діаметрів  $d_{\text{сис.1i}}$  та  $d_{\text{диа1i}}$  для систоли та діастолу відповідно розраховують за формулами:

$$\begin{cases} \pi \cdot d_{\text{сис.1i}}^2 = L_{1i}; \\ \pi \cdot d_{\text{диа1i}}^2 = k \cdot L_{1i}, \end{cases} \quad \text{де } k = \frac{d_{\text{сис.1i}}}{d_{\text{диа1i}}}. \quad (12)$$

Після цього розраховують значення КСО та КДО за формулами (1) – (4). Отримані значення порівнюють з відповідними допустимими значеннями для стану норми. При відповідності розрахункових значень допустимим, можливо без порушень геометрії та необхідного об'єму ЛШ проводити повну резекцію аневризми.

У випадку, коли розраховані значення недостатні, заради уникнення неадекватного зменшення або деформації порожнини ЛШ необхідно проводити операцію II типу із залишковим фрагментом аневризми. Зі знімків були знайдені значення діаметрів шлуночка без аневризми  $d_{\text{сис.2i}}$  та  $d_{\text{диа2i}}$  для систоли та діастолу відповідно. Коло, що є апроксимацією горизонтального перерізу ЛШ, складається з дуги  $L_1$  (частина, що скорочується) та  $L_3$  (змінна нескорочувана залишкова частина перерізу аневризми) (рис. 3).  $L_3$  знаходиться за формулою:

$$\begin{cases} \pi \cdot d_{\text{сис.2i}}^2 = L_{1i} + L_{3i}; \\ \pi \cdot d_{\text{диа2i}}^2 = k \cdot L_{1i} + L_{3i}. \end{cases} \quad (13)$$

Після цього розраховуються значення КСО та КДО за формулами (1) – (4). На основі даного алгоритму створено відповідне програмне забезпечення.

## РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА МОДЕЛИРОВАНИЯ ЛЕВОГО ЖЕЛУДОЧКА СЕРДЦА

А.О. Матвийчук

*В статье рассмотрено моделирование левого желудочка сердца с аневризмой. Создан способ определения объемных показателей рубцового поражения левого желудочка сердца по данным двухмерной эхокардиографии и вентрикулографии. Разработано программное обеспечение для вычисления размеров и локализации постинфарктных аневризм левого желудочка сердца для уточнения тактики и объема их хирургического удаления. Данная разработка позволит повысить качество и производительность кабинета функциональной диагностики.*

**Ключевые слова:** аневризма, левый желудочек сердца.

## Висновки

В статті досліджено показники кінематики та геометрії лівого шлуночка серця при патології та при видаленні аневризми.

В результаті проведених досліджень було виявлено, що геометрія ЛШ відіграє центральну роль в нормальній його функції та в процесі ремоделювання серця при різних захворюваннях серцево-судинної системи. Втрата нормальної форми шлуночка є ранньою ознакою ушкодження серця.

Передопераційний розрахунок об'ємних характеристик ЛШ до та після проведення хірургічного втручання є ефективним та безпечним засобом, що дозволяє до операції планувати вид та обсяг необхідного втручання. За рахунок цього можливо знизити частоту розвитку низького серцевого викиду та госпітальну летальність.

Введення в клінічну практику диференційного підходу до вибору методу пластики ЛШ на основі проведення передопераційних розрахунків об'ємних характеристик ЛШ дозволяє зменшити імовірність неадекватного зменшення порожнини ЛШ та покращити результати лікування.

## Список літератури

1. *Практическое руководство для врачей общей (семейной) практики // Под ред. Денисова И.Н. (Кол.Авторов: Мовшович Б.Л.,Бородулин, Б.Е. и др). – М.:Геотар-Мед, 2001. – 720с.*
2. *Чернявский А.М., Марченко А.В., Хапаев С.А., Сакович В.А., Кливер Е.Н., Ачкасов В.Б.Отдаленные результаты хирургического лечения постинфарктных аневризм в зависимости от вида пластики левого желудочка // Патология кровообращения и кардиохирургия – 2002. – №4. – С. 18-22.*
3. *Поляков В.П., Мовшович Б.Л.,Савельева Г.Г. Хирургические аспекты ишемической болезни сердца // Кардиологическая практика: в 2-х т. – Т.1. – 1993. – С.291-299.*
4. *Урсуленко В. I. Хірургічне лікування постінфарктних аневризм серця. Вибір методу пластики лівого шлуночка після аневримектомії / В. I. Урсуленко // Серце і судини. – 2009. - №1. – С.4 8-61.*
5. *Крюков Н. Н. Ишемическая болезнь сердца (современные аспекты клиники, диагностики, лечения, профилактики, медицинской реабилитации, экспертизы) / Н.Н. Крюков, Е.Н. Николаевский, В.П. Поляков – 2010. - Самара. – С. 490-495.*

Надійшла до редколегії 1.10.2012

**Рецензент:** д-р мед. наук, проф. В.П. Яценко, Національний технічний університет України «КПІ», Київ.

**DEVELOPMENT OF LEFT VENTRICULAR SIMULATION ALGORITHM**

A.O. Matviychuk

*Modeling of left ventricular aneurysm was examined in the article. A method for calculation of volume parameters cicatricial affection of the left ventricle according to the two-dimensional echocardiography and ventriculography data. The software for calculation of size and location of left ventricular postinfarction aneurysm was developed. It should be used for improvement approach and volume after aneurysm removal. This development will improve the quality and performance of functional diagnostics office.*

**Keywords:** aneurysm, left ventricle.