

УДК 616.13-089

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЛІВОГО ШЛУНОЧКА СЕРЦЯ З АНЕВРИЗМОЮ

В статті розглянуто аспекти математичного моделювання лівого шлуночка серця з аневризмою. Розроблено програмне забезпечення з розрахунком об'єму рубцевого ураження

Ключові слова: аневризма лівого шлуночка серця, реваскуляризація міокарда, моделювання лівого шлуночка

В статтє рассмотрены аспекты математического моделирования левого желудочка сердца с аневризмой. Разработано программное обеспечение по расчету объема рубцового поражения

Ключевые слова: аневризма левого желудочка сердца, реваскуляризация миокарда, моделирование левого желудочка

Mathematical modeling of left ventricular aneurysm was examined. The software for volume calculating of cicatricial affection was developed

Keywords: left ventricular aneurysm, myocardial revascularization, modeling of the left ventricle

Г.В. Книшов

Доктор медичних наук, професор, академік АМН України, директор*

Контактний тел.: 097-127-23-95

E-mail: nastenko@inbox.ru

Є.А. Настенко

Доктор біологічних наук, завідувач відділу інформаційних технологій та математичного моделювання фізіологічних процесів*

Контактний тел.: 097-127-23-95

біомедичних систем, нелінійна динаміка складних систем

E-mail: nastenko@inbox.ru

В.І. Урсуленко

Доктор медичних наук, професор, лікар-кардіохірург вищої категорії*

Контактний тел.: 097-127-23-95

E-mail: nastenko@inbox.ru

*Національний інститут серцево-судинної хірургії ім. М.М. Амосова

вул. Амосова, 6, м. Київ, Україна, 252601

А.О. Матвійчук

Аспірант, асистент

Кафедра медичної кібернетики та телемедицини**

Контактний тел.: 097-127-23-95

E-mail: nutius@yandex.ru

М.В. Чеховой

Аспірант

Кафедра інформаційно-вимірювальної техніки**

Контактний тел.: 096-115-44-46

E-mail: chehovej@bigmir.net

**Національний технічний університет України «Київський політехнічний

інститут»

пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056

1. 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].

За даними [3] при хірургічному лікуванні ПА ЛШС летальність варіюється від 7% до 30%. Головною причиною несприятливих результатів є порушення в системі кровообігу, які виникають в післяопераційному періоді та приводять до гострої серцевої недостатності, виникненню шлуночкових аритмій та тромбоемболічних ускладнень.

Як відомо, в залежності від виду випромінювання системи діляться на рентгенологічні, ультразвукові та магніторезонансні. Незважаючи на великі можливості

систем комп'ютерної томографії на основі рентгенівського випромінювання і ядерного магнітного резонансу по візуалізації внутрішньої будови серця, з міркувань доступності та низької вартості пріоритетним методом дослідження серця є ехокардіографія. Найбільше розповсюдження мають саме ультразвукові системи дослідження серця завдяки швидкості отримання інформації, безпечності для людини, компактності апаратури та невеликій ціні.

Тому на сьогодні всі сили розробників систем обробки і аналізу зображень при ехокардіографічному дослідженні спрямовані на отримання якомога більшого об'єму інформації по цим даним.

Крім того, широкого розповсюдження при дослідженні шлуночків набув метод рентгеноконтрастної вентрикулографії, який використовується для визначення локалізації розмірів аневризми лівого шлуночка, тромбоза її порожнин і оцінки скорочувальної функції міокарда.

Актуальною є розробка простих та недорогих методів обчислення розмірів та локалізації ПЛШ для уточнення тактики їх хірургічного видалення.

Ураження стінки лівого шлуночка (ЛШ) не завжди супроводжується її повною акінезією, тому важливим є збереження якомога більшої частини функціонального міокарду, особливо при застосуванні аортокоронарного шунтування, тобто реваскуляризації ЛШ. Все це потребує прецизійного обчислення кінематики окремих ділянок міокарду по даним двумірної ехокардіографії та вентрикулографії. Розробка математичної моделі опису геометрії лівого шлуночка з аневризмою серця, яка буде враховувати особливості його анатомічної будови, є важливим етапом до розвитку ефективної тактики хірургічного видалення аневризми.

Метою роботи є математичне моделювання аневризми лівого шлуночка серця і оцінки об'єму рубцевого ураження для застосування у діагностичних системах обробки зображень.

2. Матеріал та методи досліджень

В основу статті покладено дані спостережень 10 пацієнтів з постінфарктною аневризмою лівого шлуночка.

Двумірна ехокардіографія дозволяє візуалізувати весь лівий шлуночок, оцінити його об'єм, фракцію вигнання, діагностувати внутрішньопорожнинний тромбоз, вивчити показники контрактильної функції.

В дослідженні були використані знімки вентрикулографії 6 хворих та двумірної ехокардіографії 4 хворих (до та після операції).

Порівнювались ударні об'єми ЛШ до та після резекції аневризми ЛШ.

Досліджено динаміку об'єму шлуночка у часі протягом систоли та діастоли як для нормального шлуночка, так і у хворих із ПА ЛШС. Обчислювались відносні розміри відповідних перерізів (поперечних) та їх часова динаміка

Розміри ЛШ до та після умовної резекції ЛШ обчислювались: 1) шляхом симетричного відображення неушкодженої стінки ЛШ (див. рис. 1,а,б); 2) відтворювались за статистичними співвідношеннями відповідних діаметрів у групі нормальних шлуночків.

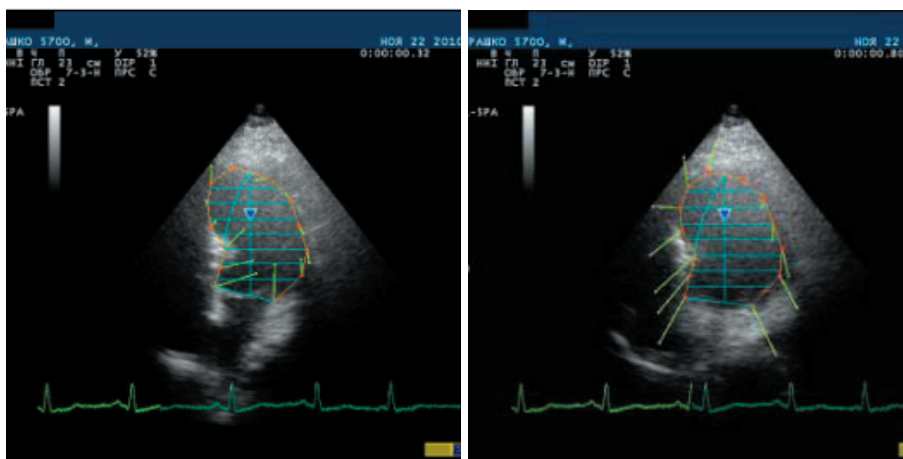


Рис. 1. Симетричне відображення неушкодженої стінки ЛШ

Результати математичного моделювання реалізовано у вигляді комп'ютерної програми у середовищі програмування LABVIEW.

3. Результати та обговорення

На даний час анатомічно аневризму серця визначають як ділянку витонченої рубцевої тканини з вип'ячуванням стінки шлуночка в цій області. Аневризма представляє собою зону міокарда, яка втратила скоротливу здатність та набухає при систолічних скороченнях. Аневризма представлена фіброзно-м'язовою чи витонченою м'язовою тканиною.

У 85% випадків аневризми розміщується по передній, передньобоковій стінці лівого шлуночка або в області його верхівки. Така домінуюча локалізація аневризми відповідає частоті атеросклеротичного ураження та тромбоза передньої міжшлуночкової гілки лівої коронарної артерії. Приблизно в три рази рідше аневризми зустрічаються на задній поверхні серця [4].

Головні ознаки аневризми обумовлені порушенням рухливості стінки лівого шлуночка у вигляді парадоксальної систолічної експансії або акінезії. Розміри аневризми мають пряму кореляцію зі ступенем порушення скоротливої функції міокарда лівого шлуночка: кінцево-діастолічний об'єм і діастолічний тиск збільшуються, а фракція викиду зменшується.

Для визначення локалізації розмірів аневризми лівого шлуночка, тромбоза її порожнини та оцінки скорочувальної функції міокарду, має вирішальне значення вентрикулографія.

У відділі ультразвукових методів дослідження Національного інституту серцево-судинної хірургії ім. М.М. Амосова були отримані відеозаписи (у форматі „avi”), на яких зафіксовані зміни у часі перерізу лівого шлуночка (ЛШ) з аневризмою (відносно поздовжньої осі ЛШ) упродовж циклу серцевого скорочення.

За допомогою пакету VirtualDubMod із відео були отримані покадрові зображення (у форматі „png”) з інтервалом часу $\Delta t = 0,031$ s, з яких було визначено висоту h та діаметри D ЛШ з аневризмою та без аневризми.

В попередніх дослідженнях [5] було проаналізовано параметри ЛШ, отримані з використанням оригінальної математичної моделі ЛШ, у вигляді еліпсоїда та параболоїда обертання. Було зроблено висновок, що запропонований методологічний підхід до вивчення особливостей ремоделювання ЛШ має досить високу діагностичну точність та може бути використаний в широкій клінічній практиці для вивчення різних патологічних станів міокарду серця.

Однак при моделюванні ЛШ з аневризмою зазначені

вище підходи не коректні. Тому було використано представлення ЛШ як довільної фігури згідно дослідних даних.

Зокрема, об'єм шлуночка був представлений як тривимірна фігура, утворена з сукупності окружностей, розміщених у взаємно паралельних площинах, кожна з яких перпендикулярна до поздовжньої осі шлуночка (як представлено на рис. 2).

На рис. 1 приведені наступні позначення:

D_i – діаметр i -го кільця з сукупності;

h_i – висота площини i -го кільця над нижньою основою шлуночка;

L_0 – крива місцезнаходження центрів кілець з сукупності;

O_i – центр i -го кільця;

A_i – відхилення O_i від поздовжньої осі шлуночка (чисельний показник відхилення шлуночка від тіла обертання).

Об'єм змодельованого шлуночка був обчислений як сума елементарних об'ємів зрізаних конусів. Обчислення проводились за формулою:

$$V_{ш} = \sum_{i=1}^{N_V} V_{ел_i} ,$$

де N_V – кількість окружностей сукупності,

$V_{ел_i}$ - елементарний об'єм зрізаного конуса з діаметрами D_{i-1} та D_i та висотою $h_{ел_i} = h_i - h_{i-1}$. За умови достатньо малого значення $h_{ел_i}$ (тобто, достатньо великої кількості N_V) $V_{ел_i}$ можна обчислити за наближеною формулою:

$$V_{ел_i} = h_{ел_i} \cdot \frac{\pi \cdot D_{cp_V}^2}{4} ,$$

де D_{cp_V} - серединний діаметр i -го зрізаного конуса,

$$D_{cp_V} = \frac{D_i + D_{i-1}}{2} . \text{Тоді}$$

$$V_{ел_i} = (h_i - h_{i-1}) \left(\pi \frac{(D_i + D_{i-1})^2}{16} \right) .$$

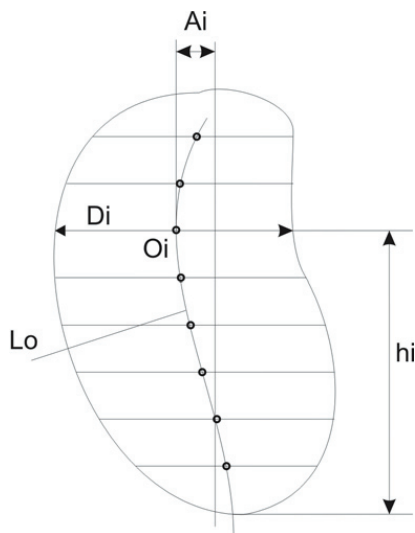


Рис. 2. Тривимірне представлення ЛШ з використанням сукупності окружностей

Слід зазначити, що D_i , h_i та A_i для моделювання були отримані вручну з графічних зображень перерізів, оскільки використання автоматичного машинного розпізнавання чисельних даних з зображень спричинило низьку точність та достовірність отриманих даних.

Також слід зазначити, що стінки шлуночка, вражені аневризмою, розглядались в якості гнучкої та малорозтяжної (або досить жорсткої) тканини, тому всі горизонтальні перерізи шлуночка представлені в вигляді кіл.

Крім того, об'єм змодельованої тримірної фігури не залежить від форми кривої L_0 та компланарності складових її точок.

Даний факт є важливим при визначенні ударного об'єму шлуночка, оскільки відповідні похибки моделювання є відсутніми.

Для визначення ударного об'єму ЛШ $V_{уд_лш}$ необхідно розрахувати об'єми $V_{S_лш}$ та $V_{D_лш}$ тривимірних фігур, які відповідають систолі та діастолі ЛШ.

Об'єми необхідно розраховувати як сукупності елементарних об'ємів зрізаних конусів.

$$V_{уд_лш} = V_{D_лш} - V_{S_лш} .$$

Розрахунок об'ємів був здійснений з використанням методів чисельного інтегрування.

При аналізі даних вентрикулографії вирішальне значення має площа аневризми та скоротливої частини лівого шлуночка, оскільки загальна фракція вигнання не відображає ступінь порушення функції.

За допомогою створеного програмного забезпечення був проаналізований об'єм лівого шлуночка з аневризмою та без неї.

Попереднє співставлення результатів моделювання із результатами хірургічної резекції аневризми лівого шлуночка (АЛШ) показало досить високу відповідність результатів.

Врахування не тільки зон ураження стінки ЛШ, але й її кінематики, тобто збережених рухомих ділянок дозволяє більш точно вибирати тактику хірургічної корекції.

Метод може застосовуватись як альтернатива комп'ютерній томографії (КТ) та магніто-резонансній томографії (МРТ), у випадках, коли обстеження є неможливими або занадто дорогими.

4. Висновки

В результаті роботи було розроблено 3D-модель лівого шлуночка серця з присутньою аневризмою. Досліджені показники кінематики та геометрії при патології та при видаленні аневризми.

В результаті проведених досліджень було виявлено, що геометрія лівого шлуночка 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.

Література

1. Денисов, И.Н. Практическое руководство для врачей общей (семейной) практики [Текст] / И.Н. Денисов, Б.Л. Мовшович, Б.Е. Бородулин. - М.: Геотар-Мед, 2001. - 720с.
2. Чернявский, А.М. Отдаленные результаты хирургического лечения постинфарктных аневризм в зависимости от вида пластики левого желудочка [Текст] / А.М. Чернявский, А.В. Марченко, С.А. Хапаев, В.А. Сакович, Е.Н. Кливер, В.Б. Ачкасов // Журн. Патология кровообращения и кардиохирургия. -2002. -№4. -С. 18-22.
3. Поляков, В.П. Хирургические аспекты ишемической болезни сердца [Текст] / В.П. Поляков, Б.Л. Мовшович, Г.Г. Савельева // Кардиологическая практика: в 2-х т. -1993. - Т.1. -С. 291-299.
4. Виноградов, С.В. Клинические и социальные факторы возвращения к труду больных ишемической болезнью сердца после операции аортокоронарного шунтирования [Текст] / С.В. Виноградов, В.Е. Маликов // Журн. Клин.Мед. - 1991. -Т. 69, №4. - С. 32-35.
5. Книшов, Г.В. Кількісні характеристики нормального та патологічного скорочення лівого шлуночка серця людини як спірально побудованої структури. Оцінка діагностичних можливостей методу [Текст] / Г.В. Книшов, О.О. Броварець, Є.А. Настенко, Ю.Ф. Забашта, В.М. Бешляга, В.Б. Максименко, В.П. Захарова, Ю.А. Костенко // Журн. Фізика живого. - 2009. - Т. 17, №2. - С. 148-154.