



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **115212** (13) **U**  
(51) МПК (2017.01)  
**A61B 8/00**

## (12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: <b>u 2016 10122</b>	(72) Винахідник(и): <b>Костилєв Михайло Володимирович (UA), Матящук Андрій Сергійович (UA)</b>
(22) Дата подання заявки: <b>05.10.2016</b>	
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: <b>10.04.2017</b>	(73) Власник(и): <b>НАЦІОНАЛЬНИЙ ІНСТИТУТ ХІРУРГІЇ ТА ТРАНСПЛАНТОЛОГІЇ ІМЕНІ О.О. ШАЛІМОВА НАМН УКРАЇНИ, вул. Героїв Севастополя, 30, м. Київ, 03680 (UA)</b>
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: <b>10.04.2017, Бюл.№ 7</b>	

## (54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ФРАКЦІЇ ВИКИДУ ЛІВОГО ШЛУНОЧКА

### (57) Реферат:

Спосіб визначення фракції викиду лівого шлуночка, який включає ультразвукове дослідження серця, вимірювання кінцеводіастолічного та кінцевосистолічного об'єму лівого шлуночка модифікованим методом Сімпсона, розрахунок фракції викиду як співвідношення різниці кінцеводіастолічного та кінцевосистолічного об'ємів до кінцеводіастолічного об'єму, причому ультразвукове дослідження серця виконують із картуванням деформації методом "2D speckle tracking", обводять внутрішній кінцеводіастолічний та кінцевосистолічний контури лівого шлуночка у трьох стандартних апікальних проекціях, згладжують методом "Catmull-Rom" і формують із них три пари множин із ряду рівновіддалених точок, що утворюють такі контури, при яких кожна точка, що належить початковому контуру, одночасно належала би відповідному кінцевому контуру, розподіляють контури на ряд горизонтальних зрізів - дисків рівної висоти, визначаючи площу кожного диска із урахуванням діаметрів цього диска у контурах від кожної із трьох апікальних проекцій, визначають кінцеводіастолічний об'єм як суму площ дисків, обчислених із кінцеводіастолічних контурів, помножену на висоту кінцеводіастолічних контурів, визначають кінцевосистолічний об'єм як суму площ дисків, обчислених із кінцевосистолічних контурів, помножених на висоту кінцевосистолічних контурів та обчислюють фракцію викиду ФВ.

UA 115212 U

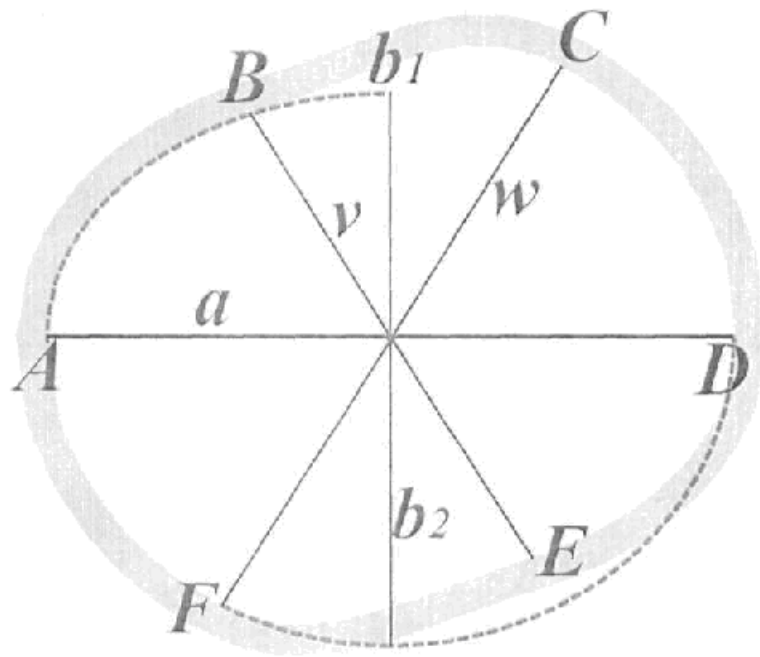


Fig. 2

Корисна модель належить до медицини, а саме до діагностики, і може бути використана для визначення фракції викиду лівого шлуночка (ЛШ) серця.

Найближчим аналогом є спосіб визначення фракції викиду лівого шлуночка, який включає ультразвукове дослідження серця, вимірювання кінцеводіастолічного та кінцевосистолічного об'єму ЛШ у чотирикамерній та двокамерній апікальних проекціях ЛШ, розрахунок результуючого кінцеводіастолічного та кінцевосистолічного об'єму за даними двох проекцій, представляючи поперечний переріз ЛШ у вигляді еліпса, і розрахунок фракції викиду ФВ за формулою:

$$\Phi B = \frac{KDO - KCO}{KDO} \times 100\%, (1)$$

де: -  $KDO$  - кінцеводіастолічний об'єм лівого шлуночка за даними чотирикамерної та двокамерної апікальної проекції;

-  $KCO$  - кінцеводіастолічний об'єм лівого шлуночка за даними чотирикамерної та двокамерної апікальної проекції.

[Lang RM, Bierig M, Devereux RB et al. Recommendations for Chamber Quantification: A Report from the American Society of Echocardiography's Guidelines and Standards Committee and the Chamber Quantification Writing Group, Developed in Conjunction with the European Association of Echocardiography, a Branch of the European Society of Cardiology //Journal of the American Society of Echocardiography. - 2012. - V. 18, № 12. - P. 1440-14631.

Недоліком аналога є недостатня точність діагностики, так фракція викиду розраховується за даними лише двох апікальних проекцій, що описує форму бічної, перетинкової, нижньої та передньої стінок і не описує форму задньої та передньо-перетинкової стінок.

Задачею корисної моделі є розробка такого способу визначення ФВ лівого шлуночка, який за рахунок проведення ультразвукового дослідження серця із картуванням деформації методом "2D speckle tracking", обведення внутрішнього кінцеводіастолічного та кінцевосистолічного контурів лівого шлуночка у трьох стандартних апікальних проекціях, згладжування методом "Catmull-Rom" і формування із них трьох пар множин із ряду рівновіддалених точок, що утворюють такі контури, при яких кожна точка, що належить початковому контуру, одночасно належала би відповідному кінцевому контуру, розподілу контурів на ряд горизонтальних зрізів - дисків рівної висоти, визначенні площі кожного диска із урахуванням діаметрів цього диска у контурах від кожної із трьох апікальних проекцій забезпечував би підвищення точності виміру.

Поставлена задача вирішується тим, що у способі визначення фракції викиду лівого шлуночка, який включає ультразвукове дослідження серця, вимірювання кінцеводіастолічного та кінцевосистолічного об'єму лівого шлуночка модифікованим методом Сімпсона, обчислення фракції викиду як співвідношення різниці кінцеводіастолічного та кінцевосистолічного об'ємів до кінцеводіастолічного об'єму, згідно з корисною моделлю, ультразвукове дослідження серця виконують із картуванням деформації методом "2D speckle tracking", обводять внутрішній кінцеводіастолічний та кінцевосистолічний контури лівого шлуночка у трьох стандартних апікальних проекціях, згладжують методом "Catmull-Rom" і формують із них три пари множин із ряду рівновіддалених точок, що утворюють такі контури, при яких кожна точка, що належить початковому контуру, одночасно належала би відповідному кінцевому контуру, розподіляють контури на ряд горизонтальних зрізів - дисків рійної висоти, визначають площу кожного диска із урахуванням діаметрів цього диска у контурах від кожної із трьох апікальних проекцій, визначають кінцеводіастолічний об'єм як суму площ дисків, обчислених із кінцеводіастолічних контурів, помножену на висоту кінцеводіастолічних контурів, визначають кінцевосистолічний об'єм як суму площ дисків, обчислених із кінцевосистолічних контурів, помножених на висоту кінцевосистолічних контурів та обчислюють фракцію викиду ФВ за формулою:

$$\Phi B = \frac{KDO_{mrip} - KCO_{mrip}}{KDO_{mrip}} \times 100\% (1)$$

де: -  $KDO_{mrip}$  - кінцеводіастолічний об'єм, розрахований із контурів чотирикамерної, трикамерної та двокамерної апікальних проекцій;

$KCO_{mrip}$  - кінцевосистолічний об'єм, розрахований із контурів чотирикамерної, трикамерної та двокамерної апікальних проекцій.

Виконання ультразвукового дослідження серця із картуванням деформації методом "2D speckle tracking", обведення внутрішнього кінцеводіастолічного та кінцевосистолічного контурів лівого шлуночка у трьох стандартних апікальних проекціях, згладжування методом "Catmull-

Rom" і формуванням із них трьох пар множин із ряду рівновіддалених точок, що утворюють такі контури, при яких кожна точка, що належить початковому контуру, одночасно належала би відповідному кінцевому контуру, розподіл контурів на ряд горизонтальних зрізів - дисків рівної висоти, визначення площі кожного диска із урахуванням діаметрів цього диска у контурах від кожної із трьох апікальних проекцій, визначенні кінцеводіастолічного об'єму як суми площ дисків, обчислених із кінцеводіастолічних контурів, помножену на висоту кінцеводіастолічних контурів, визначенні кінцевосистолічних об'ємів як суми площ дисків, обчислених із кінцевосистолічних контурів, помножених на висоту кінцевосистолічних контурів та обчисленні фракцію викиду ФВ за формулою (1) дозволяє підвищити точність діагностики, оскільки поперечний переріз кожного диску розраховується не із двох розмірів, а із трьох, в результаті чого кожен диск може бути представлено не лише у вигляді еліпса, а й у вигляді замкненої кривої.

Математичне співвідношення (1), наведене в формулі корисної моделі, виведено за допомогою математичних розрахунків.

Спосіб пояснюється кресленнями, де на Фіг. 1 представлено розрахунок координат точок контуру U та пояснюється спосіб побудови контурів із великої кількості рівновіддалених точок, на Фіг. 2 - розрахунок площі кожного диска на основі трьох діаметрів ЛШ в даному перерізі.

Після обведення кінцеводіастолічного або кінцевосистолічного внутрішнього контуру ЛШ отримують масив координат  $I = \{x_{i1}; y_{i1}, x_{i2}; y_{i2}, \dots, x_{in}; y_{in}\}$ ,  $n \geq 3$ . Оскільки координати вказані користувачем, то кількість точок n, відстані між ними та взаємне розташування може бути будь-яким. Тому контур згладжують, підвищують щільність точок та вирівнюють відстані між ними.

Згладжування контуру I ЛШ виконують сплайном, кожен фрагмент якого описується функцією  $f_i(x)$ . Далі кожен фрагмент отриманої кривої  $\tilde{I}(x_{ia}; y_{ia}) - (x_{ia+1}; y_{ia+1})$  розбивають на  $k'$  відрізків, утворивши, таким чином, ламану  $I'$ , кожна побудована точка якої буде належати  $\tilde{I}$ . У випадку, коли значення  $k'$  достатньо велике в порівнянні із роздільною здатністю зображення, що обробляється, вважають що  $\Delta x \rightarrow 0$ . Тобто, судні пари точок є найближчими, які можна отримати на даному обладнанні. В цьому випадку січна, що з'єднує будь-які сусідні точки, буде прагнути зайняти місце дотичної, яка, як відомо, описується лінійною функцією. В такий спосіб при заміні кривої  $\tilde{I}$  на ламану  $I'$  похибкою нехтують.

Для згладжування контуру використовують метод "Catmull-Rom", що є особливим випадком кубічних сплайнів Ерміта:

$$p_i(t) = h_{00}(t)p_i + h_{10}(t)m_i + h_{01}(t)p_{i+1} + h_{11}(t)m_{i+1}, t \in [0;1] \quad (2)$$

Де -  $h_{00}, h_{10}, h_{01}, h_{11}$  і чотири базисні функції Ерміта:

$$h_{00}(t) = 2t^3 - 3t^2 + 1$$

$$h_{10}(t) = t^3 - 2t^2 + t$$

$$h_{01}(t) = -2t^3 + 3t^2$$

$$h_{11}(t) = t^3 - t^2$$

А  $m$  - контрольний тангент:

$$m_i = \frac{p_{i+1} - p_{i-1}}{2}.$$

Оскільки  $t$  належить інтервалу від 0 до 1, для побудови ламаної  $I'$  із рівняння 2 отримують координати точок з кроком  $t$  у  $\frac{1}{k'}$ . Значення  $k'$  встановлюють рівним 50.

При  $\Delta x \rightarrow 0$  відстань між кожними сусідніми парами точок визначають як  $l_i = \sqrt{(x_i - x_{i-1})^2 + (y_i - y_{i-1})^2}$ ,  $1 < i \leq n$ . Першої точки  $(x_{i1}; y_{i1})$  дорівнює 0. Загальну довжину контуру визначають як суму відстаней між усіма сусідніми точками  $L = \sum_{i=1}^n l_i$ .

Для додаткового підвищення щільності точок та вирівнювання відстаней між ними, контур  $I'$  поділяють на  $k$  рівних відрізків, довжина кожного з яких дорівнює  $l_u = \frac{L}{k}$ , і з отриманих  $k+1$

рівновіддаленої точки  $\{x_{u1}; y_{u1}, x_{u2}; y_{u2}, \dots, x_{uk+1}; y_{uk+1}\}$ , будують контур  $U$ , ідентичний  $I'$  - тієї самої довжини  $L$ , із тою самою площею внутрішньої фігури і таким чином, щоб будь-яка точка, що належить  $I'$ , одночасно належала  $U$ .

Далі розраховують координати усіх його точок наступним чином. Кожну точку

$$5 \quad O(x_{uo}; y_{uo}) \in U, \text{ довжина контуру до якої від першої точки дорівнює } \sum_{u=1}^o l_u = \frac{L}{k} \times (O-1),$$

розраховують на прямій, утвореній такими точками контуру  $I'$   $(x_{ia}; y_{ia})$  та  $(x_{ia+1}; y_{ia+1})$ , для

яких виконується нерівність:  $\sum_{i=1}^a l_i \leq \sum_{u=1}^o l_u \leq \sum_{i=1}^{a+1} l_i$  Розглянемо прямокутний трикутник ABC

(Фіг. 1), сторона AB якого є відрізком контуру  $I'$  між точками  $A(x_{ia}; y_{ia})$  та  $B(x_{ia+1}; y_{ia+1})$ ,

відстань між якими дорівнює  $L_{AB} = l_{a+1} - l_a$ , де  $l_a$  та  $l_{a+1}$  - довжина контуру до A і B, відповідно.

10 Нехай нам потрібно побудувати точку  $O \in U$  на цьому відрізку, на відстані

$$L_{AO} = \frac{L}{k} \times (O-1) - l_a \text{ від } A(x_{ia}; y_{ia}). \text{ Згідно з теоремою Фалеса, } \frac{AB}{AO} = \frac{AC}{AD} = \frac{BC}{EC}, \text{ звідки}$$

$$AD = \frac{L_{AO}}{L_{AB}} \times AC = \frac{L_{AO}}{L_{AB}} (x_{ia+1} - x_{ia}), \quad EC = \frac{L_{AO}}{L_{AB}} (y_{ia+1} - y_{ia}) \quad \text{Отже, координати точки } O \text{ будуть}$$

$$x_{uo} = x_{ia} + \frac{L_{AO}}{L_{AB}} (x_{ia+1} - x_{ia}), \quad y_{uo} = y_{ia} + \frac{L_{AO}}{L_{AB}} (y_{ia+1} - y_{ia}).$$

15 Таким способом розраховують координати усіх точок кінцеводіастолічних та кінцевосистолічних контурів із чотирикамерної (4С), трикамерної (3С) та двокамерної (2С) апікальних проекцій. Отримані контури фактично є повздовжніми рівновіддаленими перерізами лівого шлуночка, розташованими під кутом  $60^\circ$  один до одного. Подальшим завданням було відновлення поперечних перерізів шлуночка по всій глибині, починаючи від основи і до верхівки, з урахуванням діаметрів ЛШ у всіх трьох проекціях на кожному рівні.

20 Для побудови висоти  $L$  контурів визначають координати центру основи контурів

$$x_{L1} = \frac{x_{u0} + x_{uk+1}}{2}, \quad y_{L1} = \frac{y_{u0} + y_{uk+1}}{2}. \text{ В результаті висоту } L \text{ визначають як відрізок, що з'єднує}$$

точку  $(x_{L1}; y_{L1})$  із найвищою точкою контуру  $(x_{uMax}; y_{uMax})$ . Далі поділяють висоту на ряд рівних відрізків, наприклад на 20, довжиною  $L/20$ , отримуючи масив точок

$$\{x_{L1}; y_{L1}, x_{L2}; y_{L2}, \dots, x_{L20}; y_{L20}\} \quad (\text{останньою } [x_{L21}; y_{L21}] = [x_{uMax}; y_{uMax}], \text{ розташованою в}$$

25 найвищій точці контуру, нехтують) і проводять у кожній з них перпендикуляр  $P_1, P_2, \dots, P_{20}$ . Вони є діаметрами дисків у даній проекції на всіх 20-ти рівнях. Для розрахунку їх довжини необхідно отримати дві точки перетину із контуром  $U$ .

$$\text{Нехай висота } L \text{ нахилена до горизонталі під кутом } \alpha. \text{ В такому разі } tg(\alpha) = \frac{y_{uMax} - y_{L1}}{x_{L1} - x_{uMax}}, \text{ і,}$$

відповідно, кожен перпендикуляр  $P_i$  нахилений до горизонталі під кутом  $\beta = 90^\circ - \alpha$ . Таким

30 чином, кожен перпендикуляр  $P_i$  буде описувати лінійна функція  $y = tg(\beta)x + b$ , де коефіцієнт  $b$  отримується окремо для кожного  $P_i$  як  $b_i = y_{Li} - tg(\beta)x_{Li}$ .

Точкою перетину кожною  $P_i$  із контуром  $U$  буде така точка  $(x_{ua}; y_{ua}) \in U$ , при якій відстань

$$\Delta y = (y_{Lx} - y_{ua}) \rightarrow 0, \quad \Delta y \geq 0, \quad y_{Lx} = tg(\beta)x_{ua} + b. \text{ Для лівої точки перетину } (x_{i\_sin}; y_{i\_sin})$$

контуру пошук починають від початку масиву точок контуру  $U$ , для правої  $(x_{i\_dex}; y_{i\_dex})$  - від

35 кінця. Таким чином, діаметр диска на кожному зрізі  $P_i$  буде визначатись як:

$$P_i = \sqrt{(x_{i\_dex} - x_{i\_sin})^2 + (y_{i\_dex} - y_{i\_sin})^2} \quad (3)$$

В такий спосіб розраховують всі 20 діаметрів на кожному кінцеводіастолічному та кінцевосистолічному контурі ЛШ у проекціях 2С, 3С і 4С - загалом 120 діаметрів дисків.

Трансмуральний переріз ЛШ на будь-якій глибині представляють як на Фіг. 2. Відрізки AD, BH та CF відповідають довжині діаметра ЛШ Р, у проєкціях 4С, 3С і 2С на даному зрізі, що отримуються із відповідних контурів шлуночка. При ньому відрізок AD відповідає найбільшому з них діаметрів, а BE - наступному за годинниковою стрілкою і CF - останньому.

5 Вводять радіуси ЛШ у трьох проєкціях:  $u = \frac{AD}{2}$ ,  $v = \frac{BE}{2}$ ,  $w = \frac{CF}{2}$ .

Вибирають таку систему декартових координат із початком у точці перетину відрізків, в якій відрізок  $u$  буде лежати на осі абсцис. Враховуючи,  $\cos 60^\circ = \frac{1}{2}$ ,  $\sin 60^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2}$ , координати точок будуть наступні:

10 
$$A[x_0 = -u; y_0 = 0]; B\left[x_1 = -\frac{v}{2}; y_1 = \frac{\sqrt{3}v}{2}\right]; C\left[x_2 = \frac{w}{2}; y_2 = \frac{\sqrt{3}v}{2}\right]$$
  

$$D[x_3 = -u; y_3 = 0]; E\left[x_4 = \frac{v}{2}; y_4 = -\frac{\sqrt{3}v}{2}\right]; F\left[x_5 = \frac{w}{2}; y_5 = -\frac{\sqrt{3}v}{2}\right]. \quad (4)$$

На інтервалі  $AB[x_0; x_1]$  побудують еліпс, що проходить через точки А і В. Більший його діаметр  $a = u$ , другий діаметр  $b_1$  отримують із рівняння радіуса еліпса в певній точці:

$$v = \frac{ab_1}{\sqrt{b_1^2 \cos^2 60^\circ + a^2 \sin^2 60^\circ}} = \frac{2ab_1}{\sqrt{b_1^2 + 3a^2}}. \quad (5)$$

Звідси отримують  $b_1 = av \sqrt{\frac{3}{4a^2 - v^2}}$ . - Дугу  $\overset{\smile}{AB}$  буде описувати канонічне рівняння еліпса

15 
$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b_1^2} = 1 \Rightarrow y = \pm b_1 \sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2}}$$
 Оскільки  $\overset{\smile}{AB}$  розташована вище осі абсцис, то рівняння набуде вигляду

$$y = b_1 \sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2}}. \quad (6)$$

За цим рівнянням будують дугу на відрізку  $AB[x_0; x_1]$ . Аналогічно отримують менший радіус еліпса  $b_2$ , що проходить через точки С і D:  $b_2 = aw \sqrt{\frac{3}{4a^2 - w^2}}$  (більший так само буде

20 дорівнювати  $a = u$ ). Дугу  $\overset{\smile}{CD}[x_2; x_3]$  так само описують дугою еліпса

$$y = b_2 \sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2}}. \quad (7)$$

Оскільки дуга  $\overset{\smile}{DE}[x_3; x_4]$  розташована нижче осі абсцис, то вона буде описуватися рівнянням  $y = -b_1 \sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2}}$ . Так само дугу  $\overset{\smile}{FA}[x_5; x_0]$  описують як  $y = -b_2 \sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2}}$ .

Розглянемо відрізок  $BC[x_1; x_2]$ . Точка В належить еліпсу, що описується рівнянням

25 
$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b_1^2} = 1.$$
 Точка С належить іншому еліпсу, що описується рівнянням  $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b_2^2} = 1$ . Таким чином, на даному відрізку потрібно побудувати функцію, що поступово і полого з'єднає точки В і С. Дане завдання виконують, об'єднавши обидва рівняння, ввівши додатковий коефіцієнт  $k \in [0; 1]$ :

$$y = \left( b_1 \sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2}} \right) (1 - k) + \left( b_2 \sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2}} \right) k. \quad (8)$$

Як коефіцієнт  $k$  використовують функції  $\sin$  та  $\cos$  на інтервалі  $\left[0; \frac{\pi}{2}\right]$ . Враховуючи тригонометричну тотожність  $\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1$ , отримують:

$$y = \left( b_1 \sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2}} \right) \cos^2 t \frac{\pi}{2} + \left( b_2 \sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2}} \right) \sin^2 t \frac{\pi}{2} \quad (9)$$

- 5 Де  $t = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} \in [0; 1]$ . Після спрощення отримують рівняння, що описує сегмент  $\overset{\cup}{BC}$  контуру ЛШ:

$$y = \left( b_1 \cos^2 t \frac{\pi}{2} + b_2 \sin^2 t \frac{\pi}{2} \right) \sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2}} \quad (10)$$

- Для відрізка EF отримують аналогічне рівняння. Враховуючи, що він розташований нижче  
10 ізолінії, він буде описуватися як:  $y = - \left( b_1 \cos^2 t \frac{\pi}{2} + b_2 \sin^2 t \frac{\pi}{2} \right) \sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2}}$ .

При вивченні функцій, що описують попарно відрізки AB і DE, BC і EF та CD і FA видно, що вони симетричні відносно осі абсцис. Отже, загальну площу утвореного перетину можна визначити, проінтегрувавши рівняння (6), (7) і (10):

$$S = 2 \left( \int_{-u}^{\frac{v}{2}} b_1 \sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2}} dx + \int_{-\frac{v}{2}}^{\frac{w}{2}} \left( b_1 \cos^2 t \frac{\pi}{2} + b_2 \sin^2 t \frac{\pi}{2} \right) \sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2}} dx + \int_{\frac{w}{2}}^u b_2 \sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2}} dx \right). \quad (11)$$

- 15 Важливою особливістю отриманого рівняння є те, що при рівності діаметрів  $b_1$  і  $b_2$  воно зводиться до вигляду  $S = \pi ab$ , тобто, до площі еліпса, як і у формулі-аналогі.

Перепишуть формулу розрахунку площі перетину у наступному вигляді:

$$S = \frac{2}{a} \left( \int_{-u}^{\frac{v}{2}} b_1 \sqrt{a^2 - x^2} dx + \int_{-\frac{v}{2}}^{\frac{w}{2}} \left( b_1 \cos^2 t \frac{\pi}{2} + b_2 \sin^2 t \frac{\pi}{2} \right) \sqrt{a^2 - x^2} dx + \int_{\frac{w}{2}}^u b_2 \sqrt{a^2 - x^2} dx \right) \quad (12)$$

Вводять заміну:

20  $I = \int_{-\frac{v}{2}}^{\frac{w}{2}} \left( b_1 \cos^2 t \frac{\pi}{2} + b_2 \sin^2 t \frac{\pi}{2} \right) \sqrt{a^2 - x^2} dx \quad (13)$

Інтеграл  $I$  не виражається в елементарних функціях. Отже, вдаються до наближеного методу обрахунку, найточнішим з яких є метод Сімпсона (метод парабол). Перепишуть підінтегральну частину  $I$ , замінивши  $x$  на  $t$ :

$$t = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} \Rightarrow x = t(x_2 - x_1) + x_1$$

$$\left( b_1 \cos^2 t \frac{\pi}{2} + b_2 \sin^2 t \frac{\pi}{2} \right) \sqrt{a^2 - x^2} = \left( b_1 \cos^2 t \frac{\pi}{2} + b_2 \sin^2 t \frac{\pi}{2} \right) \sqrt{a^2 - (tx_2 + x_1(1-t))^2} \quad (14)$$

25

Формула Сімпсона виглядає наступним мимом:

$$\int_{x_1}^{x_2} f(t) dt \approx \frac{h}{3} [f(t_0) + f(t_{2n}) + 2(f(t_2) + f(t_4) + \dots + f(t_{2n-2})) + 4(f(t_1) + f(t_3) + \dots + f(t_{2n-1}))] \quad (15)$$

де: -  $2n$  - кількість відрізків, на які поділено графік функції в інтервалі  $[x_1; x_2]$  (2 означає, що їх кількість має бути парною);

-  $h$  - крок, що дорівнює  $h = \frac{x_2 - x_1}{2n}$ .

5 Перепишуть формулу Сімпсона зручним для використання способом:

$$I = \int_{x_1}^{x_2} f(t) dt \approx \frac{h}{3} \left[ f(t_0) + f(t_{2n}) + 2 \sum_{i=1}^{2n/2-1} f(t_{2i}) + 4 \sum_{i=1}^{2n/2} f(t_{2i-1}) \right]. \quad (16)$$

Визначають  $f(t_0) + f(t_{2n})$ .

$$f(t_0) + f(t_{2n}) = b_1 \sqrt{a^2 - x_1^2} + b_2 \sqrt{a^2 - x_2^2}. \quad (17)$$

Визначають першу суму рівняння (16):

$$\begin{aligned} 10 \quad 2 \sum_{i=1}^{2n/2-1} f(t_{2i}) &= 2 \sum_{i=1}^{2n/2-1} \left( b_1 \cos^2 \frac{2i\pi}{2 \times 2n} + b_2 \sin^2 \frac{2i\pi}{2 \times 2n} \right) \sqrt{a^2 - \left( \frac{2i(x_2 - x_1)}{2n} + x_1 \right)^2} = \\ &= 2 \sum_{i=1}^{2n/2-1} \left( b_1 \cos^2 \frac{i\pi}{2n} + b_2 \sin^2 \frac{i\pi}{2n} \right) \sqrt{a^2 - (2ih + x_1)^2}. \quad (18) \end{aligned}$$

Аналогічно обраховують другу суму рівняння:

$$4 \sum_{i=1}^{2n/2} f(t_{2i-1}) = 4 \sum_{i=1}^{2n/2} \left( b_1 \cos^2 \frac{(2i-1)\pi}{2 \times 2n} + b_2 \sin^2 \frac{(2i-1)\pi}{2 \times 2n} \right) \sqrt{a^2 - ((2i-1)h + x_1)^2}. \quad (19)$$

Склавши багаточлени (17), (18), (19) і підставивши їх у рівняння (16) отримують:

$$15 \quad I \approx \frac{h}{3} \left[ b_1 \sqrt{a^2 - x_1^2} + b_2 \sqrt{a^2 - x_2^2} + 2 \sum_{i=1}^{2n/2-1} \left( b_1 \cos^2 \frac{i\pi}{2n} + b_2 \sin^2 \frac{i\pi}{2n} \right) \sqrt{a^2 - (2ih + x_1)^2} + 4 \sum_{i=1}^{2n/2} \left( b_1 \cos^2 \frac{(2i-1)\pi}{2 \times 2n} + b_2 \sin^2 \frac{(2i-1)\pi}{2 \times 2n} \right) \sqrt{a^2 - ((2i-1)h + x_1)^2} \right]. \quad (20)$$

Підставляють  $x_1 = -\frac{v}{2}$ ,  $x_2 = -\frac{w}{2}$ :

$$I \approx \frac{h}{3} \left[ b_1 \sqrt{a^2 - \frac{v^2}{4}} + b_2 \sqrt{a^2 - \frac{w^2}{4}} + 2 \sum_{i=1}^{2n/2-1} \left( b_1 \cos^2 \frac{i\pi}{2n} + b_2 \sin^2 \frac{i\pi}{2n} \right) \sqrt{a^2 - \left( 2ih - \frac{v}{2} \right)^2} + 4 \sum_{i=1}^{2n/2} \left( b_1 \cos^2 \frac{(2i-1)\pi}{2 \times 2n} + b_2 \sin^2 \frac{(2i-1)\pi}{2 \times 2n} \right) \sqrt{a^2 - \left( (2i-1)h - \frac{v}{2} \right)^2} \right]. \quad (21)$$

Отримана формула є наближенням розрахунком інтегралу  $I$ , однак, підставивши достатньо велике значення  $2n$ , обчислення можна зробити яким завгодно точним. При цьому кількість обчислень буде зростати лінійно. Зазвичай графік розбивається на  $2n=20$  фрагментів-парабол.

Після обрахунку  $I$  рівняння (12) площі перетину буде виглядати наступним чином:



$$\begin{aligned}
 S &= \frac{2}{a} \left( \int_{-u}^{\frac{v}{2}} b_1 \sqrt{a^2 - x^2} dx + \int_{\frac{w}{2}}^u b_2 \sqrt{a^2 - x^2} dx + I \right) = \\
 &= \frac{2}{a} \left( \frac{b_1}{2} \left[ x \sqrt{a^2 - x^2} + a^2 \arcsin \frac{x}{a} \right]_{-u}^{\frac{v}{2}} + \frac{b_2}{2} \left[ x \sqrt{a^2 - x^2} + a^2 \arcsin \frac{x}{a} \right]_{\frac{w}{2}}^u + I \right) = (22) \\
 &= \frac{2}{a} \left( \frac{b_1}{2} \left( -\frac{v}{2} \sqrt{a^2 - \frac{v^2}{4}} - a^2 \arcsin \frac{v}{2a} + u \sqrt{a^2 - u^2} + a^2 \arcsin \frac{u}{a} \right) \right. \\
 &\quad \left. + \frac{b_2}{2} \left( u \sqrt{a^2 - u^2} + a^2 \arcsin \frac{u}{a} - \frac{w}{2} \sqrt{a^2 - \frac{w^2}{4}} - a^2 \arcsin \frac{w}{2a} \right) + I \right)
 \end{aligned}$$

Враховуючи, що  $u = a$ ,  $\arcsin 1 = \frac{\pi}{2}$ , то:

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{1}{a} \left( -\frac{b_1 v}{2} \sqrt{a^2 - \frac{v^2}{4}} - b_1 a^2 \arcsin \frac{v}{2a} + b_1 a^2 \arcsin 1 \right. \\
 &\quad \left. + b_2 a^2 \arcsin 1 - b_2 \frac{w}{2} \sqrt{a^2 - \frac{w^2}{4}} - b_2 a^2 \arcsin \frac{w}{2a} + 2I \right) = \\
 &= \frac{\frac{\pi}{2} a^2 (b_1 + b_2) - b_1 \left( \frac{v}{2} \sqrt{a^2 - \frac{v^2}{4}} + a^2 \arcsin \frac{v}{2a} \right) - b_2 \left( \frac{w}{2} \sqrt{a^2 - \frac{w^2}{4}} + a^2 \arcsin \frac{w}{2a} \right) + 2I}{a}
 \end{aligned}$$

(23)

5 Таким чином, підставивши значення  $I$  з рівняння (21), отримують:

$$\begin{aligned}
 aS &= \frac{\pi}{2} a^2 (b_1 + b_2) - b_1 \left( \frac{v}{2} \sqrt{a^2 - \frac{v^2}{4}} + a^2 \arcsin \frac{v}{2a} \right) - b_2 \left( \frac{w}{2} \sqrt{a^2 - \frac{w^2}{4}} + a^2 \arcsin \frac{w}{2a} \right) + \\
 &+ \frac{2h}{3} b_1 \sqrt{a^2 - \frac{v^2}{4}} + \frac{2h}{3} b_2 \sqrt{a^2 - \frac{w^2}{4}} + \frac{4h}{3} \sum_{i=1}^{2n-1} \left( b_1 \cos^2 \frac{i\pi}{2n} + b_2 \sin^2 \frac{i\pi}{2n} \right) \sqrt{a^2 - \left( 2ih - \frac{v}{2} \right)^2} + \\
 &+ \frac{8h}{3} \sum_{i=1}^{2n/2} \left( b_1 \cos^2 \frac{(2i-1)\pi}{2 \times 2n} + b_2 \sin^2 \frac{(2i-1)\pi}{2 \times 2n} \right) \sqrt{a^2 - \left( (2i-1)h - \frac{v}{2} \right)^2}
 \end{aligned}$$

(24)

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{1}{a} \left( \pi a^2 \frac{b_1 + b_2}{2} - \right. \\
 &\quad b_1 \left( a^2 \arcsin \frac{v}{2a} + \frac{3v - 4h}{6} \sqrt{a^2 - \frac{v^2}{4}} \right) - b_2 \left( a^2 \arcsin \frac{w}{2a} + \frac{3w - 4h}{6} \sqrt{a^2 - \frac{w^2}{4}} \right) \\
 &\quad + \frac{4h}{3} \sum_{i=1}^{2n-1} \left( b_1 \cos^2 \frac{i\pi}{2n} + b_2 \sin^2 \frac{i\pi}{2n} \right) \sqrt{a^2 - \left( 2ih - \frac{v}{2} \right)^2} + \\
 &\quad \left. \frac{8h}{3} \sum_{i=1}^{2n/2} \left( b_1 \cos^2 \frac{(2i-1)\pi}{2 \times 2n} + b_2 \sin^2 \frac{(2i-1)\pi}{2 \times 2n} \right) \sqrt{a^2 - \left( (2i-1)h - \frac{v}{2} \right)^2} \right)
 \end{aligned}$$

Таким чином, взявши значення  $2n=20$ , площа трансмурального перетину ЛШ буде визначатися за формулою:

10

$$S = \pi a \frac{b_1 + b_2}{2} - \frac{1}{a} \left( b_1 \left( a^2 \arcsin \frac{v}{2a} + \frac{3v - 4h}{6} \sqrt{a^2 - \frac{v^2}{4}} \right) - b_2 \left( a^2 \arcsin \frac{w}{2a} + \frac{3w - 4h}{6} \sqrt{a^2 - \frac{w^2}{4}} \right) - \frac{4h}{3} \sum_{i=1}^6 \left( b_1 \cos^2 \frac{i\pi}{20} + b_2 \sin^2 \frac{i\pi}{20} \right) \sqrt{a^2 - \left( 2ih - \frac{v}{2} \right)^2} - \frac{8h}{3} \sum_{i=1}^{10} \left( b_1 \cos^2 \frac{(2i-1)\pi}{40} + b_2 \sin^2 \frac{(2i-1)\pi}{40} \right) \sqrt{a^2 - \left( (2i-1)h - \frac{v}{2} \right)^2} \right)$$

(25)

Інші етапи розрахунку не відрізняються від методу-аналогу. Об'єм при цьому визначають за формулою  $V = \sum_{i=1}^{20} S_i \times \frac{L}{20}$ , де  $S_i$  - площа ЛШ на кожному з 20 трансмуральних перетинів,

- 5 обчислена з формули (25),  $L$  - висота ЛШ. У випадку, коли висота у трьох проекціях відрізняється, вибирається найбільше значення.

Таким чином розраховують кінцеводіастолічний  $KDO_{mrun}$  та кінцевосистолічний  $KCO_{mrun}$ , об'єми ЛШ. Із отриманих значень розраховують фракцію викиду:

$$\Phi B = \frac{KDO_{mrun} - KCO_{mrun}}{KDO_{mrun}} \times 100\%$$

- 10 де: -  $KDO_{mrun}$  - кінцеводіастолічний об'єм, розрахований із контурів чотирикамерної, трикамерної та двокамерної апікальних проекцій;

-  $KCO_{mrun}$  - кінцевосистолічний об'єм, розрахований із контурів чотирикамерної, трикамерної та двокамерної апікальних проекцій.

- 15 Всі вказані операції можна запрограмувати в програмному забезпеченні ультразвукового обладнання, що реалізує метод картування деформації або на персональному комп'ютері.

- Спосіб виконують наступним чином. В положенні хворого на лівому боці проводять картування деформації методом "2D speckle tracking". Дослідження проводять на апараті Aplio Toshiba, фазованим датчиком 2,8-4,4 МГц, в оболонці Wall Motion Tracking. Заздалегідь збережені кінопетлі серцевого скорочення в трьох стандартних апікальних проекціях  
20 завантажують в програму Wall Motion Tracking і на них, згідно з звичайною послідовністю дій, обводять зовнішній та внутрішній контур ЛШ. Згідно з наведеними вище обрахунками, визначають кінцеводіастолічний  $KDO_{mrun}$  та кінцевосистолічний  $KCO_{mrun}$  об'єми ЛШ і розраховують за ними ФВ за формулою (1).

- 25 Приклад. У пацієнтки Ш., історія хвороби № 5250 з гіпертрофічною кардіоміопатією та асиметричною гіпертрофією верхівки ЛШ виконали ехокардіографічне дослідження із картуванням деформації методом "speckle tracking" на ультразвуковому сканері Aplio Toshiba, фазованим датчиком 2,8-4,4 МГц, в оболонці Wall Motion Tracking.

Кінцеводіастолічний об'єм  $KDO_{mrun}$  становив 41 мл, кінцевосистолічний  $KCO_{mrun}$  - 7 мл. Таким чином, фракція викиду лівого шлуночка виявилася рівною

- 30  $\Phi B = \frac{41 - 7}{41} \times 100\% = 83\%$ ,

що було підтверджено подальшими дослідженнями.

- Запропонований спосіб застосовано у 10 хворих. За результатами досліджень згідно з значеннями фракції викиду ЛШ встановлено нормальне значення ФВ у 5 осіб та відхилення від  
35 норми у 5 осіб, що підтвердилося при подальшому клінічному спостереженні. В той же час, при визначенні фракції викиду ЛШ у 10 хворих за способом-аналогом, в двох випадках діагностика була помилковою, що виявилось при подальшому дослідженні.

Таким чином, порівняння з аналогом показує, що застосування запропонованого способу дозволяє підвищити точність визначення фракції викиду ЛШ.

# ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Спосіб визначення фракції викиду лівого шлуночка, який включає ультразвукове дослідження серця, вимірювання кінцеводіастолічного та кінцевосистолічного об'єму лівого шлуночка модифікованим методом Сімпсона, розрахунок фракції викиду як співвідношення різниці кінцеводіастолічного та кінцевосистолічного об'ємів до кінцеводіастолічного об'єму, який відрізняється тим, що ультразвукове дослідження серця виконують із картуванням деформації методом "2D speckle tracking", обводять внутрішній кінцеводіастолічний та кінцевосистолічний контури лівого шлуночка у трьох стандартних апікальних проекціях, згладжують методом "Catmull-Rom" і формують із них три пари множин із ряду рівновіддалених точок, що утворюють такі контури, при яких кожна точка, що належить початковому контуру, одночасно належала би відповідному кінцевому контуру, розподіляють контури на ряд горизонтальних зрізів - дисків рівної висоти, визначаючи площу кожного диска із урахуванням діаметрів цього диска у контурах від кожної із трьох апікальних проекцій, визначають кінцеводіастолічний об'єм як суму площ дисків, обчислених із кінцеводіастолічних контурів, помножену на висоту кінцеводіастолічних контурів, визначають кінцевосистолічний об'єм як суму площ дисків, обчислених із кінцевосистолічних контурів, помножених на висоту кінцевосистолічних контурів та обчислюють фракцію викиду ФВ за формулою:

$$\text{ФВ} = \frac{\text{КДО}_{\text{трип}} - \text{КСО}_{\text{трип}}}{\text{КДО}_{\text{трип}}} \times 100 \%, (1)$$

де: -  $\text{КДО}_{\text{трип}}$  - кінцеводіастолічний об'єм, розрахований із контурів чотирикамерної, трикамерної та двокамерної апікальних проекцій;

$\text{КСО}_{\text{трип}}$  - кінцевосистолічний об'єм, розрахований із контурів чотирикамерної, трикамерної та двокамерної апікальних проекцій.

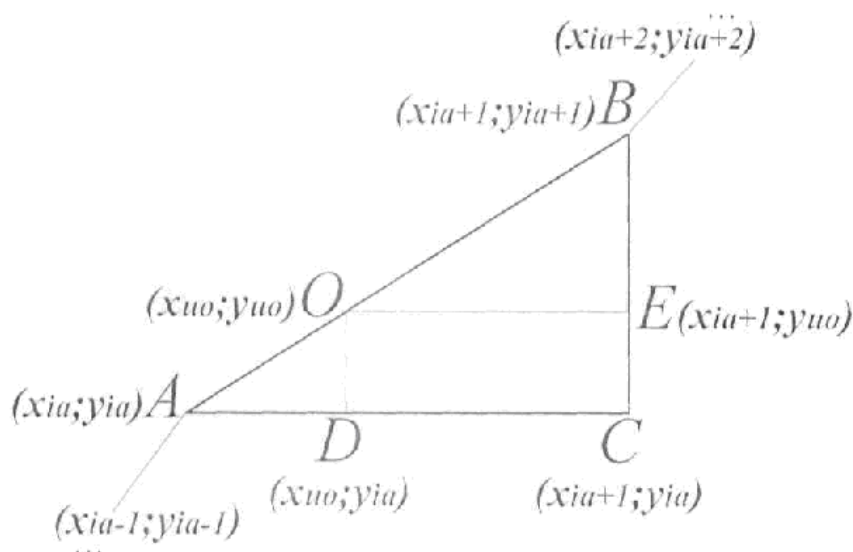


Fig. 1

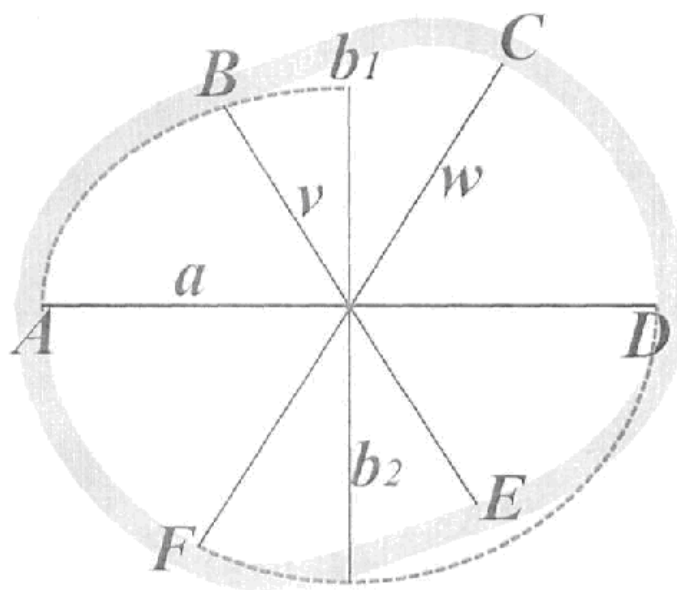


Fig. 2

---

Комп'ютерна верстка О. Рябко

---

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Василя Липківського, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

---

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601