



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **114123** (13) **U**
(51) МПК (2016.01)
A61B 8/00
A61B 8/02 (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2016 09915	(72) Винахідник(и): Кости́єв Михайло Володимирович (UA), Матя́шук Андрій Сергі́йович (UA)
(22) Дата подання заявки: 27.09.2016	
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 27.02.2017	(73) Власник(и): НАЦІОНАЛЬНИЙ ІНСТИТУТ ХІРУРГІЇ ТА ТРАНСПЛАНТОЛОГІЇ ІМЕНІ О.О. ШАЛІМОВА НАМН УКРАЇНИ, вул. Героїв Севастополя, 30, м. Київ, 03680 (UA)
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 27.02.2017, Бюл.№ 4	

(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ІНДЕКСУ ВІДНОСНОЇ ТОВЩИНИ ЛІВОГО ШЛУНОЧКА

(57) Реферат:

Спосіб визначення індексу відносної товщини лівого шлуночка, який включає ультразвукове дослідження серця, вимірювання товщини стінки та кінцеводіастолічного діаметра лівого шлуночка та розрахунок індексу відносної товщини, згідно з корисною моделлю, ультразвукове дослідження серця виконують із картуванням деформації методом "2D speckle tracking", визначають середню товщину стінки як середньоарифметичне із ряду рівновіддалених вимірів товщини стінки за трьома стандартними апікальними проекціями, визначають середній кінцеводіастолічний діаметр у парастернальній проекції за короткою віссю на рівні папілярних м'язів як середнє значення діаметра внутрішнього контуру лівого шлуночка у даній проекції і розраховують індекс відносної товщини IBT за співвідношенням

$$IBT = \frac{2T}{КДР},$$

де: Т - середня товщина стінки лівого шлуночка;

КДР - середній кінцеводіастолічний діаметр.

UA 114123 U

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

Найближчим аналогом є спосіб визначення індексу відносної товщини ЛШ, який включає ультразвукове дослідження серця, вимірювання товщини задньої стінки ЛШ та кінцеводіастолічного діаметра ЛШ у М- або В-режимі в парастернальній позиції за короткою віссю та розрахунок індексу відносної товщини ЛШ за формулою:

$$IBT = \frac{2 \times 3СЛШ}{КДД},$$

де: 3СЛШ - кінцеводіастолічна товщина задньої стінки лівого шлуночка;

КДД - кінцеводіастолічний діаметр лівого шлуночка.

[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. 1440-1463].

Недоліком аналога є недостатня точність діагностики, так як індекс відносної товщини лівого шлуночка розраховується лише із товщини задньої стінки ЛШ, тоді як товщина інших стінок може бути іншою, а також визначається кінцеводіастолічний діаметр лише в одній проекції, тоді як в інших проекціях діаметр ЛШ може відрізнятись.

В основу корисної моделі поставлена задача визначення індексу відносної товщини ЛШ, який за рахунок вимірювання середньої товщини стінки ЛШ у трьох апікальних проекціях та визначенні середнього кінцеводіастолічного розміру ЛШ у парастернальній проекції за короткою віссю на рівні папілярних м'язів забезпечував би підвищення точності виміру.

Поставлена задача вирішується тим, що у спосіб визначення індексу відносної товщини лівого шлуночка, який включає ультразвукове дослідження серця, вимірювання товщини стінки та кінцеводіастолічного діаметра лівого шлуночка та розрахунок індексу відносної товщини, згідно з корисною моделлю, ультразвукове дослідження серця виконують із картуванням деформації методом "2D speckle tracking", визначають середню товщину стінки як середньоарифметичне із ряду рівновіддалених вимірів товщини стінки за трьома стандартними апікальними проекціями, визначають середній кінцеводіастолічний діаметр у парастернальній проекції за короткою віссю на рівні папілярних м'язів як середнє значення діаметра внутрішнього контуру лівого шлуночка у даній проекції і розраховують індекс відносної товщини IBT за співвідношенням:

$$IBT = \frac{2T}{КДР}, (1)$$

де: Т - середня товщина стінки лівого шлуночка;

КДР - середній кінцеводіастолічний діаметр.

Виконання ультразвукового дослідження серця із картуванням деформації методом "2D speckle tracking", визначення середньої товщини стінки як середньоарифметичного із ряду рівновіддалених вимірів товщини стінки за трьома стандартними апікальними проекціями, визначення середнього кінцеводіастолічного діаметра у парастернальній проекції за короткою віссю на рівні папілярних м'язів як середнього значення діаметра внутрішнього контуру лівого шлуночка у даній проекції і обчислення індексу відносної товщини IBT за співвідношенням (1) дозволяє підвищити точність діагностики, оскільки середні значення товщини стінки лівого шлуночка виміряні в багатьох точках у трьох проекціях та на різних рівнях, а також оскільки вимір кінцеводіастолічного діаметра виконується не в одній площині, а по всьому трансмуральному перерізу ЛШ на рівні папілярних м'язів.

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

Спочатку визначають середню товщину стінки Т. Після обведення контуру ЛШ в апікальній проекції (чотирикамерній, трикамерній або двокамерній) отримують 2 масиви координат: зовнішнього контуру $I = \{x_{i1}; y_{i1}, x_{i2}; y_{i2}, x_{in}; y_{in}\}$, $n \geq 3$ та внутрішнього $J = \{x_{j1}; y_{j1}, x_{j2}; y_{j2}, x_{jm}; y_{jm}\}$, $m \geq 3$; $n, m \in \mathbb{Z}$. Розглядають зовнішній контур. Оскільки він утворений 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, сусідні 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:

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

де $h_{00}, h_{10}, h_{01}, h_{11}$ - 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 ламаних I' та J' 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

$$l_i = \sqrt{(x_i - x_{i-1})^2 + (y_i - y_{i-1})^2}, \quad 1 \leq i \leq n. \quad l_1 \text{ першої точки } (x_1; y_1) \text{ дорівнює } 0. \text{ Загальну довжину}$$

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 $\{x_{u1}; y_{u1}, x_{u2}; y_{u2}, x_{u,k+1}; y_{u,k+1}\}$ 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

$O(x_{uo}; y_{uo}) \in U$, 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 , 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. Нехай нам

потрібно побудувати точку $O \in U$ на цьому відрізку, на відстані $L_{AO} = \frac{L}{k} \times (o-1) - l_a$, від

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

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

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

Таким способом розраховують координати усіх точок контуру U , а також масив із $k+1$ точки внутрішнього контуру $V = \{x_{v1}; y_{v1}, x_{v2}; y_{v2}, x_{vk+1}; y_{vk+1}\}$. В результаті отримують зовнішній та внутрішній контури U та V , побудовані із рівної кількості рівновіддалених точок.

Товщину стінки ЛШ на певному відрізку визначають як найменшу відстань між внутрішнім V та зовнішнім U контуром. Відстань s_{ab} між будь-якими двома точками $A(x_{va}; y_{va}) \in V$ та $B(x_{ub}; y_{ub}) \in U$ розраховують як $s_{ab} = \sqrt{(x_{va} - x_{ub})^2 + (y_{va} - y_{ub})^2}$. Таким чином, якщо створити підмножину $s_{va} = \{s_{va1}, s_{va2}, \dots, s_{vak+1}\}$, що складається із відстаней від точки $A(x_{va}; y_{va}) \in V$ до кожної точки контуру U , товщину стінки будуть визначати як $t_a = \min s_{va}$ (тобто, як відстань до найближчої точки). Отже, середню товщину стінки t визначають як середньоарифметичне мінімальних відстаней до зовнішнього контуру від кожної точки внутрішнього контуру:

$$t = \frac{\sum_{i=1}^{k+1} \min s_{vi}}{k+1}, \text{ або } t = \overline{\min s_v} . \quad (3)$$

Використовуючи формулу 3, остаточний показник середньої товщини стінки T визначають як середньоарифметичне від t , обрахованої у трьох стандартних апікальних проєкціях:

$$T = \frac{1}{3} (\overline{\min s_{v4c}} + \overline{\min s_{v3c}} + \overline{\min s_{v2c}}) , \quad (4)$$

де $\overline{\min s_{v4c}}$, $\overline{\min s_{v3c}}$, $\overline{\min s_{v2c}}$ середньоарифметичне мінімальних відстаней до зовнішнього контуру від кожної точки внутрішнього контуру, розраховані у чотирикамерній, трикамерній та двокамерній апікальних проєкціях, відповідно.

Наступним етапом визначають середній кінцеводіастиольний діаметр ЛШ. У середовище "2D speckle tracking" завантажують кінопетлю із парастернальної проєкції за короткою віссю на рівні папілярних м'язів і обводять внутрішній контур ЛШ. В результаті отримується масив координат зовнішнього контуру $I = \{x_{i1}; y_{i1}, x_{i2}; y_{i2}, \dots, x_{in}; y_{in}\} \quad n \geq 3 \quad n \in \mathbb{Z}$. Оскільки цей контур створений користувачем, то щільність точок і їх взаємне розташування може бути будь-яким. Отже, спочатку роблять контур замкненим, згладжують, підвищують щільність точок, та роблять їх рівновіддаленими.

Для того, щоб контур став замкненим, в його кінець додають ще одну точку і координатами першої. Далі виконують згладжування, підвищення щільності точок та розташування точок на рівній відстані одна від одної описаним вище способом, в результаті чого отримують контур U . Після цього визначають координати центра мас M контуру U . Центр мас системи матеріальних точок \bar{r}_c визначається як

$$\bar{r}_c = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{r}_i m_i}{\sum_{i=1}^n m_i} ,$$

де: - m_i - маси точок;

- \bar{r}_i - їх радіус-вектори, що задають положення від початку координат.

Оскільки передбачається, що маси точок однакові, то, як впливає із формули (5), центр мас буде співпадати із середньоарифметичним всіх радіус-векторів:

$$\bar{r}_c = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{r}_i}{n} . \quad (6)$$

Таким чином, центром мас визначають точку $M(\bar{x}; \bar{y})$. Далі описують таке коло із центром у точці M і радіусом R , щоб сума зміщень l_i всіх n точок контуру U від початкового положення до поверхні кола у напрямку від або до точки $M(\bar{x}; \bar{y})$, дорівнювала нулю:

$$\sum_{i=1}^n l_i = 0 \quad (7).$$

Кожне зміщення на одну одиницю розглядають як одиницю площі. Отже, при нульовому сумарному зміщенні площа утвореного кола буде дорівнювати площі вихідного контуру U . Відстань від кожної точки контуру до центру M визначають як:

$$s_i = \sqrt{(x_i - \bar{x})^2 + (y_i - \bar{y})^2} \quad (8)$$

Зміщення l_i - кожної точки до поверхні кола від початкового положення s_i записують рівнянням:

$$R = s_i - l_i = \text{const} \quad (9)$$

Таким чином, отримують:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n s_i - l_i}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n s_i}{n} - \frac{\sum_{i=1}^n l_i}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n s_i}{n} - 0 = \bar{s} \quad (10)$$

Тобто, радіус такого кола дорівнює середньоарифметичному відстаней від всіх точок контуру до його центру мас. Відповідно, середній діаметр $KDP = 2\bar{s}$. Отже, зважаючи на рівняння (8), середній кінцеводіастолічний діаметр ЛШ визначають як:

$$KDP = \frac{2}{n} \sum_{i=1}^n \sqrt{(x_i - \bar{x})^2 + (y_i - \bar{y})^2} \quad (11)$$

де: - x_i - абсциси точок внутрішнього контуру лівого шлуночка;

- y_i - ординати точок внутрішнього контуру лівого шлуночка;

- \bar{x} - координата центру мас контуру за віссю X;

- \bar{y} - координата центру мас контуру за віссю Y;

- n - кількість точок контуру.

Використовуючи отримані значення середньої товщини стінки з рівняння (4) та середнього кінцеводіастолічного діаметра із формули (11), обраховують індекс відносної товщини стінки:

$$IBT = \frac{2T}{KDP} \quad (1)$$

де: T - середня товщина стінки лівого шлуночка;

KDP - середній кінцеводіастолічний діаметр.

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 Арію Toshiba, фазованим датчиком 2,8-4,4 МГц, в оболонці Wall Motion Tracking. Заздалегідь збережені кінопетлі серцевого скорочення в трьох стандартних апікальних проекціях та в парастернальній проекції за короткою віссю на рівні папілярних м'язів завантажують в програму Wall Motion Tracking і на них, згідно зі звичайною послідовністю дій, обводять контури ЛШ. Із апікальних контурів за формулою (4) розраховують середню товщину стінки, із парастернального за співвідношенням (11) визначають середній кінцеводіастолічний діаметр.

Далі, із отриманих вимірів, розраховують індекс відносної товщини лівого шлуночка IBT за формулою (1).

Приклад. У пацієнта Б., історія хвороби № 2953 з ішемічною кардіоміопатією, аневризмою верхівки ЛШ та витонченням стінки в області рубця до 4 мм 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.

Після обведення контурів у чотирикамерній, трикамерній та двокамерній апікальних проекціях та проведення усіх необхідних розрахунків була визначена середня товщина стінки: 8,2 мм. Після обведення контуру ЛШ у парастернальній проекції за короткою віссю на рівні папілярних м'язів та виконання наведених розрахунків було отримано середню товщину стінки: 71,6 мм. За співвідношенням (1) отримуємо індекс відносної товщини ЛШ:

$$IBT = \frac{2 \times 8.2}{71.6} = 0.23$$

Дане значення показника відповідає відсутності гіпертрофії ЛШ, що було підтверджено подальшими дослідженнями.

Запропонований спосіб застосовано у 9 хворих. За результатами досліджень згідно зі значенням індексу відносної товщини ЛШ встановлено нормальне значення маси у 5 осіб та перевищення вікової норми у 4 осіб, що підтвердилося при подальшому клінічному спостереженні. В той же час, при визначенні індексу маси за способом-аналогом у 9 хворих, в одному випадку діагностика була помилкова, що виявилось при подальшому дослідженні.

Таким чином, порівняння з аналогом показує, що застосування запропонованого способу дозволяє підвищити точність визначення індексу відносної товщини ЛШ.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Спосіб визначення індексу відносної товщини лівого шлуночка, який включає ультразвукове дослідження серця, вимірювання товщини стінки та кінцеводіастолічного діаметра лівого шлуночка та розрахунок індексу відносної товщини, який **відрізняється** тим, що ультразвукове дослідження серця виконують із картуванням деформації методом "2D speckle tracking", визначають середню товщину стінки як середньоарифметичне із ряду рівновіддалених вимірів товщини стінки за трьома стандартними апікальними проекціями, визначають середній кінцеводіастолічний діаметр у парастернальній проекції за короткою віссю на рівні папілярних м'язів як середнє значення діаметра внутрішнього контуру лівого шлуночка у даній проекції і розраховують індекс відносної товщини ІВТ за співвідношенням

$$IBT = \frac{2T}{KDP},$$

де: Т - середня товщина стінки лівого шлуночка;

КДР - середній кінцеводіастолічний діаметр.

Комп'ютерна верстка Л. Бурлак

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