

# СУДОВА МЕДИЦИНА

## ВЕЙВЛЕТ-АНАЛІЗ ФРАКТАЛЬНОЇ СТРУКТУРИ МАП ЕЛІПТИЧНОСТІ ПОЛЯРИЗАЦІЇ ЛАЗЕРНИХ ЗОБРАЖЕНЬ МІОКАРДА ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ ГОСТРОЇ КОРОНАРНОЇ НЕДОСТАТНОСТІ

Ванчуляк О.Я.

Буковинський державний медичний університет

*Резюме.* В статті наведені дані щодо вейвлет-аналізу структури мап еліптичності поляризації лазерних зображень міокарда для діагностики гострої коронарної недостатності.

*Ключові слова:* вейвлет-аналіз, міозин, міокард, гостра коронарна недостатність.

### ВСТУП

Морфологічна будова будь якого типу біологічної тканини розглядається у вигляді двокомпонентної аморфно-кристалічної структури.

Кристалічна компонента або позаклітинна матриця являє собою самоподібну архітектонічну сітку, що складається з протеїнових (колаген, міозин, еластин та ін.) фібрил, які, володіючи властивостями рідких кристалів, змінюють площину поляризації лазерного променя. Враховуючи останнє, припускаємо можливість використання вейвлет-аналізу лазерних поляриметричних зображень зрізів міокарда людини для встановлення ранніх морфологічних змін за умов гострої коронарної недостатності (ГКН), встановлення якої є не простим завданням в практиці судово-медичного експерта [1-5].

**Метою дослідження** було встановлення можливості використання вейвлет-аналізу лазерних поляризаційних зображень міокарду для діагностики ГКН. Для досягнення поставленої мети були поставлені наступні завдання: встановити поляриметричні характеристики міокарда людини за умов ГКН у термін до шести годин від початку ішемії; провести статистичну обробку отриманих даних; визначити ефективність даного методу.

### МАТЕРІАЛ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Теоретичною основою можливості застосування вейвлет-аналізу є те, що розподіл еліптичності поляризації  $\beta(x)$  можна розкласти в ряд за допомогою вейвлет – функції  $\Psi_{ab}(\tau) = \Psi(ax - b)$ , що утворена зміщенням  $b$  та масштабуванням  $a$  [5]

$$\beta(x) = \sum_{a,b \in \mathbb{R}} C_{ab} \Psi_{ab}(x), \quad (1)$$

Коефіцієнти такого розкладу визначаються наступним чином

$$C_{ab} = \int \beta(x) \Psi_{ab}(x) dx. \quad (2)$$

Результатом вейвлет – перетворення (1), (2) одновимірного розподілу  $\beta(x)$ , є двовимірний масив коефіцієнтів  $W_{\beta}(a,b)$ , які визначаються наступним співвідношенням

$$W(a,b) = \frac{1}{|a|^{d/2}} \int f(\beta) \Psi\left(\frac{x-b}{a}\right) dx. \quad (3)$$

В нашій роботі в якості вейвлет – функції ми використали МНАТ – функцію – друга похідна Гаусової функції [2].

Фрактальний аналіз розподілів  $W_{\beta}(a,b)$  проводився шляхом розрахунку логарифмічних залежностей  $\log J(W) - \log d^{-1}$  спектрів потужності [1]

$$J(W) = \int W_{ab}(\beta) \cos 2\pi \nu d\nu, \quad (4)$$

де  $\nu = d^{-1}$  просторові частоти, що визначаються геометричними розмірами ( $d$ ) структурних елементів лазерних зображень біологічного шару.

Залежності  $\log J(W) - \log d^{-1}$  апроксимуються методом найменших квадратів у криві  $\Phi(n)$ , для прямих ділянок яких визначаються кути нахилу  $\eta$  і обчислюються величини фрактальної розмірності за співвідношенням [3]

$$D = 3 - \eta. \quad (5)$$

Для оцінки розподілів  $\log J(W) - \log d^{-1}$  на різних масштабах  $a$  вейвлет – функції  $\Psi$  обчислювалася сукупність їх статистичних моментів 1-го – 4-го порядків  $M_{j=1,2,3,4}$  [9]

$$M_1 = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m J_i, \quad M_2 = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m J_i^2}, \quad M_3 = \frac{1}{M_2} \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m J_i^3, \quad M_4 = \frac{1}{M_2} \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m J_i^4. \quad (6)$$

Дослідження виконано з використанням показаної традиційної оптичної схеми поляриметра для вимірювання сукупності координатних розподілів еліптичності поляризації лазерного зображення гістологічного зрізу тканини міокарда [1].

Для кожного окремого пікселя визначалися чотири параметри вектора Стокса [5]

$$\begin{aligned} S_1 &= I_0 + I_{90}; \\ S_2 &= I_0 - I_{90}; \\ S_3 &= I_{45} - I_{135}; \\ S_4 &= I_{\infty} - I_{\phi}. \end{aligned} \quad (7)$$

Тут  $I_0, I_{90}, I_{45}, I_{135}$  – інтенсивності лінійно (з азимутами  $\phi$ ) та ліво- $I_{\infty}$  і право- $I_{\phi}$  циркулярно поляризованого випромінювання, пропущеного системою чвертьхвильова пластинка – поляризатор.

Значення еліптичності поляризації обчислювалися за наступним алгоритмом

$$\beta(m \times n) = 0,5 \arcsin \left[ \frac{S_4(m \times n)}{S_1(m \times n)} \right] \quad (8)$$

В якості об'єктів дослідження використано дві групи зрізів тканини міокарда людей, померлих внаслідок хронічної ішемічної хвороби серця (17 зразків), - група 1 та людей, померлих внаслідок гострої коронарної недостатності (14 зразків), - група 2.

### РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Результатом такого сканування є обчислення (співвідношення (1) -- (3)) двовимірної сукупності вейвлет - коефіцієнтів

$$W_{k,n} = \begin{pmatrix} W(a_{min}, b_1) & \dots & W(a_{min}, b = m) \\ \dots & \dots & \dots \\ W(a_{max}, b_1) & \dots & W(a_{max}, b = m) \end{pmatrix}$$

для кожного k - го рядку пікселів світлочутливої площадки цифрової камери 10 (рис. 1 і рис. 2).

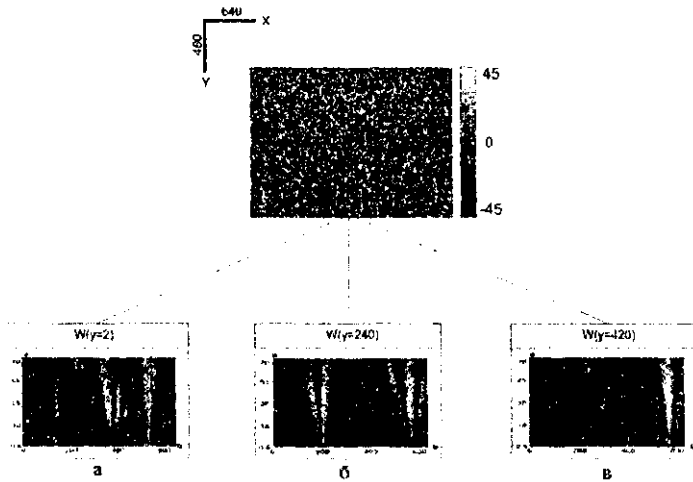


Рис. 1. Розподіли вейвлет – коефіцієнтів  $W(a_{min}; b = k1 \div km)$  поляризаційної мапи еліптичності  $\beta(m \times n)$  поляризації лазерного зображення міокарда групи 1 для різних рядків CCD – камери: а)  $k=2$ ; б)  $k=240$ ; в)  $k=420$ .

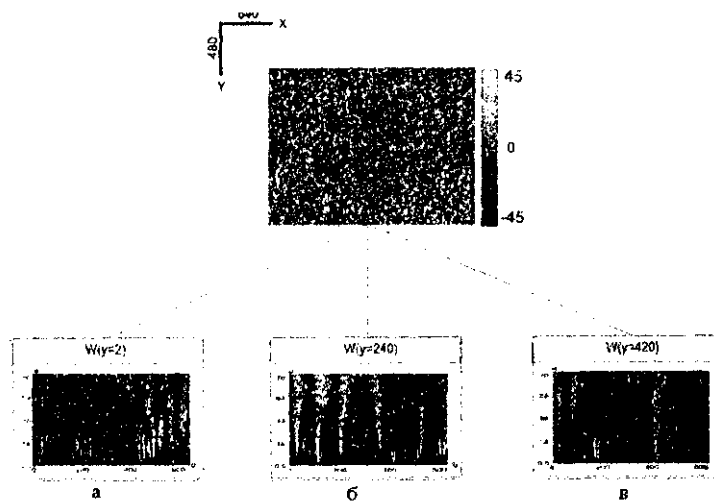
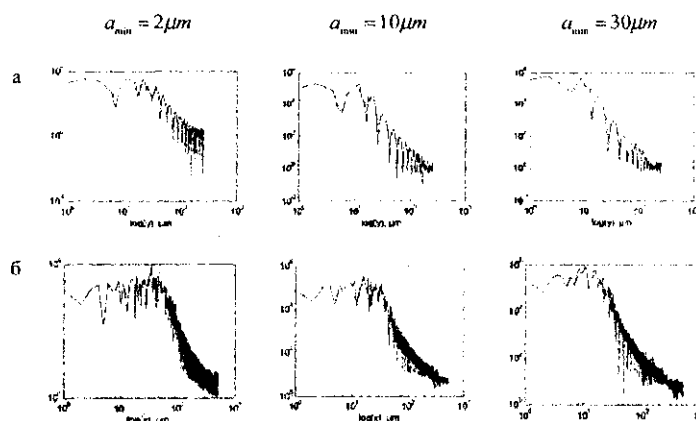


Рис. 2. Розподіли вейвлет – коефіцієнтів  $W$  ( $a_{\min}; b = k1 \div km$ ) поляризаційної мапи еліптичності  $\beta(m \times n)$  поляризації лазерного зображення шару міокарда групи 2 для різних рядків CCD – камери: а)  $k=2$ ; б)  $k=240$ ; в)  $k=420$ .

Визначено логарифмічні залежності спектрів потужності розподілів  $\log J(W) - \log(d')$  на трьох масштабах  $a_{\min} = 2 \mu m; a_{\min} = 10 \mu m; a_{\min} = 30 \mu m$

MHAT – вейвлету поляризаційних мап лазерних зображень шарів міокарда групи 1 (рис. 3а) і групи 2 (рис. 3б).

## СУДОВА МЕДИЦИНА



**Рис. 3. Логарифмічні залежності  $\log J(W)-\log (d^{-1})$  спектрів потужності розподілів вейвлет – коефіцієнтів  $\bar{W}[(a_{\min} = 2\mu m; 10\mu m; 30\mu m); (b = k1 + km)]$  поляризаційної мапи еліптичності поляризації  $\beta(m \times n)$  зображення міокарда: а) групи 1; б) групи 2.**

Із одержаних даних видно, що логарифмічні залежності  $\log J(W)-\log (d^{-1})$  спектрів потужності розподілів вейвлет – коефіцієнтів

$\bar{W}[(a_{\min} = 2\mu m; 10\mu m; 30\mu m); (b = k1 + km)]$  поляризаційних мап еліптичності поляризації гістологічних зрізів міокарда обох груп є індивідуальними для кожного масштабу МНАТ - вейвлету.

Аналіз логарифмічних залежностей  $\log J(W)-\log (d^{-1})$  виявив:

- для поляризаційної мапи  $\beta(m \times n)$  лазерного зображення гістологічного зрізу міокарда групи 1 інтервал геометричних розмірів фрактального (ділянка стабільного нахилу апроксимуючих кривих до спектрів потужності) розподілу вейвлет-коефіцієнтів складає величину

$$2\mu m \div 500\mu m; ;$$

- розподіли сукупності значень вейвлет – коефіцієнтів

$$\bar{W}[(a_{\min} = 2\mu m; 10\mu m; 30\mu m); (b = k1 + km)]$$

поляризаційних мап еліптичності поляризації  $\beta(m \times n)$  гістологічних зрізів міокарда групи 2 фрактальні у значно меншому (на один порядок) діапазоні зміни геометричних розмірів ( $2\mu m \div 50\mu m$ ) лазерного зображення;

- для всіх інших діапазонів розподіли статистичні – для всіх логарифмічних залежностей спектрів потужності відсутній стабільний нахил апроксимуючих кривих.

Виявлені особливості самоподібної структури розподілів вейвлет – коефіцієнтів поляризаційних мап лазерних зображень гістологічних

## СУДОВА МЕДИЦИНА

зрізів тканини міокарда, на нашу думку, пов'язані із хаотизацією величин фазових зсувів  $\beta$ , які виникають за рахунок зміни двопронезаломлення полікристалічних міозинових фібрилярних структур при гострій коронарній недостатності на середніх ( $a_{\min} = 10\mu\text{m}$ ) і великих ( $a_{\min} = 30\mu\text{m}$ ) масштабах аналізу МНАТ – вейвлету.

Об'єктивно такий процес характеризують величини і діапазони зміни статистичних моментів 1-го – 4-го порядків  $M_{j=1,2,3,4}$  логарифмічних залежностей  $\log J(W) - \log(d^{-1})$  на різних масштабах  $a_{\min}$  МНАТ – вейвлету (таблиця).

Таблиця

**Статистичні моменти 1– 4-го порядків логарифмічних розподілів спектрів потужності множин вейвлет – коефіцієнтів поляризаційних мап еліптичності поляризації лазерних зображень гістологічних зрізів міокарда обох груп**

Хронічна ішемічна хвороба серця			Гостра коронарна недостатність		
$a_{\min}$	$M_j$		$a_{\min}$	$M_j$	
$a_{\min} = 2\mu\text{m}$	$M_1$	$0,76 \pm 0,082$	$a_{\min} = 2\mu\text{m}$	$M_1$	$0,65 \pm 0,067$
	$M_2$	$0,18 \pm 0,026$		$M_2$	$0,24 \pm 0,031$
	$M_3$	$1,08 \pm 0,11$		$M_3$	$7,14 \pm 0,88$
	$M_4$	$1,32 \pm 0,14$		$M_4$	$10,72 \pm 1,25$
$a_{\min} = 10\mu\text{m}$	$M_j$		$a_{\min} = 10\mu\text{m}$	$M_j$	
	$M_1$	$0,68 \pm 0,073$		$M_1$	$0,59 \pm 0,064$
	$M_2$	$0,23 \pm 0,032$		$M_2$	$0,27 \pm 0,038$
	$M_3$	$0,89 \pm 0,096$		$M_3$	$4,17 \pm 0,68$
$a_{\min} = 30\mu\text{m}$	$M_j$		$a_{\min} = 30\mu\text{m}$	$M_j$	
	$M_1$	$0,57 \pm 0,065$		$M_1$	$0,53 \pm 0,062$
	$M_2$	$0,29 \pm 0,034$		$M_2$	$0,33 \pm 0,042$
	$M_3$	$0,71 \pm 0,082$		$M_3$	$1,45 \pm 0,17$
	$M_4$	$0,98 \pm 0,11$	$M_4$	$2,73 \pm 0,38$	

Порівняльний аналіз статистичної структури логарифмічних залежностей розподілів вейвлет-коефіцієнтів поляризаційних мап еліптичності  $\beta(m \times n)$  лазерних зображень гістологічних зрізів тканини міокарда обох груп виявив суттєві відмінності (від 2,5 до 8 разів) величин статистичних моментів 3-го і 4-го порядків логарифмічних залежностей спектрів потужності розподілу  $\overline{W}_{[(a_{\min}=2,\mu\text{m}),(b=k)+km]}(\beta)$

на всіх масштабах МНАТ – вейвлету.

### ВИСНОВОК

Встановлено зміни лазерних поляризаційних зображень міокарда за умов гострої коронарної недостатності. Проведено статистичну обробку отриманих результатів. На основі отриманих даних ми стверджуємо діагностичну ефективність вейвлет – аналізу ступеня самоподібності коорди-

натних розподілів еліптичності поляризації лазерних зображень гістологічних зрізів тканини міокарда для встановлення гострої коронарної недостатності, для диференціації структурних перебудов при даній патології з такими при іншій патології серця.

#### Література

1. Ангельский О. В. Рассеяние лазерного излучения мультифрактальными биоструктурами / О. В. Ангельский, А. Г. Ушенко, А. Д. Архелюк, [и др.] // Оптика и спектроскопия – 2000. – Т. 88, № 3. – С. 495-498.
2. Ванчуляк О. Я. Застосування лазерного поляриметричного аналізу в діагностиці змін структури кісткової тканини / О. Я. Ванчуляк // Буковинський медичний вісник. – 2004. – Т. 8, № 1. – С. 167-170.
3. Морфологические основы внезапной сердечной смерти / Н. В. Антипов, А. С. Кузнецов, В. А. Цыганков, О. Г. Кузнецов // Арх. клін. експ. мед. – 1996. – Т. 5, № 2. – С. 126-129.
4. Ушенко О. Г. Лазерна поляриметрия фазово-неоднорідних об'єктів і середовищ / О. Г. Ушенко // Чернівці: Медакадемія. – 2000. – 251 с.
5. 2-D tomography of biotissue images in pre-clinical diagnostic of their pre-cancer states / O. Angelsky, Yu. Tomka, A. Ushenko [etal.] // Proc. SPIE. – 2005. – Vol. 5972. – P. 158-162.

### Вейвлет-анализ фрактальной структуры мап эллиптичности поляризации лазерных изображений миокарда для диагностики острой коронарной недостаточности

Ванчуляк О. Я.

**Резюме.** В статье приведенные данные относительно вейвлет-анализа структуры мап эллиптичности поляризации лазерных изображений миокарда для диагностики острой коронарной недостаточности.

**Ключевые слова:** вейвлет-анализ, миозин, миокард, острая коронарная недостаточность.

### Wavelet analysis of the fractal structure of ellipticity maps of polarizing laser images of the myocardium in diagnosing acute coronary insufficiency

O. Ya. Vanchuliak

**Summary.** The paper deals with data on wavelet analysis of the fractal structure of ellipticity maps of polarizing laser images of the myocardium in order to diagnose acute coronary insufficiency.

**Key words:** wavelet analysis, myosin, myocardium, acute coronary insufficiency.

### МОРФОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ЕНДОКАРДУ ПЕРЕДСЕРДЬ І ШЛУНОЧКІВ У РАЗІ РАПТОВОЇ СМЕРТІ ВНАСЛІДОК ГОСТРОЇ КОРОНАРНОЇ НЕДОСТАТНОСТІ

Дунаєв О. В.

Луганський державний медичний університет

**Резюме.** У статті наведена оцінка змін ендокарду передсердь і шлуночків серця у разі раптової смерті внаслідок гострої коронарної недостатності.

**Ключові слова:** передсердя, шлуночки, ендокард, раптова смерть, гостра ішемічна хвороба серця.

#### ВСТУП

Папілярно-трабекулярний апарат (ПТА), до складу якого входять папілярні (сосочкові) м'язи, м'язові трабекули і сухожилкові хорди, є компонентом серця, який забезпечує його скорочувальну роботу [4]. В літературі мають місце відомості про вагові показники шлуночків серця та їх папілярно-трабекулярного апарату в нормі, у віковому аспекті і при деяких патологічних станах [2,5], при раптовій смерті осіб юнацького та молодого віку, зумовленій дисплазією сполучної тканини [7]. Ендокард, що покриває ПТА, на перший погляд не викликає особливої уваги, як об'єкт патологічних змін серця. Більш цікавим у такому розумінні є, за даними Madjarova M., Mincov M. [9], субендокардіальний простір. Однак, наявні відомості про них носять суперечливий характер, не систематизовані [7,9]. Так, С. В. Савченко [6] показав, що при забоях серця мають місце розповсюджені зміни рел'єфа ендокарда і утворення структурного розташування окремих м'язових волокон вище рівня його поверхні, що обумовлене розповсюдженими контрактурами м'язових волокон субендокардіальних шарів міокарда. При раптовій смерті від ішемічної хвороби серця патоморфологія ендокарда, за даними автора, представлена вогнищевими змінами виразності рел'єфа його поверхні, що також зумовлене обмеженими контрактурами м'язових волокон субендокардіального шару міокарда.

**Метою** дослідження - визначення особливостей змін ендокарду передсердь і шлуночків у разі раптової смерті внаслідок гострої ішемічної хвороби серця.

#### МАТЕРІАЛ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Матеріалом дослідження були 12 сердець людей молодого і зрілого віку, що за життя не страждали захворюваннями системи кровообігу, загинилих від механічної травми (контрольна група). На 12 серцях осіб працездатного віку, померлих раптово внаслідок гострої ішемічної хвороби серця (ГІХС), були вивчені особливості патоморфологічних змін ендокарда передсердь і шлуночків. Макроскопічне дослідження рел'єфу ендокардіальної поверхні проводилось на препаратах після розтину сердець та на серійних