

# СУДОВА МЕДИЦИНА

УДК 616.12-005.4-073.55

© О.Я. ВАНЧУЛЯК, 2014

*О.Я. Ванчуляк*

## ЗАСТОСУВАННЯ ВЕЙВЛЕТ-АНАЛІЗУ ФРАКТАЛЬНОЇ СТРУКТУРИ МАП ЕЛІПТИЧНОСТІ ПОЛЯРИЗАЦІЇ ЛАЗЕРНИХ ЗОБРАЖЕНЬ МІОКАРДА ПРИ ДІАГНОСТИЦІ ГОСТРОЇ КОРОНАРНОЇ НЕДОСТАТНОСТІ

**Буковинський державний медичний університет, м. Чернівці**

**Мета.** Вивчити особливості оптичних змін структури міокарда людини при гострій коронарній недостатності.

**Результати** дослідження переконливо свідчать про доцільність використання кореляційного аналізу поляризаційно-неоднорідних лазерних зображень міокарда для діагностики гострої коронарної недостатності. Показані перспективи практичного застосування вейвлет - аналізу фрактальної структури мап еліптичності поляризації лазерних зображень міокарда для діагностики гострої коронарної недостатності. Встановлено оптичні характеристики зміни лазерних поляризаційних зображень міокарда за умови гострої коронарної недостатності. На основі проведеного дослідження доведено діагностичну ефективність вейвлет - аналізу ступеня само-подібності координатних розподілів еліптичності поляризації лазерних зображень зрізів тканини міокарда для встановлення гострої коронарної недостатності та для диференціації структурних перебудов, з такими ж, при іншій патології серця.

**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 само-подібну архітектонічну сітку, що складається з протеїнових (колаген, міозин, еластин та ін.) фібрил, які, володіючи властивостями рідких кристалів, змінюють площину поляризації лазерного променю. 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 у практиці судово-медичного експерта.

**Мета дослідження** - встановлення можливості використання вейвлет-аналізу лазерних поляризаційних зображень міокарда 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

Теоретичною основою можливості застосування вейвлет-аналізу є те, що розподіл еліптичності поляризації  $\beta(x)$  можна розкласти в ряд за допомогою вейвлет – функції  $\Psi_{ab}(x) = \Psi(ax-b)$ , що утворена зміщенням  $b$  та масштабуванням  $a$  [4]:

$$\beta(x) = \sum_{a,b=-\infty}^{\infty} C_{ab} \Psi_{ab}(x) \quad (1)$$

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:

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

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  $J(W)$  [1]:

$$J(W) = \int_{-\infty}^{+\infty} W_{a,b}(\beta) \cos 2\pi \nu d\nu \quad (4)$$

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  $\Phi(\eta)$ , для прямих ділянок визначаються кути нахилу  $\eta$  і обчислюються величина фрактальної розмірності  $D$  за співвідношенням [2]:

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

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

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

Дослідження проводилось за допомогою традиційної оптичної схеми лазерного поляриметра [1].

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

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

Тут  $I_0, I_{90}, I_{45}, I_{135}$  - інтенсивності лінійно (з азимутами  $0^\circ; 90^\circ; 45^\circ; 135^\circ$ ) та ліво- $I_0$  і право- $I_{90}$  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 (117 зразків), - група 1, та людей, померлих внаслідок гострої коронарної недостатності (114 зразків), - група 2.

### РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

В результаті проведено обчислення (співвідношення (1) – (3)) двовимірної сукупності вейвлет - коефіцієнтів

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

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

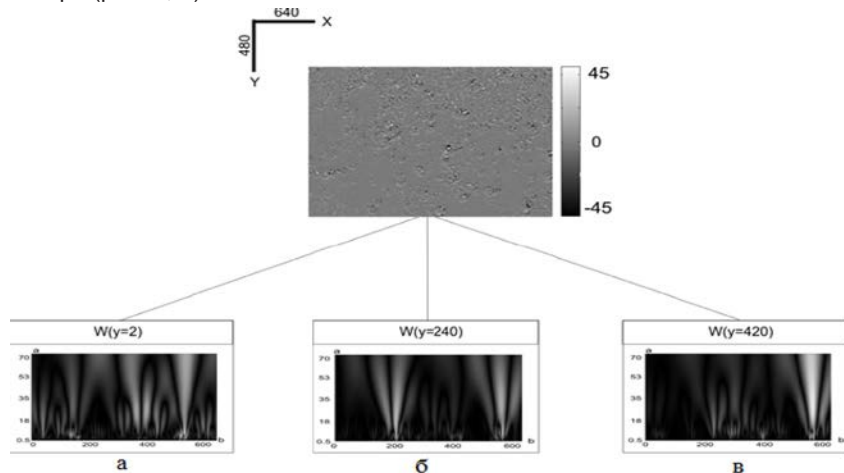


Рис. 1. Розподіли вейвлет-коефіцієнтів  $W(a_{\min}; b = k1 \div kn)$  поляризаційної мапи еліптичності  $\beta(m \times n)$  поляризації лазерного зображення міокарда групи 1 для різних рядків CCD – камери: а)  $k=2$ ; б)  $k=240$ ; в)  $k=420$

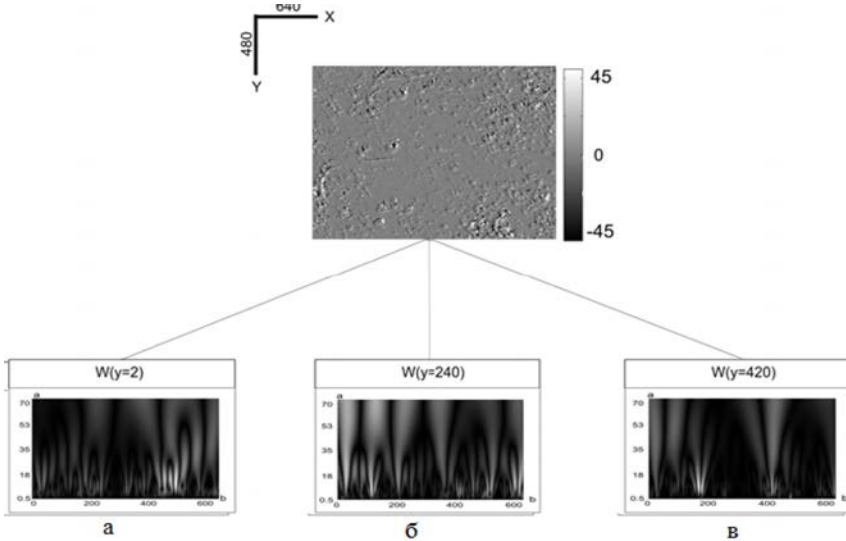


Рис. 2. Розподіли вейвлет-коефіцієнтів  $W(a_{\min}; b = k1 \div km)$  поляризаційної мапи еліптичності  $\beta(mx, n)$  поляризації лазерного зображення шару міокарда групи 2 для різних рядків CCD – камери: а)  $k=2$ ; б)  $k=240$ ; в)  $k=420$

Визначено логарифмічні залежності спектрів потужності розподілів  $\log J(W) - \log(d^1)$  на трьох масштабах  $a_{\min} = 2 \mu m$ ;  $a_{\min} = 10 \mu m$ ;  $a_{\min} = 30 \mu m$  МНАТ-вейвлету поляризаційних мап  $\beta(mx, n)$  лазерних зображень шарів міокарда групи 1 (рис. 3а) і групи 2 (рис. 3б).

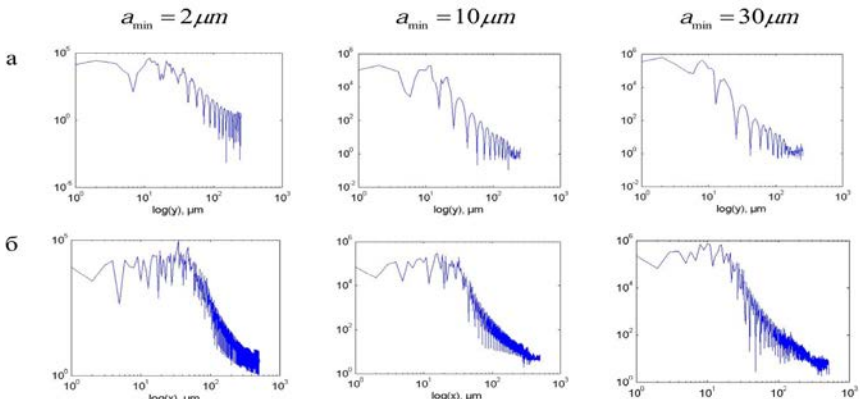


Рис. 3. Логарифмічні залежності  $\log J(W) - \log(d^1)$  спектрів потужності розподілів вейвлет-коефіцієнтів  $W(a_{\min} = 2 \mu m; 10 \mu m; 30 \mu m); (b = k1 \div km)$  поляризаційної мапи еліптичності поляризації  $\beta(mx, n)$  зображення міокарда: а) групи 1; б) групи 2

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

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

поляризаційних мап еліптичності поляризації  $\beta(m\lambda)$  зрізів міокарда обох груп є індивідуальними для кожного масштабу МНАТ - вейвлету.

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

- для поляризаційної мапи  $\beta(m\lambda)$  зображення зрізу міокарда групи 1 інтер-вал геометричних розмірів фрактального (ділянка стабільного нахилу апроксимуючих кривих до спектрів потужності) розподілу вейвлет-коефіцієнтів складає величину  $2\mu m : 500\mu m$ ;

- розподіли сукупності значень вейвлет - коефіцієнтів

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

поляризаційних мап еліптичності поляризації зрізів  $\beta(m\lambda)$  міокарда групи 2 фрактальні у значно меншому (на один порядок) діапазоні зміни геометричних розмірів ( $2\mu m : 500\mu m$ ) 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 зрізів тканини міокарда, на нашу думку, пов'язані із хаотизацією величин фазових зсувів, які виникають за рахунок зміни двоприменезаломлення полікристалічних міозинових фібрилярних структур при гострій коронарній недостатності на середніх ( $\alpha_{\min} = 10\mu m$ ) і великих ( $\alpha_{\min} = 30\mu m$ ) масштабах аналізу МНАТ - вейвлету.

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

Таблиця 1

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

Хронічна ішемічна хвороба серця			Гостра коронарна недостатність		
$a_{\min}$	$M_j$		$a_{\min}$	$M_j$	
$a_{\min}=2\mu m$	$M_1$	$0,76\pm0,005$	$a_{\min}=2\mu m$	$M_1$	$0,65\pm0,0042$
	$M_2$	$0,18\pm0,002$		$M_2$	$0,24\pm0,003$
	$M_3$	$1,08\pm0,0032$		$M_3$	$7,14\pm0,0049$
	$M_4$	$1,32\pm0,0033$		$M_4$	$10,72\pm0,005$
$a_{\min}=10\mu m$	$M_j$		$a_{\min}=10\mu m$	$M_j$	
	$M_1$	$0,68\pm0,0048$		$M_1$	$0,59\pm0,004$
	$M_2$	$0,23\pm0,0034$		$M_2$	$0,27\pm0,0038$
	$M_3$	$0,89\pm0,003$		$M_3$	$4,17\pm0,0043$
$a_{\min}=30\mu m$	$M_4$	$1,08\pm0,0031$	$a_{\min}=30\mu m$	$M_4$	$6,71\pm0,0046$
	$M_j$			$M_j$	
	$M_1$	$0,57\pm0,0038$		$M_1$	$0,53\pm0,003$
	$M_2$	$0,29\pm0,004$		$M_2$	$0,33\pm0,0049$
	$M_3$	$0,71\pm0,0029$		$M_3$	$1,45\pm0,0038$
	$M_4$	$0,98\pm0,003$		$M_4$	$2,73\pm0,0038$

Примітка:  $p \leq 0,005$ .

Порівняльний аналіз статистичної структури логарифмічних залежностей розподілів вейвлет - коефіцієнтів поляризаційних мап еліптичності  $\beta(m, n)$  лазерних зображень зрізів тканини міокарда обох груп виявив суттєві відмінності величин статистичних моментів 3-го і 4-го порядків логарифмічних залежностей спектрів потужності розподілу  $\overline{W}_{[(a_{min}=2\mu m), (b=k \cdot 1+kn)]}(\beta)$  на всіх масштабах МНАТ - вейвлету.

### ВИСНОВКИ

1. Встановлено оптичні характеристики зміни лазерних поляризаційних зображень міокарда за умови гострої коронарної недостатності.

2. На основі проведеного дослідження доведено діагностичну ефективність вейвлет - аналізу ступеня самоподібності координатних розподілів еліптичності поляризації лазерних зображень зрізів тканини міокарда для встановлення гострої коронарної недостатності та для диференціації структурних перебудов, з такими ж, при іншій патології серця.

### Література

1. Ушенко О.Г. Лазерна фізика біологічних тканин / О.Г. Ушенко, В.Т. Бачинський. - Видавництво «Рута» ЧНУ ім. Ю.Федьковича, 2007. - 300 с.
2. Ушенко О.Г. Лазерна поляриметрія фазово-неоднорідних об'єктів і середовищ / О.Г. Ушенко. - Чернівці: Медакадемія, 2000. - 251с.
3. 2-D tomography of biotissue images in pre-clinic diagnostics of their pre-cancer states / O. Angelsky, Yu. Tomka, A. Ushenko [et al.] // Proc. SPIE. - 2005. - Vol. 5972. - P. 158-162.
4. On the feasibilities of using the wavelet analysis of Mueller matrix images of biological crystals / O.V. Dubolazov, A.G. Ushenko, V.T. Bachinskiy [et al.] // Hindawi Publishing Corporation Advances in Optical Technologies. - 2010. - Vol. 7368.
5. Wanchuliak O.Ya. Fractal processing of pathological changed muscular tissue images / O.Ya. Wanchuliak, V.P. Ungurian // Clinical and Biomedical Spectroscopy. - 2010.-Vol. 7368.

**О.Я. Ванчуляк**

### **Применение вейвлет-анализа фрактальной структуры карт эллиптичности поляризации лазерных изображений миокарда для диагностики острой коронарной недостаточности**

**Буковинский государственный медицинский университет, г. Черновцы**

**Цель.** Изучить особенности изменения структуры миокарда человека при острой коронарной недостаточности.

**Результаты** исследования убедительно свидетельствуют о целесообразности использования вейвлет - анализа фрактальной структуры карт эллиптичности лазерных изображений миокарда для диагностики острой коронарной недостаточности. Показаны перспективны практического применения вейвлет-анализа фрактальной структуры карт эллиптичности поляризации лазерных изображений миокарда для диагностики острой коронарной недостаточности. Установлены оптические характеристики изменений лазерных поляризационных изображений миокарда при условии наличия острой коронарной недостаточности. Доказана диагностическая эффективность вейвлет - анализа степени соответствия координатных распределений эллиптичности поляризации лазерных

ізображень срезів ткани міокарда для діагностики гострої коронарної недостаточності і для диференціації структурних перестроек, такими ж як і при другій патології серця.

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

*O.Ya. Wanchuliak*

### **Application of wavelet-analysis of the fractal structure of maps of the ellipticity of polarization for laser images of the myocardium with a view of diagnosing acute coronary insufficiency**

**Bukovinian State Medical University, Chernivtsi**

The article describes the specific characteristics of optical changes in the structure of human myocardium under conditions of acute coronary insufficiency. It details the prospects of the practical application of wavelet analysis of the fractal structure of ellipticity maps of polarization of laser images in diagnosing acute coronary insufficiency. As a **result**, a calculation of each two-dimensional set of wavelet coefficients for every row of pixels in the photosensitive area of a digital camera was performed. Qualitative illustrations of the distribution of wavelet coefficients of the ellipticity maps of polarization of laser images for every layer of myocardium in both groups for different rows of the CCD camera are shown. A logarithmic relationship of power spectra distributions in three scales of MHAT-wavelet is described. A statistical analysis of the results was performed. A comparative analysis of the statistical structure of the logarithmic relationship between the wavelet ratios of both groups revealed significant differences in values of statistical moments of 3rd and 4th order in all scales of MHAT-wavelet, which allows us to ascertain the diagnostic efficacy of wavelet analysis of the ellipticity of polarization of laser images of myocardial tissue sections for establishing acute coronary insufficiency and to differentiate structural rearrangements in ACI with other heart pathologies.

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

*Відомості про автора:*

*Ванчуляк Олег Ярославович* – к.мед.н., доцент кафедри судової медицини та медичного правознавства Буковинського державного медичного університету.

УДК 616 - 01 / - 099:31

© КОЛЕКТИВ АВТОРІВ, 2014

*С.Б. Костенко, В.Д. Мішалов, В.І. Радько, К.І. Гаврилешко,  
М.Ю. Гончарук-Хомин*

### **ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ОСНОВНИХ СТОМАТОЛОГІЧНИХ МАТЕРІАЛІВ**

**Ужгородський національний університет,  
Національна медична академія післядипломної освіти  
імені П.Л.Шупика**

**Мета.** Теоретично обґрунтувати використання методів ультразвукової діагностики (ехо-імпульсний метод, метод дефектоскопії, імпульсний фазовий метод,