

УДК 616.12–005.4–073.55

## ВЕЙВЛЕТ АНАЛІЗ МАП ЕЛІПТИЧНОСТІ ПОЛЯРИЗАЦІЇ ЛАЗЕРНИХ ЗОБРАЖЕНЬ МІОКАРДА ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ ГОСТРОЇ КОРОНАРНОЇ НЕДОСТАТНОСТІ. СТАТИСТИЧНИЙ ПІДХІД

О.Я. Ванчуляк, В.Т. Бачинський, О.Г. Ушенко, Н.О. Максимчук

Буковинський державний медичний університет

**Резюме.** В роботі висвітлюються основні аспекти діагностики гострої коронарної недостатності за допомогою вейвлет аналізу мап еліптичності поляризації лазерних зображень міокарда.

**Ключові слова:** діагностика, вейвлет аналіз, судово-медична експертиза.

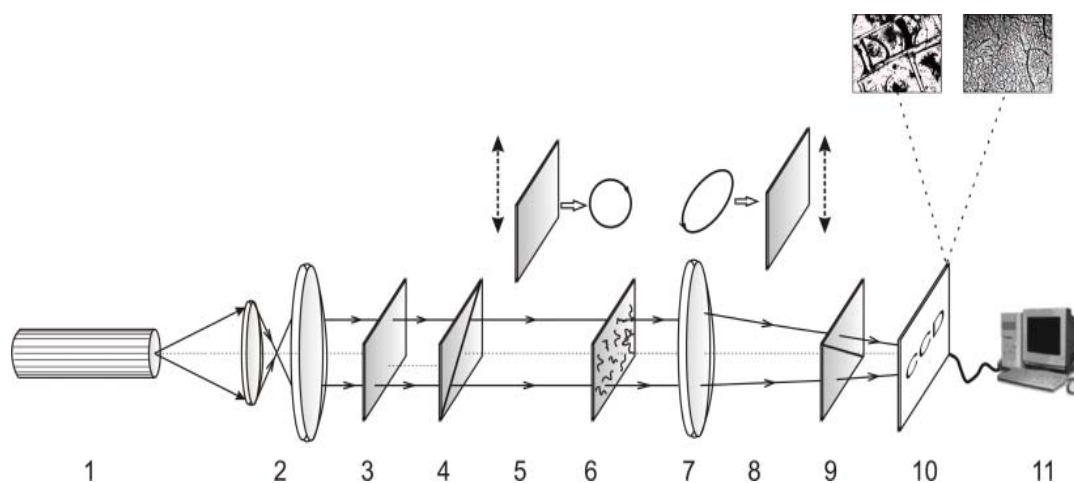
**ВСТУП.** Діагностика гострої коронарної недостатності (ГКН) у практиці судово-медичного експерта є досить складним завданням, тому на сьогодні обґрунтовується доцільність використання методу лазерної поляриметрії. Найбільш поширеним методом дослідження таких зображень є статистична оцінка координатних розподілів азимутів і еліптичності поляризації лазерних зображень біологічних тканин (БТ) [7-9]. Проте, застосування статистичного аналізу не дозволяє оцінювати локальні зміни структури оптико-анізотропних мереж протеїнових

кристалів. Тому актуальним завданням є розробка нових підходів до локального аналізу поляризаційно-неоднорідних зображень міокарда.

**Метою роботи** було дослідження можливостей локального вейвлет-аналізу з метою визначення статистичних параметрів, які характеризують вейвлет-коефіцієнти розподілу еліптичності поляризації лазерного зображення зрізу міокарда людини для діагностики настання смерті внаслідок гострої коронарної недостатності.

**Матеріали і методи.** Об'єктами дослідження були дві групи зрізів тканин міокарда. В першу групу входили зрізи міокарда трупів, померлих внаслідок хронічної ішемії (37 зразків); другу групу зрізи міокарда померлих внаслідок ГКН (40 зразків).

Дослідження проводилось за допомогою поляриметра традиційної оптичної схеми (мал. 1) [2,3].



Мал. 1. Оптична схема поляриметра:

1 – He-Ne лазер; 2 – коліматор; 3 – стаціонарна чвертьхвильова платівка; 4 – поляризатор; 5 – механічно рухома чвертьхвильова платівка; 6 – об'єкт дослідження; 7 – мікрооб'єктив; 8 – механічно рухома чвертьхвильова платівка; 9 – аналізатор; 10 – CCD камера; 11 – персональний комп'ютер.

Для кожного окремого пікселя визначалися чотири параметри вектора Стокса [5,6]:

$$\begin{aligned}
 S_1 &= I_0 + I_{90}; \\
 S_2 &= I_0 - I_{90}; \\
 S_3 &= I_{45} - I_{135}; \\
 S_4 &= I_{\otimes} - I_{\oplus}.
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

$I_0; I_{90}; I_{45}; I_{135}$  - інтенсивності лінійно (з азимутами  $0^\circ; 90^\circ; 45^\circ; 135^\circ$ ) та ліво -  $I_{\oplus}$  і право -  $I_{\otimes}$  циркулярно поляризованого випромінювання, пропущеного

системою чвертьхвильова пластинка – поляризатор.

Значення еліптичності поляризації обчислювалося за співвідношенням:

$$\beta(m \times n) = 0,5 \arcsin \left[ \frac{S_4(m \times n)}{S_1(m \times n)} \right] \quad (2)$$

Розподіл еліптичності поляризації  $\beta(x)$  розкладали в ряд за допомогою вейвлет – функції  $\Psi_{ab}(x) = \Psi(ax - b)$ , що утворена зміщенням  $b$  та масштабуванням  $a$  [4]:

$$\beta(x) = \sum_{a,b=-\infty}^{\infty} C_{ab} \Psi_{ab}(x) \quad (3)$$

Коефіцієнти такого розкладу визначалися за формулою:

$$C_{ab} = \int \beta(x) \Psi_{ab}(x) dx. \quad (4)$$

Результатом вейвлет – перетворення (3), (4) одномірного розподілу  $\beta(x)$  став двомірний масив

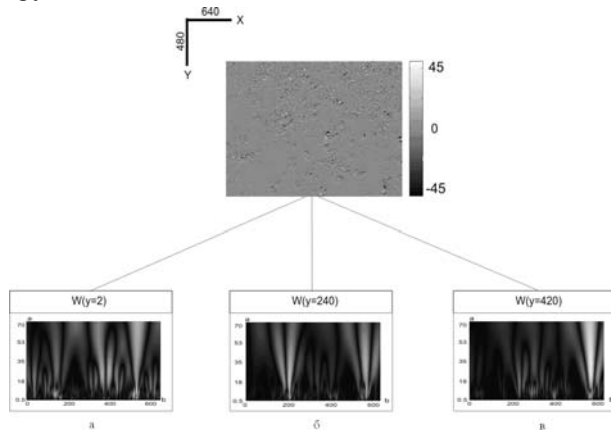
$$M_1 = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m |W_i|, \quad M_2 = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m W_i^2}, \quad M_3 = \frac{1}{M_2^3} \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m W_i^3, \quad M_4 = \frac{1}{M_2^2} \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m W_i^4. \quad (6)$$

### РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ.

Результатом лінійного  $k1, \dots, km; k = 1 \div n$  сканування МНАТ - вейвлетом з кроком  $b = 1 \text{ pix}$  та розмірами вікна  $1 \mu m \leq a_{\min} \leq 70 \mu m$  було обчислення (співвідношення (3) – (5)) двовимірної сукупності вейвлет-коефіцієнтів

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

для кожного  $k$  - го рядку пікселів світлочутливої площадки цифрової камери. Розподіли вейвлет-коефіцієнтів  $W(a_{\min}; b = k1 \div km)$  поляризаційної мапи азимутів  $\alpha(m \times n)$  поляризації лазерного зображення міокарда контрольної групи і групи 2 наведені на мал. 2 і 3.



Мал. 2. Розподіли вейвлет-коефіцієнтів  $W(a_{\min}; b = k1 \div km)$  поляризаційної мапи

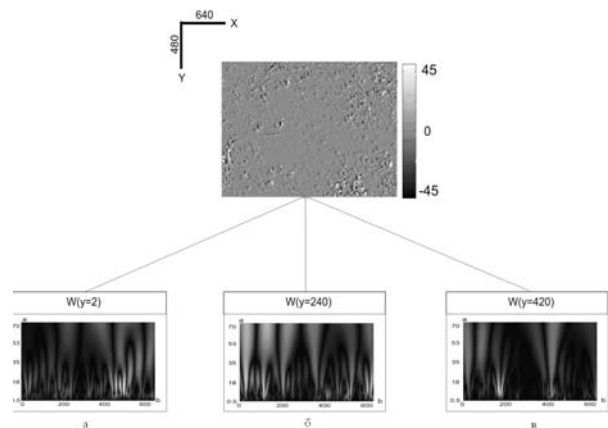
одномірного розподілу  $\beta(x)$  став двомірний масив коефіцієнтів  $W_{\beta}(a, b)$ , які визначаються наступним співвідношенням:

$$W(a, b) = \frac{1}{|a|^{1/2}} \int_{-\infty}^{+\infty} f(\beta) \Psi\left(\frac{x-b}{a}\right) dx. \quad (5)$$

В роботі в якості вейвлет - функції ми використали МНАТ – функцію – друга похідна Гаусової функції.

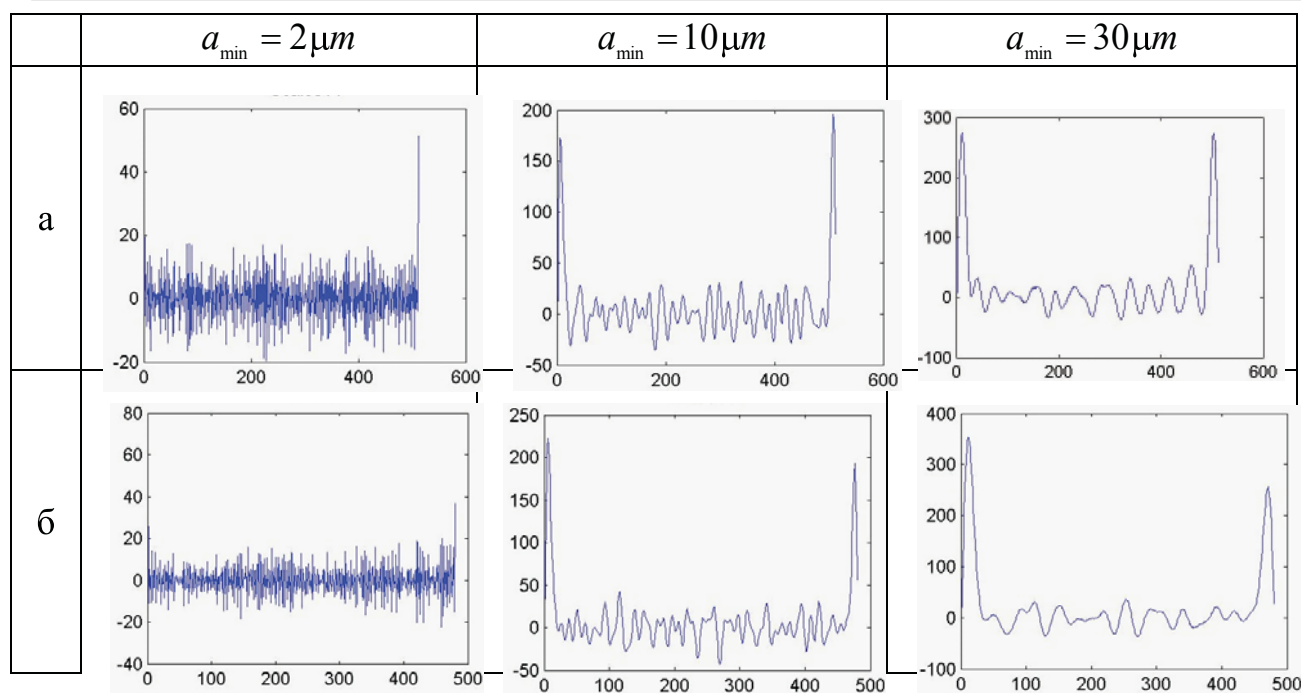
Для оцінки розподілів  $W_{\alpha}(a, b = 1, 2, \dots, m)$  на різних масштабах  $a$  вейвлет – функції  $\Psi$  обчислювалася сукупність їх статистичних моментів 1–4-го порядків  $M_{j=1;2;3;4}$  [1]:

азимутів  $\alpha(m \times n)$  поляризації лазерного зображення міокарда контрольної групи



Мал. 3. 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  $k = 2; 240; 420$  CCD - камери.

Розподіли величини вейвлет – коефіцієнтів  $\bar{W}[(a_{\min} = 2 \mu m; 10 \mu m; 30 \mu m); (b = k1 \div km)]$  поляризаційної мапи еліптичності  $\beta(m \times n)$  поляризації зображення міокарда: а) - групи померлих від хронічної ішемії; б) - групи померлих від ГКН наведені на мал. 4.



Мал. 4. Розподіли величини вейвлет – коефіцієнтів  $\overline{W} [(a_{\min} = 2\mu m; 10\mu m; 30\mu m); (b = k1 \div km)]$  поляризаційної мапи еліптичності  $\beta (m \times n)$  поляризації зображення міокарда: а) - групи померлих від хронічної ішемії; б) - групи померлих від ГКН.

Із одержаних даних видно, що розподіли вейвлет-коефіцієнтів  $\overline{W} [(a_{\min} = 2\mu m; 10\mu m; 30\mu m); (b = k1 \div km)] (\beta)$  поляризаційних мап  $\beta (m \times n)$  еліптичності поляризації лазерних зображень зрізів міокарда обох груп є індивідуальними для кожного масштабу ( $a_{\min} = 2\mu m; 10\mu m; 30\mu m$ ) МНАТ - вейвлету.

Аналіз статистичних моментів 1–4-го порядків, які характеризують залежності  $\overline{W} [(a_{\min} = 2\mu m; 10\mu m; 30\mu m); (b = k1 \div km)] (\beta)$  виявив різну динаміку зміни величин  $M_{j=1;2;3;4}$  із збільшенням масштабу  $a_{\min}$  МНАТ – вейвлету (таблиця 1).

Діапазони зміни статистичних моментів 1–2-го порядків лежать у межах -  $M_1 = 1,15 \div 1,34$ ;  $M_2 = 1,15 \div 1,35$  разів. Статистичні моменти вищих порядків зростають у межах  $M_3 = 2,1 \div 2,3$  і  $M_4 = 2,2 \div 4,9$  разів, відповідно.

Виявлені особливості статистичної і координатної структури розподілів вейвлет – коефіцієнтів поляризаційних мап лазерних зображень зрізів тканини міокарда, ми обґрунтовуємо, пов'язані із різним ступенем самоподібності розподілів напрямів оптичних осей  $\rho$  і фазових зсувів  $\delta$  полікристалічних міозінових фібрилярних структур на різних масштабах аналізу ( $a_{\min} = 2\mu m; 10\mu m; 30\mu m$ ) МНАТ – вейвлету.

Таблиця 1

Статистичні моменти 1–4-го порядків розподілу вейвлет–коефіцієнтів поляризаційних мап азимутів  $\alpha (m \times n)$  лазерних зображень зрізів міокарда обох груп

Ішемічна хвороба серця			Гостра коронарна недостатність		
$a_{\min}$	$M_j$		$a_{\min}$	$M_j$	
$a_{\min} = 2\mu m$	$M_1$	$0,23 \pm 0,034$	$a_{\min} = 2\mu m$	$M_1$	$0,45 \pm 0,052$
	$M_2$	$0,39 \pm 0,045$		$M_2$	$0,17 \pm 0,021$
	$M_3$	$1,24 \pm 0,23$		$M_3$	$0,55 \pm 0,064$
	$M_4$	$1,76 \pm 0,27$		$M_4$	$0,72 \pm 0,083$

$a_{\min} = 10 \mu m$	$M_j$		$a_{\min} = 10 \mu m$	$M_j$	
	$M_1$	$0,31 \pm 0,034$		$M_1$	$0,51 \pm 0,057$
	$M_2$	$0,26 \pm 0,031$		$M_2$	$0,19 \pm 0,024$
	$M_3$	$2,35 \pm 0,34$		$M_3$	$2,76 \pm 0,38$
	$M_4$	$2,98 \pm 0,41$		$M_4$	$3,14 \pm 0,52$
$a_{\min} = 30 \mu m$	$M_j$		$a_{\min} = 30 \mu m$	$M_j$	
	$M_1$	$0,35 \pm 0,054$		$M_1$	$0,57 \pm 0,063$
	$M_2$	$0,22 \pm 0,028$		$M_2$	$0,13 \pm 0,015$
	$M_3$	$3,19 \pm 0,47$		$M_3$	$3,63 \pm 0,43$
	$M_4$	$3,46 \pm 0,51$		$M_4$	$4,21 \pm 0,54$

Порівняльний аналіз статистичної структури розподілів вейвлет-коефіцієнтів поляризаційних мап  $\beta(m \times n)$  лазерних зображень гістологічних зрізів тканини міокарда обох груп виявив:

1) Суттєві відмінності (у межах 2,2 – 2,7 разів) величин статистичних моментів  $M_{j=1;2;3;4}$ , які характеризують розподіли  $\overline{W}_{[(a_{\min}=2 \mu m)(b=k1 \div km)]}(\beta)$  на масштабі  $a_{\min} = 2 \mu m$  МНАТ – вейвлету.

2) Суттєве зменшення розбіжностей величин статистичних моментів 3-го (у 1,3 – 1,6 рази) і 4-го (у 1,5 – 1,8 рази) порядків розподілів  $\overline{W}_{[(a_{\min}=10 \mu m; 30 \mu m)(b=k1 \div km)]}(\beta)$  визначених для більших масштабів  $a_{\min} = 10 \mu m; 30 \mu m$  МНАТ – вейвлету.

Виявлені відмінності статистичних моментів  $M_{j=1;2;3;4}$ , які характеризують розподіли  $\overline{W}_{[(a_{\min}=10 \mu m; 30 \mu m)(b=k1 \div km)]}(\beta)$  можна пов'язати з тим, що гостра коронарна недостатність найбільш виразно виявляється у змінах оптико-фізичних властивостей тканини міокарда на малих масштабах міозинових структур.

#### ВИСНОВКИ:

1. За умов ішемії виявлено зростання показника двопронезаломлення парціальних кристалів міозину розупорядкованих за напрямками оптичних осей. Причому, така трансформація полікристалічної структури починається з малих розмірів ( $d = 1 \mu m \div 50 \mu m$ ) структурних елементів полікристалічної мережі міокарда. Поляризаційно такі процеси виявляються у формуванні складних асиметричних розподілів еліптичності  $\beta(m \times n)$

поляризації відповідних лазерних зображень шару міокарда у випадку гострої коронарної недостатності.

2. Власні дослідження дозволяють рекомендувати для діагностики гострої коронарної недостатності впровадження в практику вейвлет – аналізу координатних розподілів еліптичності поляризації лазерних зображень зрізів міокарда.

#### Література

1. **Angelsky O.V.** Investigation of 2D Mueller matrix structure of biological tissues for preclinical diagnostics of their pathological states / O.V. Angelsky, Yu. Ya. Tomka, A.G. Ushenko at all // J. Phys. D: Appl. Phys. 38. – 2005. - p. 4227-4235.
2. **Angelsky O. V.** Polarization-correlation mapping of biological tissue coherent images / O.V. Angelsky, A.G. Ushenko, Yu. A. Ushenko at all // J. Biomed. Opt. 10. – 2005.- No. 6, 064025.
3. **Angelsky O.V.** Polarization visualization and selection of biotissue image two-layer scattering medium / O.V. Angelsky, A.G. Ushenko, D.N. Burcovets, Yu. A. Ushenko // J. Biomed. Opt. 10. – 2005. - No. 1, 014010.
4. **Angelsky O.V.** Polarization reconstruction of orientation structure of biological tissues birefringent architectonic nets by using their Mueller-matrix speckle-images / O.V. Angelsky, A.G. Ushenko, Yu. A. Ushenko // J. Holography Speckle 2. – 2005. - p. 72-79.
5. **Boer J.F.** Review of polarization sensitive optical coherence tomography and Stokes vector determination / J.F. Boer, T. E. Milner // J. Biomed. Opt. 7. – 2005. - p. 359-371.
6. **Boer J.F.** Two dimensional birefringence imaging in biological tissue using phase and polarization sensitive optical coherence tomography /J.F. de Boer, T.E. Milner, J.S. Nelson // In: Trends in Optics and Photonics (TOPS): Advances in Optical

- Imaging and Photon Migration. OSA, Washington, DC, 1998.
7. **Ushenko A.G.** Laser Polarimetry of Biological Tissue. Principles and Applications, In: Coherent-Domain Optical Methods. Biomedical Diagnostics, Environmental and Material Science (V. Tuchin, ed.) / A.G. Ushenko, V. P. Pishak // Kluwer Academic Publishers, - 2004. - p. 67-93.
8. **Ushenko Yu. A.** Statistical structure of polarization-inhomogeneous images of biotissues with different morphological structures / Ushenko Yu. A // Ukrainian Journal of Physical Optics 6, – 2005.- No. 2. - p. 63-70.
9. **Ushenko A. G.** Wavelet-analysis of two-dimensional birefringence images of architectonics in biotissues for the diagnostics of pathological changes / A. G. Ushenko, D. N. Burkovets // J. Biomed. Opt. 9. – 2004. - No. 4. - p. 1023-1028.

## **ВЕЙВЛЕТ АНАЛИЗ КАРТ ЭЛЛИПТИЧНОСТИ ПОЛЯРИЗАЦИИ ЛАЗЕРНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ МИОКАРДА ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ОСТРОЙ КОРОНАРНОЙ НЕДОСТАТОЧНОСТИ. СТАТИСТИЧЕСКИЙ ПОДХОД**

**О. Я. Ванчуляк, В. Т. Бачинский, А.Г. Ушенко, Н.А. Максимчук**

**Резюме.** В работе освещены основные аспекты диагностики острой коронарной недостаточности с помощью вейвлет анализа карт эллиптичности

поляризации лазерных изображений миокарда.

**Ключевые слова:** диагностика, вейвлет анализ, судебно-медицинская экспертиза.

## **WAVELET ANALYSIS OF MAPS OF THE ELIPTICITY OF POLARIZATION FOR LASER IMAGES OF THE MYOCARDIUM IN ORDER TO DIAGNOSE ACUTE CORONARY INSUFFICIENCY, STATISTICAL APPROACH**

**O. Y. Vanchuliak, V.T. Bachinskyi, A. G. Ushenko, N.A. Maksimchuk**

**Resume.** The paper ascertains the principal aspects of diagnosing acute coronary insufficiency by means of the wavelet analysis of the elepticity of

polarization for myocardial laser images.

**Keywords:** diagnostics, wavelet analysis, forensic medical examination.