

Методи дослідження

УДК 616.12-005.4-073.55

О.Я. Ванчуляк

ВЕЙВЛЕТ-АНАЛІЗ КОРЕЛЯЦІЙНОЇ СТРУКТУРИ МАП ЕЛІПТИЧНОСТІ ПОЛЯРИЗАЦІЇ ЛАЗЕРНИХ ЗОБРАЖЕНЬ МІОКАРДА ЗА УМОВ ГОСТРОЇ ШЕМІЇ

Буковинський державний медичний університет, м. Чернівці

Резюме. У роботі висвітлено показники, що об'єктивно свідчать про пошкодження міокарда людини за умов гострої ішемії. Обґрунтовано доцільність використання вейвлет-аналізу кореляційної структури мап

еліптичності поляризації лазерних зображень міокарда для діагностики гострої коронарної недостатності.

Ключові слова: лазерна поляриметрия, вейвлет-аналіз, раптова коронарна смерть, діагностика.

Вступ. Упродовж останніх років проблема раптової смерті є об'єктом прискіпливої уваги фахівців клінічних, морфологічних, біохімічних, біофізичних та інших напрямків медицини. Дана тенденція зумовлена провідною позицією, яку займають хвороби серцево-судинної системи та гостра коронарна недостатність (ГКН), як їх різновид, серед інших нозологій.

Мета дослідження. Пошук та встановлення взаємозв'язку між даними вейвлет-аналізу кореляційної структури мап еліптичності поляризації лазерних зображень міокарда при ГКН.

Матеріал і методи. Матеріалом дослідження були нативні зрізи міокарда людини товщиною 30 ± 5 мкм, виготовлені за допомогою заморожувального мікротома: 17 зразків склали зрізи міокарда померлих від хронічної ішемічної хвороби серця (ХІХС), 14 зразків – забрані від трупів померлих від ГКН. Зрізи досліджували з використанням оптичної схеми в традиційному зображенні поляриметра [1, 8]. Використовували пучок ($\varnothing=10^4$ мкм) He-Ne лазера ($\lambda=0.6328$ мкм) [4, 5]. Локально-масштабний аналіз координатних розподілів еліптичності поляризації $\beta(m \times n)$ лазерних зображень зрізів тканини міокарда проведено програмою MatLab [9, 10]. Проведено лінійне $k_1, \dots, k_m; k=1/n$ сканування МНАТ - вейвлетом із кроком $b=1$ пікс із розмірами вікна $1 \mu m \leq a_{\min} \leq 70 \mu m$. МНАТ – це – вейвлет – функція, друга похідна Гаусової функції [12].

Значення еліптичності поляризації обчислювали за наступним алгоритмом [3]:

Для оцінки розподілів власних значень авто-

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

кореляційних функцій $K(\Delta x)$ на різних масштабах α вейвлет – функції Ψ обчислювалася сукупність їх статистичних моментів 1 – 4-го порядків $M_{j=1,2,3,4}$ [11]:

$$M_1 = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m |K_i| \quad M_2 = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m K_i^2}$$

$$M_3 = \frac{1}{M_2^3} \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m K_i^3 \quad M_4 = \frac{1}{M_2^4} \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m K_i^4$$

Поляризаційні мапи лазерного зображення зрізу тканини становили координатні множини

$$\beta \begin{pmatrix} r_{11} & \cdot & \cdot & r_{1n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ r_{m1} & \cdot & \cdot & r_{mn} \end{pmatrix}$$

значень [6,7].

Результати дослідження та їх обговорення. У результаті сканування обчислено двовимірну сукупність вейвлет-коефіцієнтів для кожного рядка пікселів матриці цифрової камери (рис. 1, рис. 2).

Дослідження автокореляційних функцій $K_\alpha(\Delta x)$ розподілів $W(\alpha_{\min}; b=k1/km)$ на трьох масштабах $\alpha_{\min}=2 \mu m$; $\alpha_{\min}=10 \mu m$; $\alpha_{\min}=30 \mu m$ МНАТ – вейвлету поляризаційних мап $\beta(m \times n)$ лазерних зображень шарів міокарда при ХІХС (рис. 3а) та шарів міокарда за умов ГКН (рис. 3б) показало, що автокореляційні функції $K_\alpha(\Delta x)$ розподілів вейвлет – коефіцієнтів мап еліптичності поляризації лазерних зображень обох груп індивідуальні для кожного масштабу ($\alpha_{\min}=10 \mu m; 30 \mu m$) МНАТ - вейвлету.

Аналіз автокореляційних залежностей $K_\alpha(\Delta x)$ виявив їх осцилюючий тип на всіх масштабах поляризаційної мапи $\beta(m \times n)$.

Виявлені особливості кореляційної структури розподілів вейвлет – коефіцієнтів поляризаційних мап лазерних зображень зрізів міокарда, на нашу думку, пов'язані з високим ступенем самоподібності розподілів напрямів оптичних осей ρ і фазових зсувів δ полікристалічних міозинових фібрилярних структур [2] на всіх масштабах аналізу ($\alpha_{\min}=10 \mu m; 30 \mu m$) МНАТ – вейвлету.

Аналіз статистичних моментів 1-4-го порядків, які характеризують автокореляційні функції $K_\alpha(\Delta x)$ залежностей $W_{[(\alpha_{\min}=2 \mu m; 10 \mu m; 30 \mu m); (b=k1/km)]}(\beta)$ виявив різну динаміку зміни величин $M_{j=1,2,3,4}$ зі збільшенням масштабу α_{\min} МНАТ – вейвлет (таблиця).

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

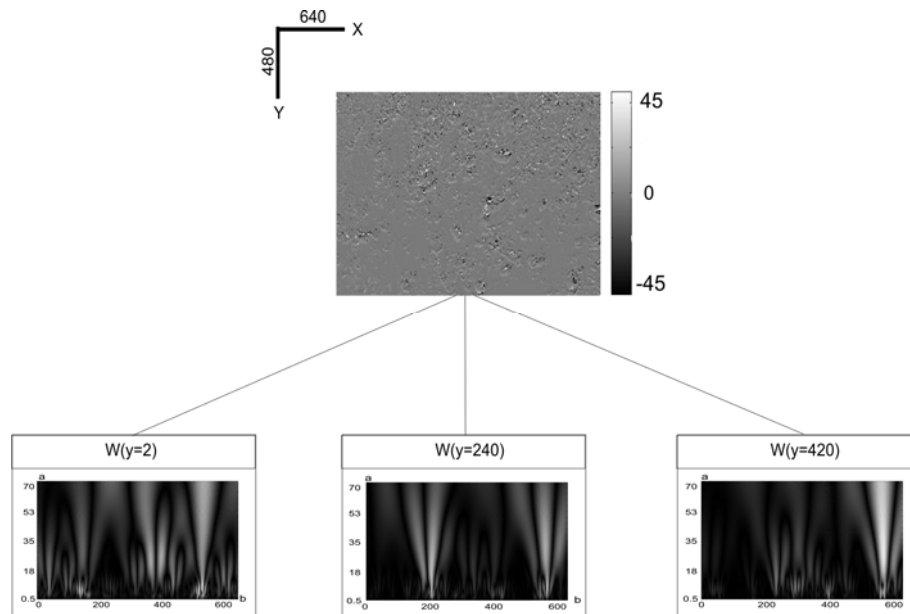


Рис. 1. Розподіли вейвлет – коефіцієнтів $W(\alpha_{min}; b=k1/km)$ поляризаційної мапи еліптичності $\beta(m*n)$ поляризації лазерного зображення міокарда групи 1 для різних рядків CCD – камери:

а) - $k=2$; б) - $k=240$; в) - $k=420$

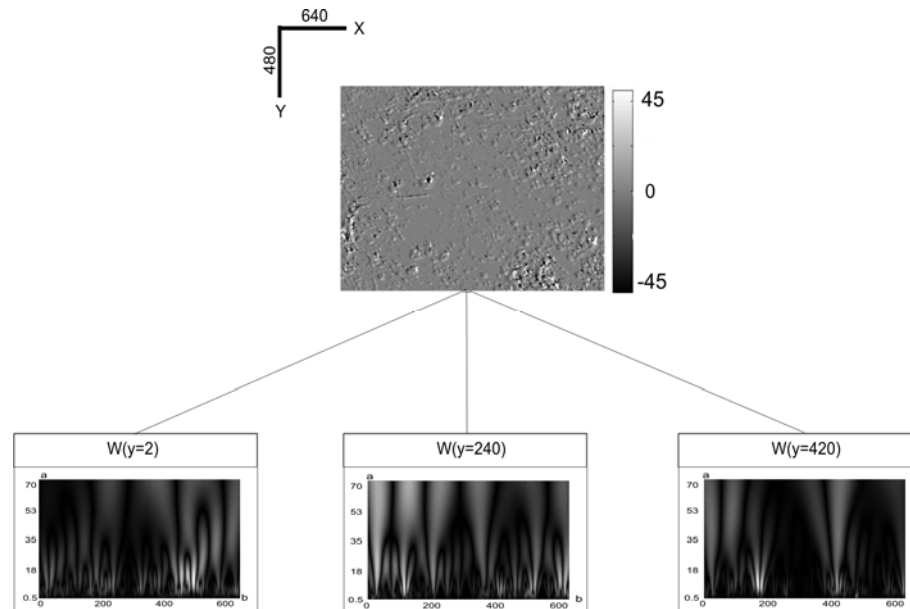


Рис. 2. Розподіли вейвлет – коефіцієнтів $W(\alpha_{min}; b=k1/km)$ поляризаційної мапи еліптичності $\beta(m*n)$ поляризації лазерного зображення шару міокарда групи 2 для різних рядків CCD – камери:

а) - $k=2$; б) - $k=240$; в) - $k=420$

1. Суттєві відмінності (у межах 2,2 раза) величини дисперсії автокореляційної функції $K_\alpha(\Delta x)$ розподілу $W_{[(\alpha_{min}=2\mu m; 10\mu m; 30\mu m); (b=k1/km)]}(\beta)$, на масштабі $\alpha_{min}=2\mu m$ МНАТ – вейвлету.

2. Значне збільшення розбіжностей величин статистичних моментів 3-го (у 2,5 – 4,4 раза) і 4-го (у 2,1 – 3,2 раза) порядків автокореляційних функцій $K_\alpha(\Delta x)$ розподілів $W_{[(\alpha_{min}=2\mu m; 10\mu m; 30\mu m); (b=k1/km)]}(\beta)$, визначених для більших масштабів $\alpha_{min}=10\mu m; 30\mu m$ МНАТ – вейвлету.

Виявлені відмінності статистичних моментів $M_{j=1;2;3;4}$, які характеризують автокореляційні функції $K_\alpha(\Delta x)$ розподілів $W_{[(\alpha_{min}=2\mu m; 10\mu m; 30\mu m); (b=k1/km)]}(\beta)$, можна пов'язати з тим, що гостра коронарна недостатність найбільш виразно виявляється у

змінах оптико-фізичних властивостей тканини міокарда на малих масштабах міозинових структур. Такий процес призводить до 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 поляризації $\beta(m*n)$ відповідних лазерних зображень шару міокарда у випадку гострої коронарної недостатності.

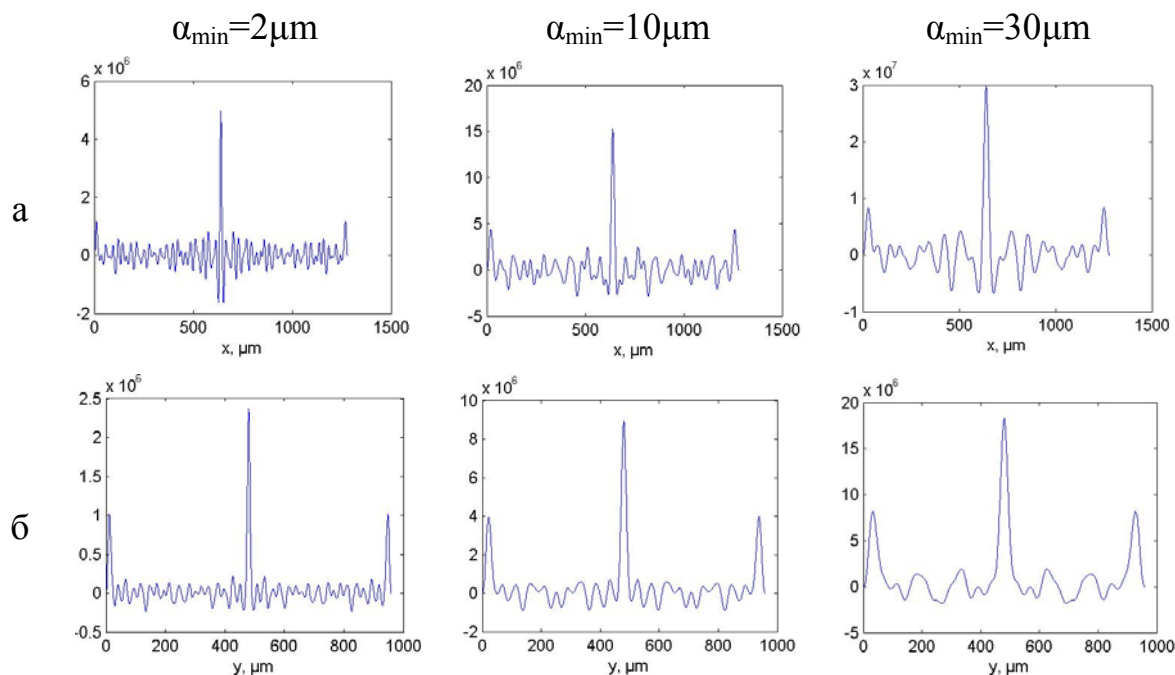


Рис. 3. Автокореляційні функції $K_{\alpha}(\Delta x)$ розподілів величини вейвлет – коефіцієнтів $\bar{W}[(a_{\min} = 2 \mu m ; 10 \mu m ; 30 \mu m) , (b = k 1 \div km)]$ поляризаційної мапи еліптичності $\beta(m*n)$ поляризації зображення міокарда:

а) – зображення міокарда контрольної групи; б) – групи померлих від ГКН

Таблиця

Статистичні моменти 1– 4-го порядків автокореляційних функцій $K_{\alpha}(\Delta x)$ розподілу вейвлет – коефіцієнтів поляризаційних мап еліптичності $\beta(m*n)$ лазерних зображень зрізів міокарда за умов хронічної ішемічної хвороби серця та гострої коронарної недостатності

ХІХС			ГКН		
α_{\min}	M_j		α_{\min}	M_j	
$\alpha_{\min}=2\mu m$	M_1	$0,75\pm 0,086$	$\alpha_{\min}=2\mu m$	M_1	$0,69\pm 0,084$
	M_2	$0,12\pm 0,018$		M_2	$0,25\pm 0,033$
	M_3	$0,29\pm 0,038$		M_3	$0,74\pm 0,087$
	M_4	$0,47\pm 0,062$		M_4	$1,02\pm 0,13$
$\alpha_{\min}=10\mu m$	M_j		$\alpha_{\min}=10\mu m$	M_j	
	M_1	$0,64\pm 0,071$		M_1	$0,54\pm 0,067$
	M_2	$0,17\pm 0,024$		M_2	$0,27\pm 0,036$
	M_3	$0,73\pm 0,085$		M_3	$2,39\pm 0,36$
$\alpha_{\min}=30\mu m$	M_j		$\alpha_{\min}=30\mu m$	M_j	
	M_1	$0,57\pm 0,069$		M_1	$0,49\pm 0,058$
	M_2	$0,23\pm 0,031$		M_2	$0,34\pm 0,038$
	M_3	$0,92\pm 0,14$		M_3	$4,83\pm 0,56$
	M_4	$1,12\pm 0,17$	M_4	$3,84\pm 0,43$	

Висновок

Нами продемонстровано діагностичну ефективність методу вейвлет – аналізу координатних розподілів еліптичності поляризації лазерних зображень зрізів тканини міокарда при виявленні рівня оптичних змін серцевого м’яза людини при його гострому ішемічному пошкодженні.

Перспектива подальших досліджень.

Подальші дослідження структури міокарда за умов гострої коронарної недостатності за допомогою лазерної поляриметрії дадуть можливість створити базу характеристик її зображень, як теоретичну основу для практичної діагностики даного виду патології.

Автор висловлює щирю подяку доктору фізико-математичних наук, завідувачу кафедри оптики і спектроскопії, проректору з наукової роботи Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича, професору Ушенку Олександрові Григоровичу та колективу його лабораторії за детальне обговорення результатів роботи та стимулювальні дискусії.

Література

1. 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.
2. 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. – 2005. – Speckle 2. – P. 72-79.
3. Birefringence characterization of biological tissue by use of optical coherence tomography / M.J. Everett, K. Shoenenberger, B.W. Colston [et al.] // Opt. Lett. – 1998. – Vol. 23. – P. 228-230.
4. Boer J.F. Review of polarization sensitive optical coherence tomography and Stokes vector determination / J.F. de Boer, T.E. Milner // J. Biomed. Opt. 7. – 2002. – P. 359-371.
5. 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 // Trends in Optics and Photonics (TOPS): Advances in Optical Imaging and Photon Migration. OSA, Washington, DC. – 1998. – P. 121.
6. Cowin S.C. How is a tissue built? / S.C. Cowin // J. Biomed. Eng. – 2000. – Vol. 122. – P.553-568.
7. Investigation of 2D Mueller matrix structure of biological tissues for pre-clinical diagnostics of their pathological states / O. Angelsky, Yu. Tomka, A. Ushenko [et al.] // J. Phys. D: Appl. Phys. – 2005. – Vol. 38. – P. 4227-4235.
8. Polarization-correlation mapping of biological tissue coherent images / O. Angelsky, A. Ushenko, Yu. Ushenko [et al.] // J. Biomed. Opt. – 2005. – Vol. 10, № 6. – ID. 064025.
9. Polarization visualization and selection of biotissue image two-layer scattering medium / O.V. Angelsky, A.G. Ushenko, D.N. Burcovets [et al.] // J. Biomed. Opt. – 2005. – Vol. 10, № 1. – ID. 014010.
10. Ushenko A.G. Coherent-Domain Optical Methods: Biomedical Diagnostics, Environmental and Material Science / A.G. Ushenko, V.P. Pishak // Laser Polarimetry of Biological Tissue. Principles and Applications [edited by V.V. Tuchin] – Boston: Kluwer Academic Publishers. – 2004. – P. 67-93.
11. Ushenko Yu. Statistical structure of polarization-inhomogeneous images of biotissues with different morphological structures / Yu. Ushenko // Ukr. J. Phys. Opt. – 2005. – Vol. 6, № 2. – P. 63-70.
12. 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. – 2004. – Vol. 9, № 4. – P. 1023-1028.

ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ КАРТ ЭЛИПТИЧНОСТИ ПОЛЯРИЗАЦИИ ЛАЗЕРНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ МИОКАРДА В УСЛОВИЯХ ОСТРОЙ ИШЕМИИ

О.Я. Ванчуляк

Резюме. В статье отражены показатели, которые объективно свидетельствуют о повреждении миокарда человека в условиях острой ишемии. Обоснована целесообразность употребления вейвлет-анализа корреляционной структуры карт эллиптичности поляризации лазерных изображений миокарда для диагностики острой коронарной недостаточности.

Ключевые слова: лазерная поляриметрия, вейвлет-анализ, внезапная коронарная смерть, диагностика.

WAVELET ANALYSIS OF CORRELATION STRUCTURE OF ELIPTICITY MAPS OF THE MYOCARDIUM UNDER THE CONDITIONS OF ACUTE ISHEMIA

O.Ya. Vanchuliak

Abstract. The paper ascertains the indices that are objectively indicative of human myocardial damage under the conditions of acute ischemia. The author has substantiated the expediency of using the wavelet analysis of the correlation structure of ellipticity maps of polarizing laser images of the myocardium in order to diagnose acute coronary insufficiency.

Key words: laser polarimetry, wavelet analysis sudden coronary death, diagnostics.

Bukovinian State Medical University (Chernivtsi)

Рецензент – проф. М.В.Шаплавський

Buk. Med. Herald. – 2012. – Vol. 16, № 1 (61). – P. 196-199

Надійшла до редакції 25.03.2011 року