

ВИКОРИСТАННЯ ФРАКТАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ПОЛЯРИЗАЦІЙНО-НЕОДНОРІДНИХ ЛАЗЕРНИХ ЗОБРАЖЕНЬ МІОКАРДА ПРИ ВСТАНОВЛЕННІ ГОСТРОЇ КОРОНАРНОЇ НЕДОСТАТНОСТІ

О.Я. Ванчуляк

Буковинський державний медичний університет

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФРАКТАЛЬНОГО АНАЛИЗА ПОЛЯРИЗАЦИОННО-НЕОДНОРОДНЫХ ЛАЗЕРНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ МИОКАРДА ПРИ ДИАГНОСТИКЕ ОСТРОЙ КОРОНАРНОЙ НЕДОСТАТОЧНОСТИ

О.Я. Ванчуляк

Буковинский государственный медицинский университет

THE USE OF FRACTAL ANALYSIS OF POLARIZATIONALLY-INHOMOGENEOUS LASER IMAGES OF THE MYOCARDIUM IN ESTABLISHING ACUTE CORONARY INSUFFICIENCY

O.Ya. Vanchuliak

Bukovinian State Medical University

Резюме. Наводиться теоретичне підґрунтя використання фрактального аналізу для аналізу лазерних поляризаційних зображень міокарда людини. Висвітлено основні характеристики зображень міокарда за умов гострої ішемії отримані методом фрактального аналізу. Обґрунтовується перспективність використання фрактального аналізу фазових лазерних зображень міокарда для встановлення раптової серцевої смерті.

Ключові слова. фрактальний аналіз, міокард, судово-медична експертиза, гостра коронарна недостатність.

Резюме. Приводится теоретическое основание использования фрактального анализа для анализа лазерных поляризационных изображений миокарда человека. Освещены основные характеристики изображений миокарда при острой ишемии полученные методом фрактального анализа. Обосновывается перспективность использования фрактального анализа фазовых лазерных изображений миокарда для установления внезапной сердечной смерти.

Ключевые слова. фрактальный анализ, миокард, судебно-медицинская экспертиза, острая коронарная недостаточность.

Summary. There have been provided the theoretical basis of the use of fractal analysis to analyze the laser the myocardium polarization image of a person. There have been stated the basic characteristics of the image in acute myocardial ischemia obtained by the method of fractal analysis. There has been proved the perspective of using fractal analysis of myocardium phase laser images to state a sudden cardiac death.

Key words. fractal analysis, myocardium, forensic examination, acute coronary insufficiency.

Постановка проблеми і аналіз останніх досліджень.

Фібрилярні структури міокарда мають властивості одновісних рідких кристалів. Дані властивості можуть бути виявлені за допомогою їх здатності змінювати площину поляризації лазерного пучка, тобто методом лазерної поляриметрії. У медичній практиці встановлення факту настання смерті внаслідок гострої коронарної недостатності (ГКН) є досить важким завданням, що зумовлено мізерністю морфологічних змін структури серцевого м'язу, особливо, якщо від початку ішемії пройшло не багато часу. Враховуючи достатню поширеність, ГКН є досить частою патологією (до 15%) у практиці судово-медичного експерта перспективно є розробка методів виявлення ГКН.

Мета дослідження. Пошук діагностичних ознак настання смерті внаслідок ГКН шляхом фрактального аналізу мап азимутів поляризації лазерних зображень зрізів тканини міокарда.

Матеріали і методи

Матеріал дослідження був поділений на дві групи 37 зразків міокарда трупів людей, померлих внаслідок ішемічної хвороби серця (ІХС) та 40 зразків міокарда трупів, померлих при ГКН.

Дослідження структури лазерних зображень тканини міокарда проводилося у традиційному розташуванні поляриметра (рис. 1) [3].

У наступному розраховувалися координатні розподіли (поляризаційні мапи) азимутів поляризації зображення біологічного об'єкту з використанням таких співвідношень [6]

$$\beta(m \times n) = \arctg \frac{I_{\min}(m \times n)}{I_{\max}(m \times n)} \quad (1)$$

Фрактальний аналіз розподілів $\beta(m \times n)$ проводився шляхом розрахунку логарифмічних залежностей $\log J(\beta) - \log d^{-1}$ спектрів потужності $J(\beta)$

$$J(\beta) = \int_{-\infty}^{+\infty} \beta \cos 2\pi v d v \quad , (2)$$

де $v = d^{-1}$ просторові частоти, що визначаються геометричними розмірами (d) структурних елементів лазерного зображення плазми крові.

Залежності $\log J(\beta) - \log d^{-1}$ апроксимуються методом найменших квадратів у криві $V(\eta)$, для прямих ділянок яких визначаються кути нахилу η і обчислюються фрактальні F^β розмірності за співвідношенням [1]

$$F^\beta = 3 - \text{tg} \eta \quad , (3)$$

Для оцінки розподілів $\log J(\beta) - \log d^{-1}$ обчислювалася сукупність статистичних моментів 1–4-го порядків за наступними алгоритмами [4]

$$\begin{aligned} Z_1^\alpha &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |J| & Z_2^\alpha &= \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N J^2} \\ Z_3^\alpha &= \frac{1}{(Z_2^\alpha)^3} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N J^3 & Z_4^\alpha &= \frac{1}{(Z_2^\alpha)^2} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N J^4 \end{aligned} \quad , (4)$$

Рис. 2 ілюструє серію поляризаційних зображень оптико-анізотропної матриці (у перехрещених $\Theta = 90^\circ$ площинах пропускання поляризатора 4 і аналізатора 9) зразків тканини міокарда обох груп.

Порівняльний аналіз поляризаційно візуалізованих лазерних зображень зразків міокарда виявив, що незалежно

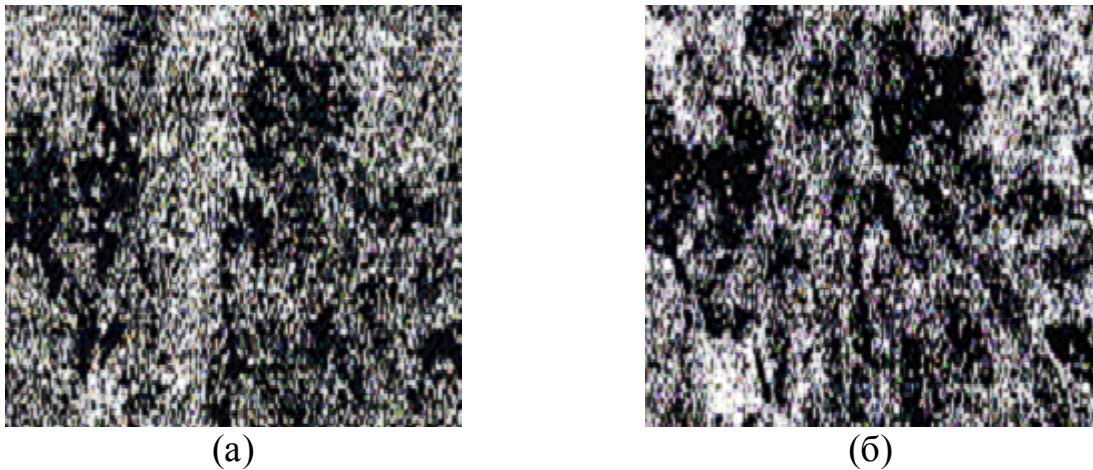


Рис. 1. Лазерні зображення поляризаційно візуалізованої позаклітинної матриці тканини міокарда: (а) – група 1; (б) – група 2.

від причини настання смерті значний внесок у формування розподілів еліптичності поляризації дають оптико анізотропні структури міозинові структури.

Даний факт підтверджує наявність великої кількості світлих ділянок, поляризаційно трансформованих внаслідок впливу оптичної анізотропії речовини міозину у зображеннях гістологічних зрізів зразків міокарда обох груп [5].

Для зображення зразку тканини міокарда групи 1 (рис. 1а) характерний достатньо рівномірний розподіл площі світлих ділянок, які відповідають міозиновим фібрилам позаклітинної матриці міокарда.

Морфологічні зміни тканини міокарда внаслідок гострої коронарної недостатності виявляються у формуванні локальних кластерів анізотропних структур - у відповідних візуалізованих зображеннях позаклітинної матриці гістологічних зрізів таких тканин (рис. 1б) спостерігається певна координатна локалізація світлих ділянок.

Слід очікувати, що якісно проаналізовані оптичні прояви змін морфологічної будови тканини міокарда внаслідок різних причин настання смерті більш виразно виявляться у відмінностях величин і діапазонів зміни статистичних

моментів 1– 4-го порядків (співвідношення (4)), які характеризують логарифмічні залежності спектрів потужності (співвідношення (2)) розподілів еліптичності поляризації лазерних мікроскопічних зображень досліджуваних зразків.

Результати та їх обговорення

На рис. 2 наведено координатні розподіли еліптичності поляризації β та гістограми їх значень у лазерному зображенні гістологічного зрізу тканини міокарда групи 1.

Наявність двопротенезаломлення речовини міозинових фібрил позаклітинної матриці тканини міокарда групи 1 ілюструє, що гістограма випадкових значень β (рис. 2б) дещо асиметрична відносно головного екстремуму ($\beta_0 = 45^\circ$).

Двовимірний ($m \times n$) розподіл еліптичності поляризації β (ліва частина) і гістограми їх випадкових значень (права частина) у лазерному зображенні гістологічного зрізу тканини міокарда групи 1.

Таку особливість двовимірного розподілу $\beta(m \times n)$ можна пов'язати з певною переважною просторовою орієнтацією протеїнових фібрил, що призводить до збільшення ймовірності відповідних значень еліптичності поляризації

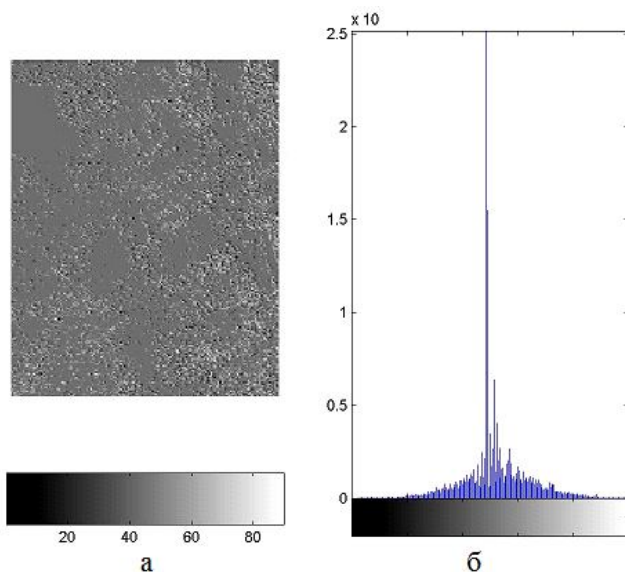


Рис. 2. Лазерне зображення зрізу міокарда першої групи: а) - двовимірний ($m \times n$) розподіл фаз $\delta(m \times n)$ зображення; б) - гістограми випадкових значень зображення

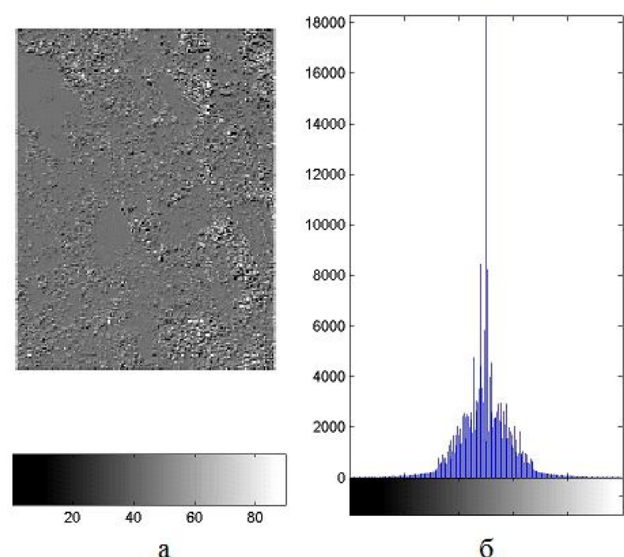


Рис. 3. Лазерне зображення зрізу міокарда другої групи: а) - двовимірний ($m \times n$) розподіл фаз $\delta(m \times n)$ зображення; б) - гістограми випадкових значень зображення

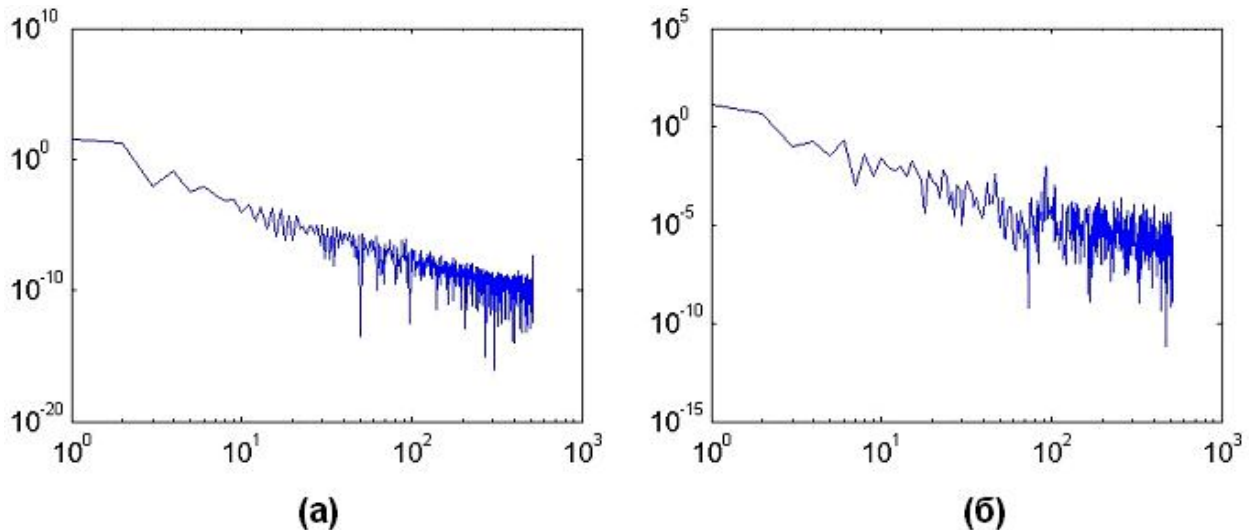


Рис. 4. Залежності $\log J(\beta) - \log d^{-1}$ лазерних зображень гістологічних зрізів тканини міокарда: а – першої групи; б - другої групи

лазерного зображення.

Поляризаційна мапа і гистограма значень еліптичності поляризації лазерного зображення гістологічного зрізу тканини міокарда групи 2 показані на рис. 3.

Аналіз координатної структури поляризаційної мапи (рис. 3а) свідчать про деяке зростання двоприменезаломлення (ділянки з відмінними від 45° значеннями β) речовини позаклітинної матриці зразку тканини міокарда групи 2.

Встановлено логарифмічні залежності спектрів потужності розподілів еліптичності поляризації лазерних зображень гістологічних зрізів тканини міокарда обох досліджуваних груп (рис. 4)

З одержаних даних видно, що розподіли еліптичності поляризації лазерних зображень гістологічних зрізів тканини міокарда групи 1 і групи 2 різні.

Для групи 1 розподіл $\beta(m \times n)$ фрактальний – залежність $\log J(\beta) - \log d^l$ характеризується постійним нахилом $= \text{const}$ апроксимуючої кривої $V(\eta)$.

Для групи 2 розподіл $\beta(m \times n)$ статистичний – для апроксимуючих кривих $V(\eta)$ відсутнє стабільне значення кута нахилу $\eta \neq \text{const}$.

Обчислено значення і діапазони зміни величини статистичних моментів Z_k^β , які характеризують розподіли логарифмічних залежностей $\log J(\beta) - \log d^{-1}$ еліптичності поляризації лазерних зображень гістологічних зрізів тканини міокарда обох груп (табл. 1).

Таблиця 1. Значення середнього, дисперсії, асиметрії та ексцесу логарифмічних розподілів лазерних зображень зрізів тканини міокарда

Z_k^β	Група 1 (17 зразків)	Група 2 (14 зразків)
Z_1^β	0,57±0,064	0,59±0,065
Z_2^β	0,32±0,035	0,46±0,049
Z_3^β	1,43±0,16	3,42±0,36
Z_4^β	1,64±0,23	5,14±0,63

Висновки

Отримані експериментальні дані надають підґрунтя для використання фрактального аналізу лазерних поляриметричних зображень для діагностики гострої коронарної недостатності, що базується на наступному:

- розподіли азимутів поляризації лазерних зображень тканин міокарда з гострою коронарною недостатністю статистичні;
- відмінності між дисперсією Z_2^β складають 1,45 рази; асиметрією Z_3^β , - 2,3 рази та ексцесом Z_4^β , - 3,4 рази.

Література

1. Angelsky O. V. Complex degree of mutual polarization of biological tissue coherent images for the diagnostics of their physiological state/ O. V. Angelsky, A. G. Ushenko, Y. G. Ushenko// J. Biomed. Opt. – 2005. - Vol. 10(6), 060502.
2. Correlation Microstructure of the Jones Matrices for Multifractal Networks of Biotissues/ E. I. Olar, A. G. Ushenko, Yu. A. Ushenko [at all]// Laser Physics. - 2004. - Vol. 14. - Pp. 1012-1018.
3. Evolution of Statistic Moments of 2D-Distributions of Biological Liquid Crystal Net Mueller Matrix Elements in the Process of Their Birefringent Structure Changes/ A.G. Ushenko, I. Z.Misevich, V. Istrati[at all] //Advances in Optical Technologies. Vol. – 2010. - Article ID 423145.
4. Laser Polarimetry of Pathological Changes in Biotissues / O.V. Angel'skii, A.G. Ushenko A.D. Arheluk [at all] //Optics and Spectroscopy, - 2000. - Vol. 89(6). - P.973-979.
5. On the Feasibilities of Using the Wavelet Analysis of Mueller Matrix Images of Biological Crystals/ O. V. Dubolazov, A. G. Ushenko, V. T. Bachynsky [at all]// Advances in Optical Technologies. - Vol. – 2010. Article ID 162832.
6. Ushenko A. G. Polarization-Phase Mapping and Reconstruction of Biological Tissue Architectonics during Diagnosis of Pathological Lesions /A. G. Ushenko, D.N.Burkovets, Yu. A. Ushenko //Optics and Spectroscopy. 2002. - Vol. 93(3). - P. 449-456.

Одержано 16.09.2013 року.