

О.Я. Ванчуляк

**МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ФРАКТАЛЬНОГО АНАЛІЗУ
ФАЗОВИХ ЛАЗЕРНИХ ЗОБРАЖЕНЬ МІОКАРДА ДЛЯ
ДІАГНОСТИКИ ГОСТРОЇ КОРОНАРНОЇ НЕДОСТАТНОСТІ**

Кафедра патоморфології та судової медицини

(Зав. кафедри – проф. І.С. Давиденко)

Буковинський державний медичний університет

м. Чернівці

Резюме. В статті висвітлено критерії зміни оптичних властивостей міокарда людини, що виникають за умов гострої ішемії та відображаються на фазових лазерних зображеннях. Обґрунтовано доцільність використання фрактального аналізу фазових лазерних зображень міокарда для встановлення причини раптової смерті.

Ключові слова: фрактальний аналіз, структура міокарда, судово-медична експертиза, раптова смерть.

Вступ. Виявлення змін міокарда, що наступили внаслідок гострої ішемії тривалістю до шести годин складає великі труднощі, оскільки міокардіоцити перебувають у стані дистрофії, а некротичні зміни ще не набули достатніх морфологічних проявів. Враховуючи, що гостра коронарна недостатність (ГКН) є досить частою причиною смерті (до 15%) в практиці судово-медичного експерта, актуальною є розробка об'єктивних методів для виявлення ділянок ішемії міокарда. Перспективними в даному спрямуванні є методи аналізу зображень міокарда, отриманих за допомогою лазерної поляриметрії, що ґрунтуються на числових характеристиках оптичних змін ультраструктури міокарда.

Мета дослідження. Пошук критеріїв встановлення причин 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 хронічної ішемічної хвороби серця (ХІХС) та 40 зразків міокарда трупів, померлих при ГКН.

Дослідження поляризаційно-неоднорідних лазерних об'єктних полів біологічних тканин виконувалося в розташуванні інтерферометра Маха-Цандера, оптична схема якого представлена на рис. 1.

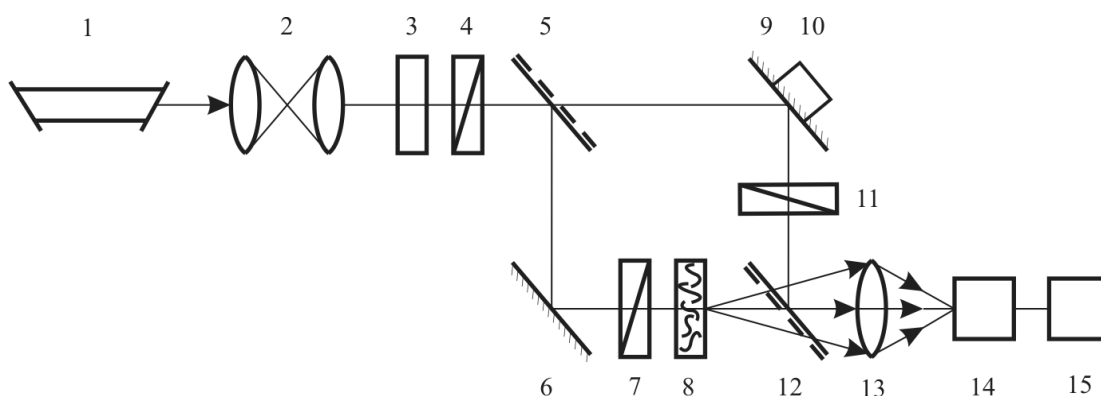


Рис. 1. Оптична схема інтерферометра Маха-Цандера:

1. одномодовий He-Ne лазер з довжиною хвилі $\lambda = 0.6328 \mu\text{m}$; 2. коліматор; 3. поляризатор; 4. чвертьхвильова платівка; 5. світлоподільник; 6. рухоме дзеркало; 7. поляризатор; 8. зріз міокарда; 9. рухоме дзеркало; 10. п'єзоелектричний елемент; 11. поляризатор; 12. світлоподільник; 13. мікροоб'єктив CCD-камери; 14. процесор.

Дослідження проведено за стандартною методикою [2].

Фрактальний аналіз розподілів $\delta(m \times n)$ проводився шляхом розрахунку логарифмічних залежностей $\log J(\delta) - \log d^{-1}$ спектрів потужності $J(\delta)$ [5]:

$$J(\delta) = \int_{-\infty}^{+\infty} \delta \cos 2\pi \nu d\nu, \quad (1)$$

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

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

$$F^\delta = 3 - \text{tg } \eta. \quad (2)$$

Класифікація координатних розподілів $\delta(m \times n)$ проводиться за такими критеріями [3,4]:

- $\delta(m \times n)$ - фрактальні за умови постійного значення кута нахилу $\eta = const$ для 2 - 3 декад зміни розмірів d ;
- $\delta(m \times n)$ - мультифрактальні за умови наявності декількох кутів нахилу $V(\eta)$;
- $\delta(m \times n)$ - випадкові за умови відсутності стабільних кутів нахилу $V(\eta)$ у всьому інтервалі зміни розмірів d .

Для оцінки розподілів $\log J(\delta) - \log d^{-1}$ обчислювали сукупність статистичних моментів 1–4-го порядків $Z_{k=1;2;3;4}^\delta$ з наступними алгоритмами [6,7]

$$Z_1^\delta = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |J|, \quad Z_2^\delta = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N J^2}, \quad Z_3^\delta = \frac{1}{(Z_2^\delta)^3} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N J^3, \quad Z_4^\delta = \frac{1}{(Z_2^\delta)^2} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N J^4. \quad (3)$$

Обговорення результатів дослідження

Отримано серію поляризаційних зображень тканин міокарда (рис.2). Їх порівняльний аналіз виявив, що значний внесок у формування розподілів азимутів поляризації дають оптико анізотропні структури міозинові структури незалежно від причини настання смерті.

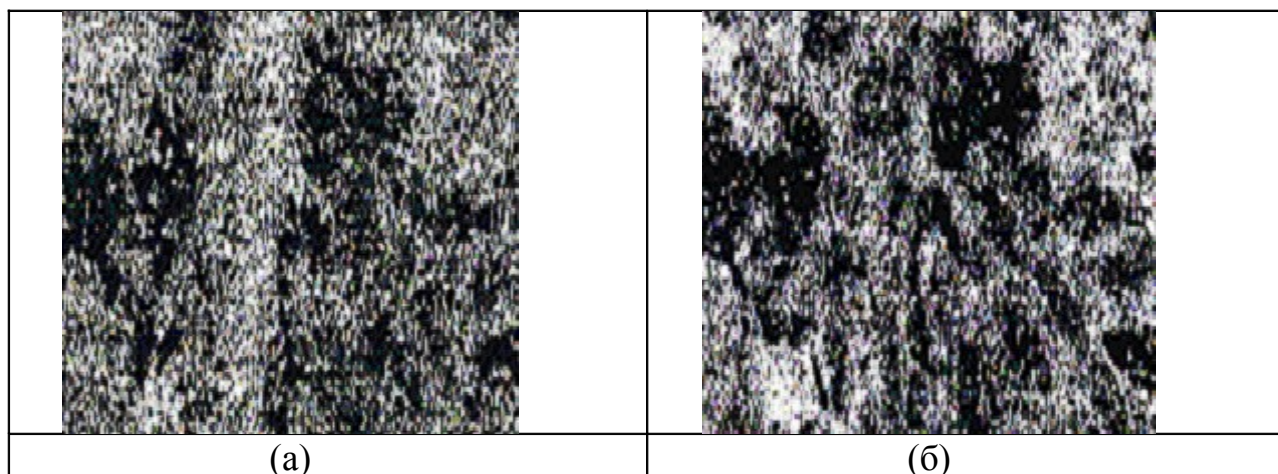


Рис. 2. Лазерні зображення поляризаційно візуалізованої позаклітинної матриці міокарда: а) – при ХІХС, б) – за умов ГКН.

Для зображення зразку тканини міокарду групи 1 (рис. 2а) характерний достатньо рівномірний розподіл площі світлих ділянок, які відповідають міозиновим фібрилам позаклітинної матриці міокарда.

Морфологічні зміни тканини міокарду за умов ГКН виявляються у формуванні локальних кластерів анізотропних структур, про що свідчить координатна локалізація світлих ділянок позаклітинної матриці (рис. 2б).

Оптичні прояви зміни морфологічної будови тканини міокарда більш виразно виявлялись відмінностями величин і діапазонів зміни статистичних моментів 1–4-го порядків (співвідношення (3)), які характеризують логарифмічні залежності спектрів потужності (співвідношення (1)) розподілів фаз лазерних зображень досліджуваних зразків.

Координатний розподіл $\delta(m \times n)$ фазових зсувів (рис. 3а) і гістограму їх випадкових значень (рис. 3б) лазерних зображень зрізу тканини міокарда при ХІХС ілюструють залежності, що наведені на рис. 3. Результати дослідження координатного розподілу фазових зсувів вказують на високу чутливість методу фазометрії до аналізу оптичної анізотропії речовини позаклітинної матриці тканини міокарду. Значення фази δ у площині лазерного зображення змінюється у максимально широкому діапазоні ($0^\circ \leq \Delta\delta \leq 180^\circ$).

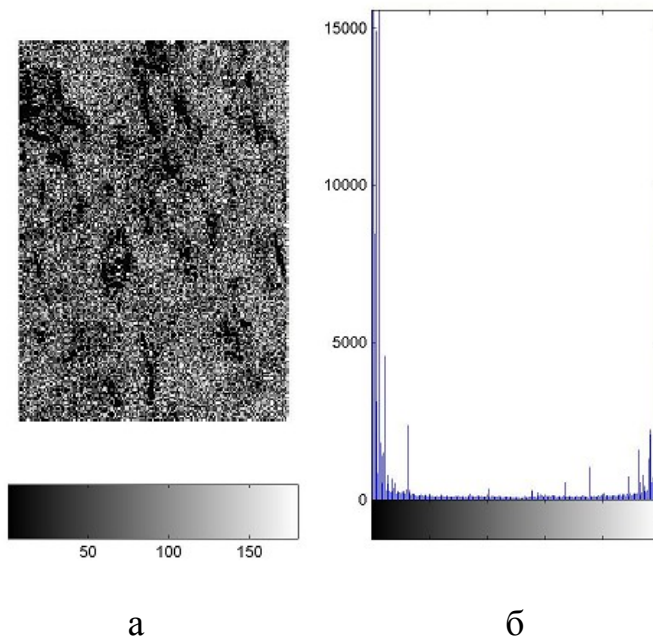


Рис. 3. Лазерному зображення зрізу міокарда при ХІХС: а) - двовимірний ($m \times n$) розподіл фаз $\delta(m \times n)$ зображення; б) - гістограми випадкових значень зображення.

Досліджено координатні фазові розподіли (рис. 4а) та гістограми випадкових значень фазових розподілів (рис. 4б) лазерного зображення зразка тканини міокарда за умов ГКН.

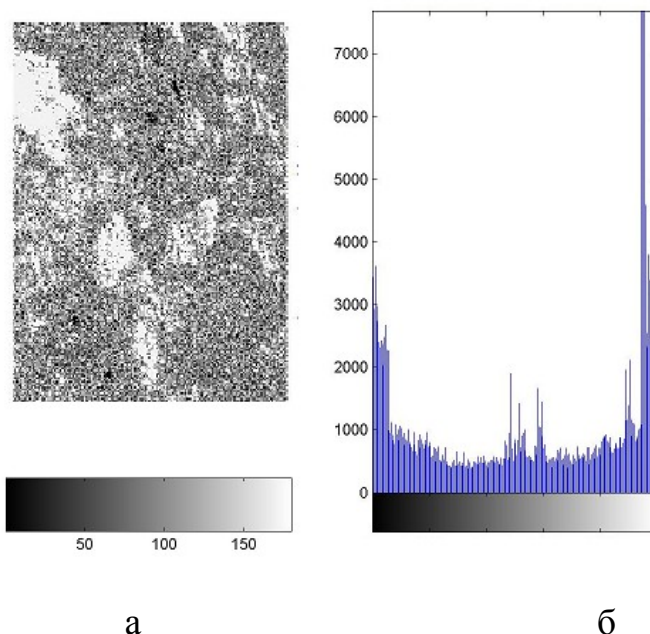


Рис. 4. Лазерне зображення зрізу тканини міокарда при ГКН:

а) - двовимірний $(m \times n)$ розподіл фаз $\delta(m \times n)$; б) - гістограми випадкових значень розподілу фаз.

Порівняльний аналіз фазових мап гістологічних зрізів тканини міокарда обох типів (рис. 3а і рис. 4а) показує, що фазозсуваюча здатність позаклітинної міозинової матриці зразка тканини міокарда групи 2 значно зростає за рахунок збільшення двопронезаломлення. Для відповідних гістограм розподілу випадкових значень фазових зсувів характерний перерозподіл екстремумів у бік максимальних значень $\delta(m \times n) \rightarrow \delta_{\max}$ (рис. 3б і рис. 4б).

Встановлено логарифмічні залежності спектрів потужності розподілів фазових зсувів лазерних зображень зрізів тканини міокарда групи 1(рис. 5а) та групи 2 (рис. 5б).

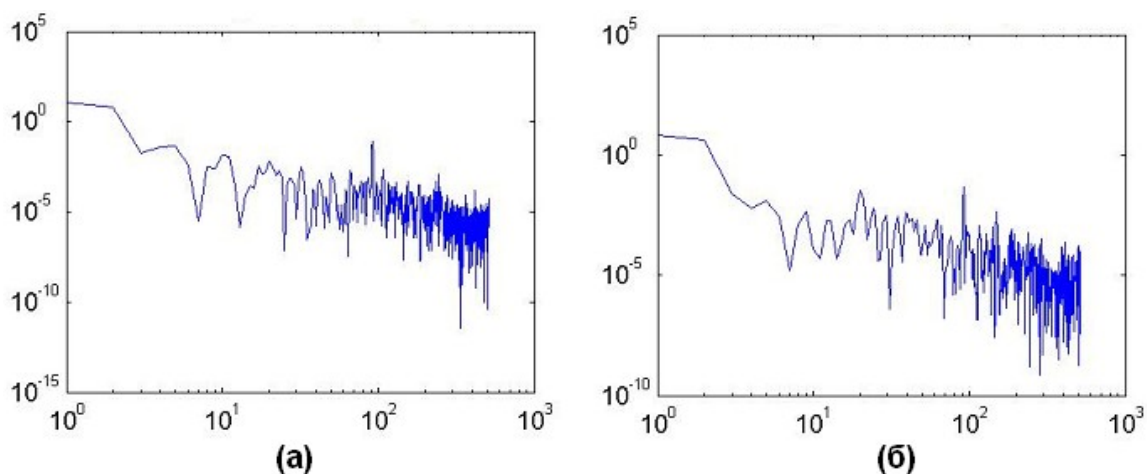


Рис. 5. Залежності $\log J(\delta) - \log d^{-1}$ лазерних зображень зрізів тканини міокарда: а) - при XIXС; б) - при ГКН.

З одержаних даних видно, що розподіли фазових зсувів лазерних зображень гістологічних зрізів тканини міокарда обох груп статистичні – для апроксимуючих кривих $V(\eta)$ відсутнє стабільне значення кута нахилу $\eta \neq const$.

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

Таблиця

Логарифмічний розподіл лазерних зображень зрізів міокарда

Z_k^δ	Група 1 (37 зразків)	Група 2 (40 зразків)
Середнє Z_1^δ	$0,87 \pm 0,087$	$0,93 \pm 0,095$
Дисперсія Z_2^δ	$0,21 \pm 0,023$	$0,47 \pm 0,043$
Асиметрія Z_3^δ	$4,12 \pm 0,53$	$1,36 \pm 0,24$
Ексцес Z_4^δ	$8,17 \pm 0,99$	$1,98 \pm 0,31$

Аналіз даних показав, що відмінності між середнім і Z_1^δ дисперсією Z_2^δ складали 2,03 рази; асиметрією Z_3^δ , - 3,7 рази та ексцесом Z_4^δ , - 4,12 разів.

Висновки. Методом фрактального аналізу фазових лазерних зображень міокарда встановлені характеристики його структури за умов ГКН та ІХС, що не тільки дозволить диференціювати їх між собою, а й встановлювати наявність кожної патології зокрема.

Перспективи подальших досліджень. Зображення міокарда отримані методом інтерферометрії володіють рядом характеристик та закономірностей.

Дані закономірності підлягають статистичному аналізу з використанням різних методів обрахунку. Оскільки встановлення даних характеристик та закономірностей надає можливість проводити діагностику настання смерті внаслідок гострої коронарної недостатності, перспективним є дослідження структури міокарда з використанням різних методів математичного аналізу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Пішак В. П. Лазерна поляриметрична діагностика в біології та медицині / В. П. Пішак, О. Г. Ушенко, О. В. Ангельський, С. Б. Єрмоленко та ін. // Чернівці: Медакадемія, 2000. – 305с.
2. Тучин В. В. Исследование биотканей методами светорассеяния / В. В. Тучин // Успехи физ. наук. – 1997. – Т. 167. – С. 517-539.
3. Angelsky O. V. Investigation of the correlation structure of biological tissue polarization images during the diagnostics of their oncological changes / O. V. Angelsky, A. G. Ushenko, Ye. G. Ushenko // Phys. Med. Biol. – 2005. – Vol. 50. –P. 4811-4822.
4. Angel'skiy O. V. Polarization-based visualization of multifractal structures for the diagnostics of pathological changes in biological tissues / O. V. Angel'skiy, A. G. Ushenko, S. B. Ermolenko, D. N. Burkovets, V. P. Pishak, Yu. A. Ushenko and O. V. Pishak // Optics and Spectroscopy. – 2000. – Vol. 89, №5. – P. 799-804.
5. Cowin S. C. How is a tissue built? / S. C. Cowin // J. Biomed. Eng. – 2000. – Vol. 122. – P. 553-568.
6. Ushenko Yu. A. Statistical structure of polarization-inhomogeneous images of biotissues with different morphological structures / Yu. A. Ushenko // Ukr. J. Phys. Opt. – 2005. – Vol. 6, No.2. – P. 63-70.
7. Ushenko A. G. The Vector Structure of Laser Biospeckle Fields and Polarization Diagnostics of Collagen Skin Structures / A. G. Ushenko // Laser Physics. – 2000. – Vol. 10, №5. – P. 1143-1149.

О.Я. Ванчуляк

**ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФРАКТАЛЬНОГО
АНАЛИЗА ФАЗОВЫХ ЛАЗЕРНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ МИОКАРДА
ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ОСТРОЙ КОРОНАРНОЙ
НЕДОСТАТОЧНОСТИ**

Кафедра патморфологии и судебной медицины

(Зав. кафедры – проф. Давиденко И.С.)

Буковинський державний медичний університет

г. Черновці

Резюме. В статье представлены изменения фазовых лазерных изображений миокарда человека, что возникают при острой ишемии. Обоснована целесообразность использования фрактального анализа фазовых лазерных изображений миокарда для установления причины внезапной смерти.

Ключевые слова: фрактальный анализ, структура миокарда, судебно-медицинская экспертиза, внезапная смерть.

О.Я. Ванчуляк

**ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФРАКТАЛЬНОГО
АНАЛИЗА ФАЗОВЫХ ЛАЗЕРНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ МИОКАРДА
ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ОСТРОЙ КОРОНАРНОЙ
НЕДОСТАТОЧНОСТИ**

Кафедра патморфологии и судебной медицины

(Зав. кафедры – проф. Давиденко И.С.)

Буковинський державний медичний університет

г. Черновці

Резюме. В статье представлены изменения фазовых лазерных изображений миокарда человека, что возникают при острой ишемии. Обоснована целесообразность использования фрактального анализа фазовых лазерных изображений миокарда для установления причины внезапной смерти.

Ключевые слова: фрактальный анализ, структура миокарда, судебно-медицинская экспертиза, внезапная смерть.