

УДК 616.12-005.4-073.55

А.С. Сивокоровська, О.Я.Ванчуляк, І.Л. Беженар, О.Г. Паливода, А.О. Андрійчук

## ПЕРСПЕКТИВИ ДІАГНОСТИКИ ГОСТРОЇ КОРОНАРНОЇ НЕДОСТАТНОСТІ ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ ФРАКТАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ЛАЗЕРНИХ ПОЛЯРИЗАЦІЙНИХ ЗОБРАЖЕНЬ МІОКАРДА

Буковинський державний медичний університет, м. Чернівці

**Резюме.** У статті обґрунтовується перспективність використання методу фрактального аналізу лазерних поляризаційних зображень міокарда людини, акцентується увага на діагностичних критеріях структурних змін серцевого м'яза людини при досліджуваній патології. Дана робота наочно ілюструє простоту виконання

та точність визначення ділянок ішемії міокарда, що є актуальною проблемою сучасної науки.

**Ключові слова:** гостра коронарна недостатність, структурні зміни, діагностика, судово-медична експертиза.

**Вступ.** Діагностика гострої коронарної недостатності є досить складним завданням для судово-медичного експерта. Багато наявних методів є значною мірою суб'єктивними. Разом з тим дослідження останніх років показують, що частота даного стану становить до 10 % усіх випадків розтинів. Тому, враховуючи частоту поширення гострої коронарної недостатності та труднощі діагностики даного стану, перспективним є пошук нових методів встановлення структурних перебудов міокарда людини при гострій коронарній недостатності [1-2].

**Мета дослідження.** Встановити можливості використання фрактального аналізу лазерних поляризаційних зображень міокарда для діагностики гострої коронарної недостатності.

**Матеріал і методи.** Дослідження структури лазерних зображень тканини міокарда проводилося в традиційному розташуванні поляриметра (рис. 1) [6].

Опромінювання проводилося паралельним пучком ( $\varnothing=10^4$  мкм) He-Ne лазера ( $\lambda=0.6328$  мкм) 1). За допомогою поляризаційного освітлювача (чвертьхвильова пластина 3, 5 і поляризатор 4) формувалися різні стани поляризації освітлюючого пучка. Поляризаційні зображення шарів міокарда 6 проектувалися за допомогою мікрооб'єктива 7 у площину світлочутливої площадки (800'600) CCD камери 10. За допомогою обертання осі пропускання аналізатора 9 на кут  $\Theta$  у межах  $=0^\circ - 180^\circ$  визначаються масиви мінімальних і максимальних рівнів інтенсивності  $I_{min}(m \times n)$ ;  $I_{max}(m \times n)$  зображення біологічного об'єкта для кожного окремого пікселя ( $m$ ) CCD-камери і

відповідні їм кути повороту  $\Theta(m \times n)(I(m \times n)) \equiv \min$ . Далі розраховуються координатні розподіли (поляризаційні мапи) азимутів поляризації зображення біологічного об'єкта з використанням співвідношень [8]:

$$\alpha(m \times n) = \Theta(I(m \times n) \equiv \min) - \frac{\pi}{2} \quad (1)$$

Фрактальний аналіз розподілів  $\alpha(m \times n)$  проводиться шляхом розрахунку логарифмічних залежностей  $\log J(\alpha) - \log d^{-1}$  спектрів потужності  $J(\alpha)$  [7]:

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

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

Залежності  $\log J(\alpha) - \log d^{-1}$  апроксимуються методом найменших квадратів у кривій  $V(\eta)$ , для прямих ділянок яких визначаються кути нахилу  $\eta$  і обчислюються фрактальні  $F^a$  розмірності за співвідношенням [3]:

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

Поділ координатних розподілів  $\alpha(m \times n)$  проводиться за такими критеріями [4]: 1)  $\alpha(m \times n)$  - фрактальні, за умови постійного значення кута нахилу  $\eta = \text{const}$  для 2-3 декад зміни розмірів  $d$ ; 2)  $\alpha(m \times n)$  - мультифрактальні, за умови наявності декількох кутів нахилу  $V(\eta)$ ; 3)  $\alpha(m \times n)$  - випадкові, за умови відсутності стабільних кутів нахилу  $V(\eta)$  у всьому інтервалі зміни розмірів  $d$ .

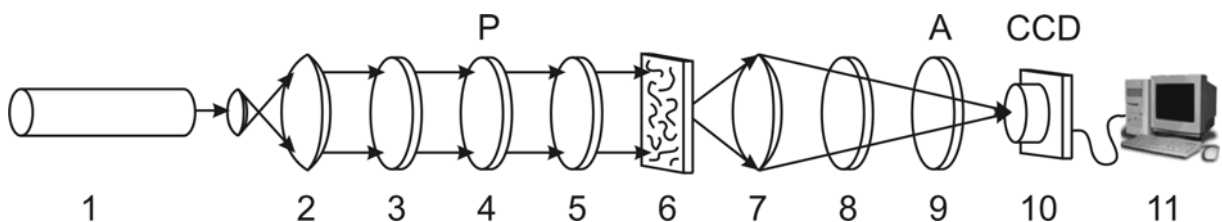


Рис. 1. Оптична схема поляриметра, де: 1 – He-Ne лазер; 2 – коліматор; 3 – чвертьхвильова пластина; 4 – поляризатор; 5 – чвертьхвильова пластина; 6 – об'єкт дослідження; 7 – мікрооб'єктив; 8 – чвертьхвильова пластина; 9 – аналізатор; 10 – CCD камера; 11 – персональний комп'ютер

Для оцінки розподілів  $\log J(\alpha) - \log d^1$  обчислювалася сукупність статистичних моментів 1 – 4-го порядків  $Z_k^\alpha$  за наступними алгоритмами:

$$Z_1^\alpha = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |J|, \quad Z_2^\alpha = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N J^2},$$

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

Як об'єкти дослідження нами використовувалися дві групи нативних гістологічних зрізів тканини міокарда товщиною 30мкм: перша група – зрізи міокарда померлих від ішемічної хвороби серця (ІХС) (77 зразків), друга група – зрізи міокарда померлих за умов ГКН (74 зразки).

#### Результати дослідження та їх обговорення.

Нами отримано серію поляризаційних зображень оптико-анізотропної матриці зразків тканини міокарда обох груп (рис. 2). Порівняльний аналіз поляризаційно візуалізованих лазерних зображень зразків міокарда виявив, що незалежно від причини настання смерті значний внесок у формування розподілів азимутів поляризації дають оптико-анізотропні міозинові структури.

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

Для зображення зразка тканини міокарда групи 1 (рис. 2а) 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 гістологіч-

них зрізів таких тканин (рис. 2б) спостерігається певна координатна локалізація світлих ділянок.

Слід очікувати, що якісно проаналізовані оптичні прояви тенденції зміни 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 азимутів поляризації лазерних мікроскопічних зображень досліджуваних зразків.

Встановлено розподіли  $\alpha(m \times n)$  (рис. 3а) і гістограми (рис. 3б) їх значень для лазерних зображень зразків тканини міокарда першої групи.

Аналіз поляризаційної мапи лазерного зображення гістологічного зрізу тканини міокарда групи 1 показав (рис. 3б), що для гістограми випадкових значень  $\alpha$  характерний максимальний діапазон зміни ( $0^\circ \leq \Delta\alpha \leq 180^\circ$ ) значень азимуту поляризації лазерного випромінювання. Співвідношення величини головного екстремума ( $\alpha_0=90^\circ$ ) і локальних екстремумів складає 1 до 50 (рис. 3, права частина).

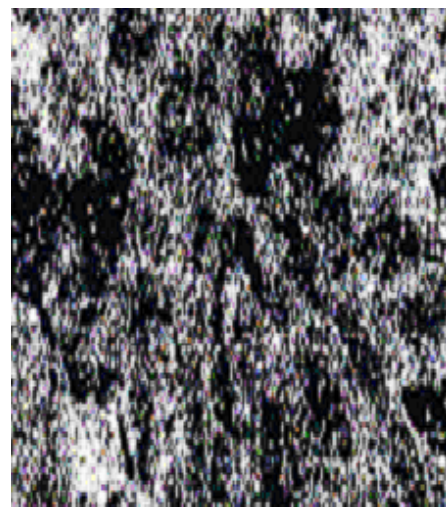
На рис. 4 наведені результати експериментального дослідження поляризаційної мапи  $\alpha(m \times n)$  лазерного зображення гістологічного зрізу тканини міокарда людини з ГКН.

Нами одержані дані про координатний (рис. 4а) і статистичний (рис. 4б) розподіл значень поворотів площини поляризації лазерного випромінювання. Вони свідчать про певне зменшення оптичної активності речовини позаклітинної матриці міозинових фібрил зразка тканини міокарда за умов ГКН - зростає величина головного екстремума значень азимутів поляризації  $\alpha_0=90^\circ$ .

Встановлено логарифмічні залежності спектрів потужності розподілів азимутів поляризації лазерних зображень гістологічних зрізів тканини міокарда групи 1 (рис. 5а) і групи 2 (рис. 5б).



а



б

Рис. 2. Лазерні зображення поляризаційно візуалізованої позаклітинної матриці тканини міокарда: а – першої групи; б – другої групи

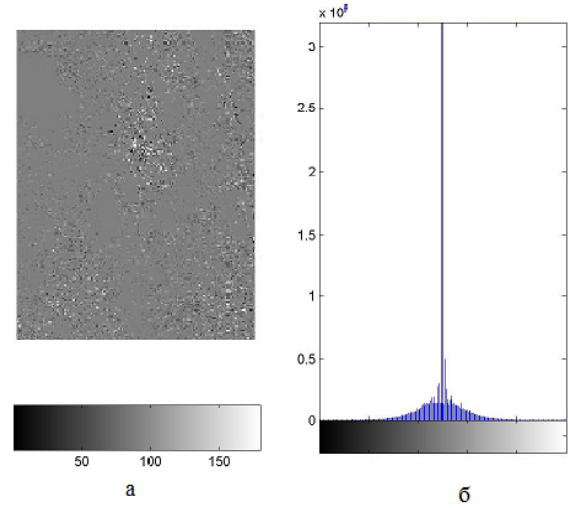
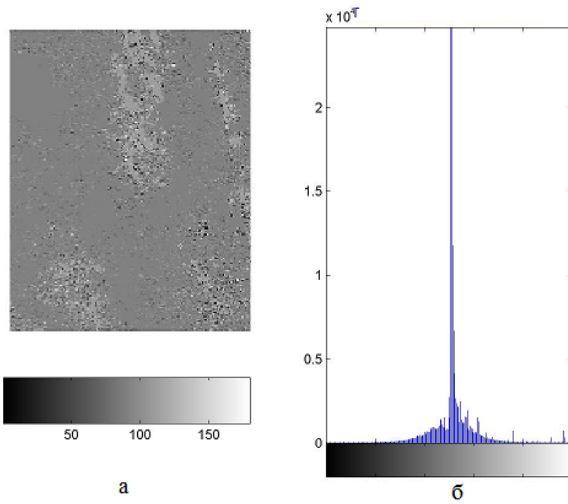


Рис. 3. Лазерне зображення тканини міокарда першої групи: а - двовимірний  $(m \times n)$  розподіл азимутів поляризації  $\alpha$ , б - гістограми випадкових значень азимутів поляризації

Рис. 4. Лазерне зображення тканини міокарда другої групи: а – двовимірний  $(m \times n)$  розподіл азимутів поляризації  $\alpha$ ; б - гістограми випадкових значень азимутів поляризації

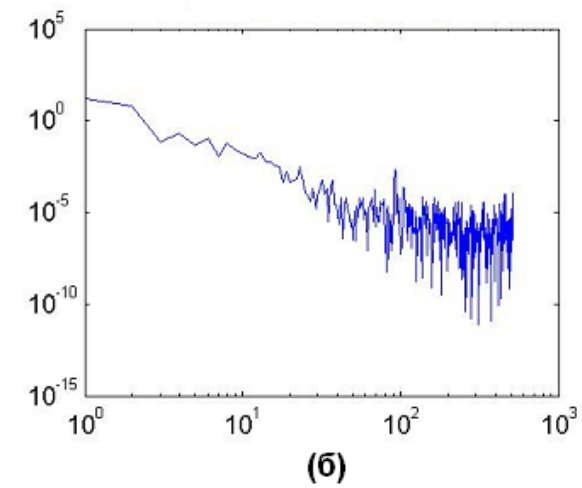
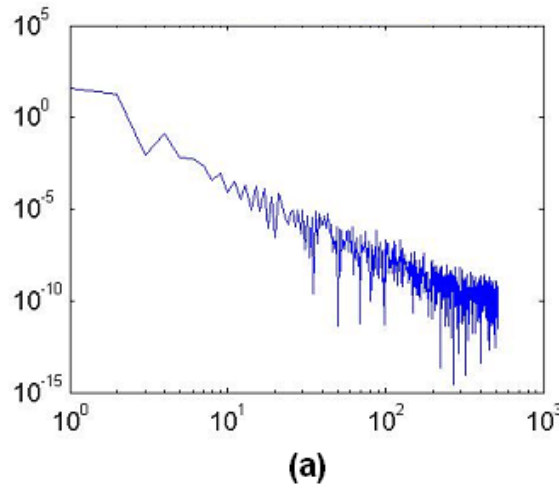


Рис. 5. Залежності  $\log J(\alpha) - \log d^{-1}$  лазерних зображень гістологічних зрізів тканини міокарда: а - першої групи; б – другої групи

Таблиця

**Значення середнього, дисперсії, асиметрії та ексцесу логарифмічних розподілів лазерних зображень гістологічних зрізів тканини міокарда**

$Z_k^\alpha$	Група 1 (77 зразків)	Група 2 (74 зразки)
$Z_1^\alpha$	0,76±0,084	0,79±0,085
$Z_2^\alpha$	0,21±0,023	0,42±0,045
$Z_3^\alpha$	1,31±0,15	5,23±0,62
$Z_4^\alpha$	2,41±0,39	7,48±0,83

На основі отриманих даних ми стверджуємо, що розподіли азимутів поляризації лазерних зображень гістологічних зрізів тканини міокарда першої групи і другої груп різні. Так, для групи 1 розподіл  $\alpha(m \times n)$  фрактальний - залежність  $\log J(\alpha) - \log d^{-1}$  характеризується постійним нахилом  $\eta = \text{const}$  апроксимуючої кривої  $V(\eta)$ . Для групи 2 розподіл  $\alpha(m \times n)$  статистичний - для апроксимуючих кривих  $V(\eta)$  відсутнє стабільне значення кута нахилу  $\eta \neq \text{const}$ .

Значення і діапазони зміни величини статистичних моментів  $Z_k^a$ , що характеризують розподіли логарифмічних залежностей  $\log J(\alpha) - \log d^{-1}$  азимутів поляризації лазерних зображень гістологічних зрізів тканини міокарда обох груп ілюструє таблиця.

### Висновок

Нами встановлено, що розподіли азимутів поляризації лазерних зображень тканин міокарда з гострою коронарною недостатністю статистичні. Найбільш інформативними виявилися статистичні моменти 2–4-го порядків. Установлені наступні діапазони відмінностей між статистичними параметрами: дисперсія  $Z_2^a$  - збільшення у два рази; асиметрія  $Z_3^a$  - у чотири рази та ексцес  $Z_4^a$  - у 3,2 рази, що свідчить про можливість використання методу фрактального аналізу для встановлення гострої коронарної недостатності.

**Перспективи подальших досліджень.** Подальші дослідження структури міокарда при ГКН за допомогою лазерної поляриметрії дадуть мож-

ливість використання теоретичних та експериментальних даних у практиці судового медика.

### Література

1. Внезапная сердечная смерть / Л.А. Бокерия, А.Ш. Ревиншвили, Н.М. Неминуший. - М.: ГЭОТАР-Медиа, 2011. - 272 с.
2. Иванов И.Н. Микроскопические изменения миокарда при острых формах ишемической болезни сердца / И.Н. Иванов, А.Г. Резник // Суд.-мед. экспертиза. - Т. 49, № 1. - С. 3-5.
3. Scattering of Laser Radiation by Multifractal Biological Structures / O.V. Angel'skii, A.G. Ushenko, A.D. Arheluk [et al.] // Optics and Spectroscopy. - 2000. - Vol. 88 (3). - P. 444-448.
4. Polarization Microstructure of Laser Radiation Scattered by Optically Active Biotissues / A.G. Ushenko, S.B. Ermolenko, D.N. Burkovets [et al.] // Optics and Spectroscopy. - 1999. - Vol. 87 (3). - P. 434-439.
5. Statistical and Fractal Structure of Biological Tissue Mueller Matrix Images in Optical Correlation Techniques and Applications / O.V. Angelsky, A.G. Ushenko, Yu.A. Ushenko [et al.] // Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers. - 2007. - P. 213-266.
6. Ushenko A.G. Laser Polarimetry of Biological Tissue: Principles and Applications, in Handbook of Coherent-Domain Optical Methods: Biomedical Diagnostics, Environmental and Material Science / A.G. Ushenko, V.P. Pishak // Kluwer Academic Publishers. - 2004. - Vol. 1. - P. 93-138.
7. Ushenko A.G. Laser diagnostics of biofractals / A.G. Ushenko // Quantum Electronics. - 1999. - Vol. 29 (12). - P. 1078-1084.
8. Ushenko A.G. Polarization Structure of Biospeckles and the Depolarization of Laser Radiation / A.G. Ushenko // Optics and Spectroscopy. - 2000. - Vol. 89 (4). - P. 597-601.

## ПЕРСПЕКТИВНОСТЬ ДИАГНОСТИКИ ОСТРОЙ КОРОНАРНОЙ НЕДОСТАТОЧНОСТИ ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФРАКТАЛЬНОГО АНАЛИЗА ЛАЗЕРНЫХ ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ МИОКАРДА

*А.С. Сивокоровская, О.Я. Ванчуляк, И.Л. Беженарь, О.Г. Паливода, А.О. Андрийчук*

**Резюме.** В статье обосновывается перспективность использования метода фрактального анализа лазерных поляризационных изображений миокарда, акцентируется внимание на диагностических критериях структурных изменений сердечной мышцы человека при данной патологии. Данная работа наглядно иллюстрирует простоту использования и точность обозначения участков ишемии, что актуально в современной науке.

**Ключевые слова:** острая коронарная недостаточность, структурные изменения, диагностика, судебно-медицинская экспертиза.

## A PROSPECT OF ACUTE CORONARY INSUFFICIENCY DIAGNOSING BY MEANS OF FRACTAL ANALYSIS OF LASER POLARIZATION IMAGES OF THE MYOCARDIUM

*A.S. Syvokorovska, O.Ya. Vanchuliak, I.L. Bezhenar, O.G. Palyvoda, A.O. Andriichuk*

**Abstract.** The article grounds a prospect of using the method of fractal analysis of laser polarization images of the myocardium, highlights diagnostic criteria of structural changes of the cardiac muscle in this pathology. This paper illustrates visually how simple and exact may be marked the area with ischemia which is relevant in modern science.

**Key words:** acute coronary insufficiency, structural changes, diagnostics, forensic-medicine expertise.

Bukovinian State Medical University (Chernivtsi)

Рецензент - проф. М.В. Шаплавський

Buk. Med. Herald. - 2014. - Vol. 18, № 2 (70). - P. 245-248

Надійшла до редакції 20.03.2014 року