

О.Я.Ванчуляк

ВДНЗ України «Буковинський державний медичний університет», Чернівці

**Ключові слова:** раптова серцева смерть, судово-медична експертиза, структура міокарда, діагностика.

Надійшла: 12.04.2015

Прийнята: 27.05.2015

DOI: <https://doi.org/10.26641/1997-9665.2015.2.24-28>

УДК 616.12-005.4-073.55

## ДІАГНОСТИКА ГОСТРОЇ КОРОНАРНОЇ НЕДОСТАТНОСТІ МЕТОДОМ МЮЛЛЕР-МАТРИЧНОГО АНАЛІЗУ ОПТИЧНОЇ АНІЗОТРОПІЇ МІОЗИНОВИХ МЕРЕЖ МІОКАРДА. СТАТИСТИЧНИЙ І ФРАКТАЛЬНИЙ ПІДХІД

**Реферат.** Гостра коронарна недостатність є досить частою патологією в практиці судово-медичного експерта. При цьому за умов короткочасного періоду вмирання діагностика змін у тканині міокарда є досить складним завданням. Саме тому визначення критеріїв гострої коронарної недостатності є актуальним для судової медицини.

**Morphologia.** – 2015. – Т. 9, № 2. – С. 24-28.

© О.Я.Ванчуляк, 2015

✉ [sudmed@bsmu.edu.ua](mailto:sudmed@bsmu.edu.ua)

**Vanchuliak O.Ya. Diagnostics of the acute coronary insufficiency by the method of Muller-matrix analysis of the optic anisotropy of myosin networks of the myocardium. A statistical and fractal approach.**

**ABSTRACT. Background.** The acute coronary insufficiency is a common pathology in the practice of forensic experts. A small window of opportunity to study changes in myocardial tissue after death is a challenge for forensic experts. It is known that the established methods of detecting lesions of acute ischemia that are used in forensic practice need to be considerably updated since they depend on a multitude of internal and external environmental factors, require expensive reagents and are time consuming. These are precise reasons for searching and improving existing methods of diagnostics of myocardial changes to develop objective criteria for forensic determination of acute ischemic myocardial injury. **Objective.** To study the structure of the human myocardium under the acute coronary insufficiency using Mueller - matrix analysis of the optical anisotropy myosin networks of myocardium using a statistical and fractal approach. **Methods.** The study of myocardial samples was conducted with a laser polarimeter with subsequent analysis of the results in the MathLab 6 program. The object of the study was native myocardial sections of people who died as a result of acute coronary insufficiency and chronic ischemic heart disease. **Results.** We have revealed that in acute coronary insufficiency there was a decrease (20-fold) in the number of extreme values of the "orientational" Mueller matrix element of myocardial tissue. In other words, there is a clear disorientation of the optical axes of myosin fibrils in cases of acute coronary insufficiency comparing with chronic ischemic heart disease. **Conclusion.** We can assert the essential diagnostic sensitivity of laser polarimetry to differentiate death due to chronic ischemic heart disease and acute coronary insufficiency.

**Key words:** sudden cardiac death, forensic medical examination of the myocardial structure, diagnostics.

### Citation:

Vanchuliak OYa. [Diagnostics of the acute coronary insufficiency by the method of Muller-matrix analysis of the optic anisotropy of myosin networks of the myocardium. A statistical and fractal approach]. *Morphologia*. 2015;9(2):24-8. Ukrainian.

### Вступ

Критерії змін структури міокарда та методи їх визначення при гострій коронарній недостатності (ГКН) повинні задовольняти ряд вимог: бути простими в визначенні, швидкими в виконанні та однозначні в трактуванні [1].

На нашу думку,\* такі вимоги задовольняє дослідження матеріалу за допомогою комп'ютерного аналізу.

Встановлено, що тканина міокарда – це двокомпонентна аморфно-кристалічна структура. Кристалічний компонент є сіткою, що складаєть-

ся з протеїнових (колаген, міозин, еластин) фібрил. [2, 3]. Протеїнові фібрили володіють властивостями одноосних рідких кристалів, поляризаційні властивості яких описуються матрицею

Мюллера  $\{Z\}$  [4, 5]:

$$\{Z\} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & z_{22} & z_{23} & z_{24} \\ 0 & z_{32} & z_{33} & z_{34} \\ 0 & z_{42} & z_{43} & z_{44} \end{pmatrix}, \quad (1)$$

де

$$z_{ik} = \begin{cases} z_{22} = \cos^2 2\rho + \sin^2 2\rho \cos \delta, z_{23,32} = \cos 2\rho \sin 2\rho (1 - \cos \delta), \\ z_{33} = \sin^2 2\rho + \cos^2 2\rho \cos \delta, z_{34,43} = \pm \cos 2\rho \sin \delta, \\ z_{24,42} = \pm \sin 2\rho \sin \delta, z_{44} = \cos \delta. \end{cases} \quad (2)$$

Тут  $\rho$  – напрям оптичної осі, що визначається укладкою протейнової фібрили з геометричним перерізом  $d$  і показником двопронезаломлення  $\Delta n$ ;  $\delta = 2\pi/\lambda \Delta n d$  – фазовий зсув, який вноситься між ортогональними складовими амплітуди лазерної хвилі довжиною  $\lambda$ .

Таким чином, методами лазерної поляриметрії отримано дані про структуру міокарда, проте на сьогодні залишаються невивченими зміни при ГКН.

**Метою** нашої роботи було дослідження структури міокарда людини за умов ГКН за допомогою Мюллер - матричного аналізу оптичної анізотропії міозинових мереж міокарда статистичним і фрактальним підходом.

#### Матеріали та методи

Дослідження гістологічних зрізів міокарда проводилося лазерним поляриметром з наступним аналізом отриманих результатів програмою MathLab 6. Об'єктом дослідження були зрізи міокарда людей померлих внаслідок ГКН (93 зразки) та хронічної ішемічної хвороби серця (ХІХС) (85 зразків).

В подальшому вираховувались координатні ( $m \times n$ ) розподіли елементів  $Z_{ik}$  матриці Мюллера міокарда [6]. Двовимірний масив “орієнтаційного” Мюллер-матричного елемента  $Z_{22}(m \times n)$  сканувався у горизонтальному напрямку  $x=1, \dots, m$  з

кроком  $\Delta x = 1 \text{ pix}$ . У межах кожної локальної вибірки  $(1_{pix} \times n_{pix})^{(k=1, 2, \dots, m)}$  обчислювалася кількість ( $N$ ) характеристичних значень  $Z_{22}(k)=0$ , - ( $N_0^{(k)}$ ) і  $Z_{22}(k)=1$ , - ( $N_1^{(k)}$ ).

Таким чином, визначалися залежності  $N_0(x) \equiv (N_0^{(1)}, N_0^{(2)}, \dots, N_0^{(m)})$  і  $N_1(x) \equiv (N_1^{(1)}, N_1^{(2)}, \dots, N_1^{(m)})$  кількості екстремальних значень “орієнтаційного” матричного елемента  $Z_{22}$  у межах його координатного розподілу ( $m \times n$ ).

В основу аналізу координатної структури розподілів  $Z_{22}(m \times n)$  та залежностей їх екстремальних значень  $N_0(x)$  і  $N_1(x)$  покладено метод автокореляції [2].

В якості кількісних параметрів, які характеризують автокореляційні залежності  $K(W)$  використовували кореляційну площу, кореляційні моменти  $Q_2$  і  $Q_4$ , які визначають дисперсію та ексцес автокореляційної функції  $K(W)$ . Фрактальний аналіз розподілів  $W$  проводився шляхом розрахунку логарифмічних залежностей  $\log J(W) - \log d^1$  спектрів потужності  $J(W)$ .

Для оцінки розподілів  $\log J(W) - \log d^1$  обчислювалися статистичні моменти 1– 4-го порядків за стандартними алгоритмами [3]

#### Результати та їх обговорення

Встановлена статистична структура залежностей “орієнтаційного” матричного елемента  $N(Z_{22}=0) \equiv N_0$  і  $N(Z_{22}=1) \equiv N_1$  міокарда (рис. 1, 2).

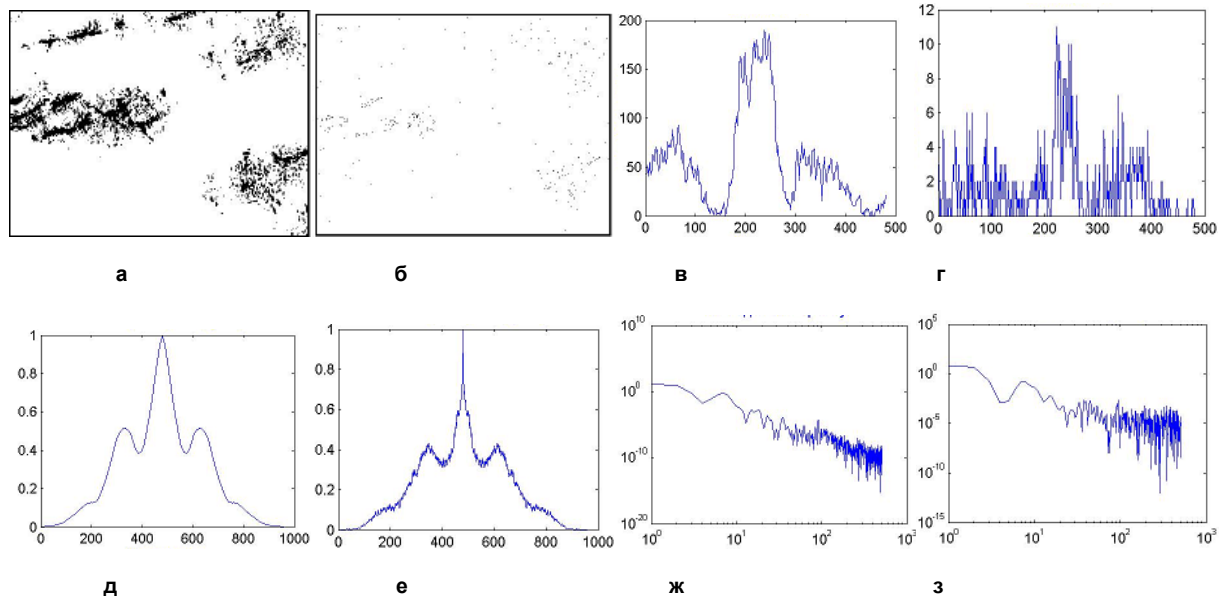


Рис. 1. Екстремальні значення “орієнтаційного” матричного елемента  $Z_{22}=0$  міокарда: а – координатна структура зрізу при ХІХС; б – координатна структура зрізу при ГКН; в – статистична структура зрізу при ХІХС; г – статистична структура зрізу при ГКН; д – кореляційна структура зрізу при ХІХС; е – кореляційна структура зрізу при ГКН; ж – фрактальна структура зрізу при ХІХС; з – фрактальна структура зрізу при ГКН.

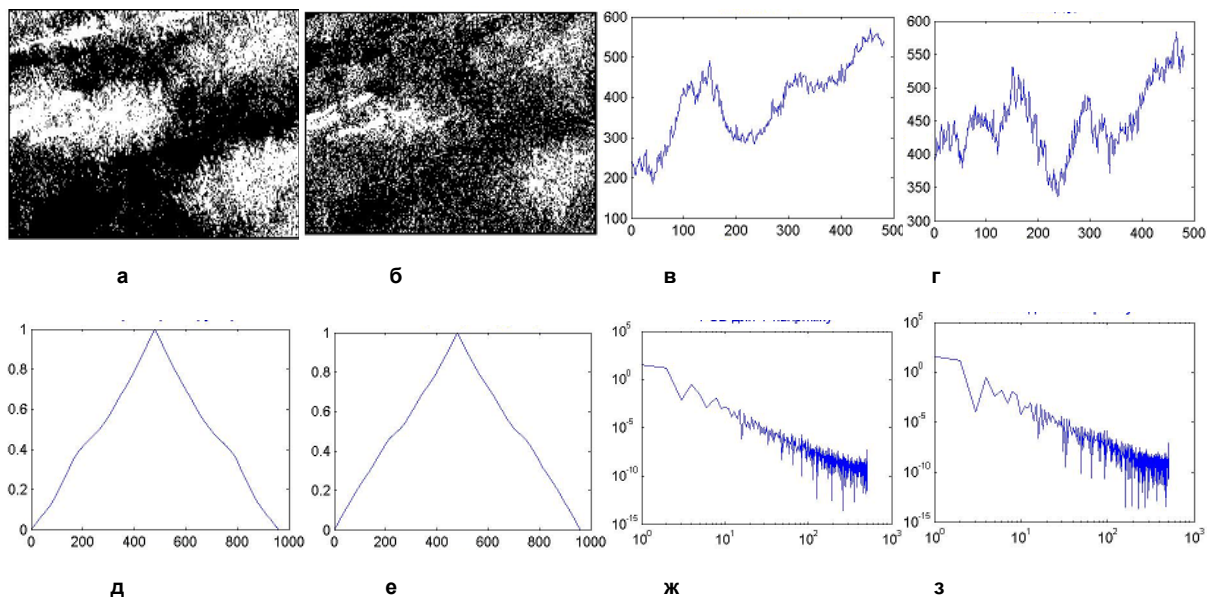


Рис. 2. Екстремальні значення “орієнтаційного” матричного елемента  $Z_{22}=1$  міокарда: а – координатна структура зрізу при XIXC; б – координатна структура зрізу при ГКН; в – статистична структура зрізу при XIXC; г – статистична структура зрізу при ГКН; д – кореляційна структура зрізу при XIXC; е – кореляційна структура зрізу при ГКН; ж – фрактальна структура зрізу при XIXC; з – фрактальна структура зрізу при XIXC.

Даний підхід дозволяє окремо вивчити статистичні прояви двопронезаломлення міозинових фібрил міокарда на двох його екстремальних рівнях: максимальному, оптично анізотропному ( $N(Z_{22} = 1) \equiv N_1$ ) (рис. 1) і мінімальному, оптично ізотропному ( $N(Z_{22} = 0) \equiv N_0$ ) (рис. 2). У результаті досліджень залежностей кількості екстремальних значень  $N(Z_{22} = 1) \equiv N_1$  і  $N(Z_{22} = 0) \equiv N_0$  виявлена суттєва діагностична чутливість до диференціації випадків настання смерті внаслідок XIXC і ГКН. Так для ГКН має місце зменшення (у 20 разів) кількості екстремальних значень  $Z_{22} = 0$  “орієнтаційного” елемента матриці Мюллера тканини міокарда (рис. 1в та рис. 2г відповідно). Тобто наявна значно менша дезорієнтація оптичних осей міозинових фібрил при ГКН у порівнянні з XIXC.

Результати порівняльного дослідження величин діапазонів зміни кореляційної площі  $S(N_0)$ ,  $S(N_1)$ ; дисперсії  $Q_2(N_0)$ ,  $Q_2(N_1)$ ; ексцесу  $Q_4(N_0)$ ,  $Q_4(N_1)$  та статистичних моментів 1 – 4-го порядків  $M_{j=1;2;3;4}(N_0)$ ,  $M_{j=1;2;3;4}(N_1)$  логарифмічних залежностей  $\log J(N_0) - \log d^{-1}$  і  $\log J(N_1) - \log d^{-1}$  спектрів потужності

$J(N_0)$ ,  $J(N_1)$  розподілів  $N(Z_{22} = 0) \equiv N_0$ ,  $N(Z_{22} = 1) \equiv N_1$  кількості екстремальних значень  $Z_{22} = 0$  і  $Z_{22} = 1$  “орієнтаційного” елемента  $Z_{22}(m \times n)$  матриці Мюллера тканини міокарда з XIXC та ГКН представлені в таблиці 1 ( $N(Z_{22} = 0) \equiv N_0$ ) і таблиці 2 ( $N(Z_{22} = 1) \equiv N_1$ ).

З одержаних даних експериментальних досліджень статистичної структури розподілів кількості екстремальних значень фазового елемента матриці Мюллера тканини міокарда обох типів впливає об’єктивна можливість диференціації причини настання смерті і діагностики ГКН.

Найбільш інформативними виявилися статистичні моменти 1 – 4-го порядків  $M_{j=2;3;4}(N_0)$ ,  $M_{j=2;3;4}(N_1)$  логарифмічних залежностей  $\log J(N_0) - \log d^{-1}$  спектрів потужності  $J(N_0)$  розподілів  $N(Z_{22} = 0) \equiv N_0$ , кількості екстремальних значень  $Z_{22} = 0$  “орієнтаційного” елемента  $Z_{22}(m \times n)$  матриці Мюллера тканини міокарда з XIXC та ГКН.

Таблиця 1

Кореляційні і фрактальні параметри залежностей кількості екстремальних значень  $N_0(Z_{22} = 0)$  координатних розподілів  $Z_{22}(m \times n)$  тканини міокарда для випадків XIXC та ГКН

Параметри	Хронічна ішемічна хвороба серця	Гостра коронарна недостатність
$S(N_I)$	0,15±0,024	0,11±0,017
$Q_2(N_I)$	0,12±0,014	0,09±0,009
$Q_4(N_I)$	2,34±0,0036	5,31±0,0048
$M_1(N_I)$	0,45±0,056	0,09±0,0075
$M_2(N_I)$	0,21±0,024	0,68±0,0023
$M_3(N_I)$	1,63±0,0029	3,17±0,0041
$M_4(N_I)$	2,54±0,0038	5,88±0,0049

Примітка:  $p \leq 0,005$ .

Таблиця 2

Кореляційні і фрактальні параметри залежностей кількості екстремальних значень  $N_1(Z_{22} = 1)$  координатних розподілів  $Z_{22}(m \times n)$  тканини міокарда для випадків XIXC та ГКН

Параметри	Хронічна ішемічна хвороба серця	Гостра коронарна недостатність
$S(N_0)$	0,28±0,017	0,3±0,011
$Q_2(N_0)$	0,22±0,0225	0,24±0,028
$Q_4(N_0)$	0,11±0,014	0,1±0,011
$M_1(N_0)$	0,56±0,064	0,53±0,059
$M_2(N_0)$	0,25±0,037	0,28±0,035
$M_3(N_0)$	0,51±0,065	0,59±0,068
$M_4(N_0)$	0,47±0,052	0,54±0,065

Примітка:  $p \leq 0,005$ .

#### Підсумок

Установлені наступні діапазони відмінностей між статистичними параметрами розподілів  $N(Z_{22} = 0) \equiv N_0$ , що характеризують оптично анізотропну складову міокарда з ГКН та XIXC, - середнє  $M_1(N_0)$  (зменшення у 5 разів); дисперсія  $M_2(N_0)$  (збільшення у 3,34 рази); асиметрія  $M_3(N_0)$  (збільшення у 1,94 рази) і ексцес  $M_4(N_0)$  (збільшення у 2,2 рази).

Окрім цього, суттєвих змін зазнає ексцес автокореляційної функції  $K(N_0)$ ,  $Q_4(N_1)$  зростає у 2,33 рази.

#### Перспективи подальших досліджень

Подальше продовження досліджень дозволить виявити нові об'єктивні критерії ішемічних змін міокарда людини при гострій коронарній недостатності, що не тільки покращить діагностичні можливості існуючих методик, але й дозволить відповідати на низку інших актуальних питань судово-медичної практики.

#### Літературні джерела

#### References

1. Cocco L, editor. Modern Metrology Concerns. InTech; 2012. Chapter 10; Angelsky OV, Polyanskii PV, Mokhun II, Zenkova CYu, Bogatyryova HV, Felde ChV, Bachinskiy VT, Boichuk TM, Ushenko AG; Optical Measurements: Polarization and Coherence of Light Fields; p. 263-316.
2. Bachinskiy VT. [Polarization images of extracellular matrix on main types of biological tissues for the purposes of forensic medicine]. Klinichna ta eksperymental'na patolohiya. 2008,7(1):6-13. Ukrainian.
3. Kim NH, Yun KH, Oh SK. [Sudden Cardiac Death]. J. Korean Med. Assoc. 2010;53(3):214-27. Korean. DOI 10.5124/jkma.2010.53.3.214.
4. Arhipkin SV, Koh IA, Gorbunov NS, Gorbunov DN, Zalevskiy AA, Chikun VI, Shehovcova JuA. [Studies used in diagnosis of cardiovascular death]. Siberian Journal of Medicine (Irkutsk). 2013;(4):5-7. Russian.
5. Angelsky OV, Ushenko AG, Angelska AO, Ushenko YuA. Correlation- and singular-optical approaches in diagnostics of polarization inhom-

geneity of coherent optical fields from biological tissues. Ukr. J. Phys. Opt. 2007;8(2):105-23. doi: 10.3116/16091833/8/2/106/2007.

6. Angelsky OV, editor. Optical correlation techniques and applications. Washington: Society of

Photo-Optical Instrumentation Engineers; 2007. Chapter 4; Angelsky OV, Ushenko AG, Ushenko YuA, Pishak VP; Statistical and fractal structure of biological tissue Mueller matrix images. p. 213-66.

**Ванчуляк О.Я. Диагностика острой коронарной недостаточности методом Мюллер-матричного анализа оптической анизотропии миоциновых структур миокарда. Статистический и фрактальный подход.**

**Реферат.** Острая коронарная недостаточность есть достаточно частой патологией в практике судебно-медицинского эксперта. При этом при условии кратковременного периода умирания диагностика изменений в ткани миокарда остается очень сложным заданием. Именно поэтому определение критериев острой коронарной недостаточности – актуально для судебной медицины.

**Ключевые слова:** внезапная сердечная смерть, судебно-медицинская экспертиза, структура миокарда, диагностика.