

ДІАГНОСТИКА ГОСТРОЇ КОРОНАРНОЇ НЕДОСТАТНОСТІ МЕТОДОМ СТАТИСТИЧНОГО МЮЛЛЕР-МАТРИЧНОГО АНАЛІЗУ ПОЛІКРИСТАЛІЧНИХ МІОЗИНОВИХ МЕРЕЖ МІОКАРДА

©О. Я. Ванчуляк

Буковинський державний медичний університет, Чернівці

РЕЗЮМЕ. В статті висвітлено основні характеристики лазерних поляриметричних зображень міокарда людини за умов гострої коронарної недостатності, отримані методом статистичного Мюллер-матричного аналізу. Продемонстрована діагностична ефективність використання даного методу не тільки для встановлення гострої коронарної недостатності міокарда людини в практиці судово-медичного експерта, а й для диференціювання з іншими ішемічними пошкодженнями міокарда.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: Мюллер-матричний аналіз, гостра коронарна недостатність, лазерна поляриметрия, діагностика.

Вступ. У практиці судово-медичного експерта діагностика гострої коронарної недостатності (ГКН) є складним завданням, до того ж ця патологія зустрічається досить часто. Це зумовлює всебічний пошук та удосконалення методів встановлення даної патології, зокрема методів, основою яких є лазерна поляриметрия. В циклі робіт [1-5] запропоновано і успішно апробовано для використання у судовій медицині теоретичний підхід для моделювання властивостей біологічних тканин: будову будь-якого типу біологічної тканини можна розглядати у вигляді двокомпонентної аморфно-кристалічної структури; кристалічна компонента або позаклітинна матриця являє собою архітектонічну сітку, що складається з протеїнових (колаген, міозин, еластин та ін.) фібрил; протеїнові фібрили мають властивості одноосних рідких кристалів, поляризаційні властивості яких описуються матрицею Мюллера $\{Z\}$ [6-16].

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

де

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

Проте на сьогодні ще не вивченими залишаються питання структурних характеристик міокарда за умов ГКН із використанням статистичного

Мюллер-матричного аналізу та можливості використання цього методу для її діагностики.

Мета дослідження. Робота спрямована на пошук можливостей діагностики настання смерті внаслідок ГКН шляхом визначення статистичних моментів 1-4-го порядків, які характеризують розподіли "орієнтаційно-фазових" $Z_{23,34,24}(m \times n)$ елементів матриці Мюллера гістологічних зрізів тканини міокарда.

Матеріал і методи дослідження. Матеріал дослідження – зрізи міокарда людей – у ході дослідження був поділений на наступні групи: перша група – міокард при ішемічній хворобі серця (ІХС), друга – міокард за умов ГКН. Дослідження зрізів міокарда проводили у оптичному розташуванні лазерного поляриметра [1].

Опромінювання проводили паралельним пучком ($\theta=10^4$ мкм) He-Ne лазера ($\lambda=0,6328$ мкм). За допомогою обертання осі пропускання аналізатора 9 на кути $\pm 45^\circ$ відносно напрямку осі найбільшої швидкості чверть хвильової пластинки визначалися інтенсивності право – (I_\otimes) і ліво – (I_\oplus) циркулярно поляризованих компонент для кожного окремого пікселя CCD – камери. На цій основі розраховували координатні ($m \times n$) розподіли елементів Z_{ik} матриці Мюллера міокарда [2]

$$\begin{aligned} Z_{i1} &= 0,5 \left[S_i^{(1)} + S_i^{(1)} \right], \\ Z_{i2} &= 0,5 \left[S_i^{(1)} - S_i^{(1)} \right], \\ Z_{i3} &= S_i^{(3)} - Z_{i1}, \\ Z_{i4} &= S_i^{(4)} - Z_{i1}, i=1,2,3,4. \end{aligned} \quad (3)$$

Індекси 1–4 відповідають наступним станам поляризації зонduючого шару міокарда лазерного пучка: 1 – 0° ; 2 – 90° ; 3 – $+45^\circ$; 4 – \otimes (права циркуляція).

Двовимірний масив "орієнтаційно-фазового" Мюллер-матричного елемента $Z_{34}(m \times n)$ сканувався у горизонтальному напрямку $x=1, \dots, m$ з кроком $\Delta x = 1 \text{ pix}$. У межах кожної локальної вибірки $(1_{\text{pix}} \times n_{\text{pix}})_{(k=1, 2, \dots, m)}$ обчислювалася кількість (N) характеристичних значень $Z_{34}(k) = 0, - (N_0^{(k)})$ і $Z_{34}(k) = 1, - (N_1^{(k)})$.

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 "орієнтаційно-фазового" матричного елемента Z_{34} у межах його координатного розподілу $(m \times n)$ [3-5].

Статистичну структуру координатних розподілів $Z_{34}(m \times n)$ і залежності кількості їх екстремальних значень $N_0(x)$ і $N_1(x)$ гістологічного зрізу міокарда характеризує сукупність моментів $M_{j=1,2,3,4}$, обчислена за співвідношеннями (4) [6, 7].

$$\begin{aligned} M_1 &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |(Z_{34}; N_{0,1})_i|; \\ M_2 &= \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N ((Z_{34}; N_{0,1})_i)^2}; \\ M_3 &= \frac{1}{Z_2^3} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N ((Z_{34}; N_{0,1})_i)^3; \\ M_4 &= \frac{1}{Z_2^2} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N ((Z_{34}; N_{0,1})_i)^4, \end{aligned} \quad (2)$$

де $N = 800 \times 600$ – повна кількість пікселів CCD-камери.

Результати й обговорення. Результати експериментальних досліджень координатної $Z_{34}(m \times n)$ і статистичної $h(Z_{34})$ структури "орієнтаційно-фазових" елементів Z_{34} матриці Мюллера міокарда ілюструє рисунок 1.

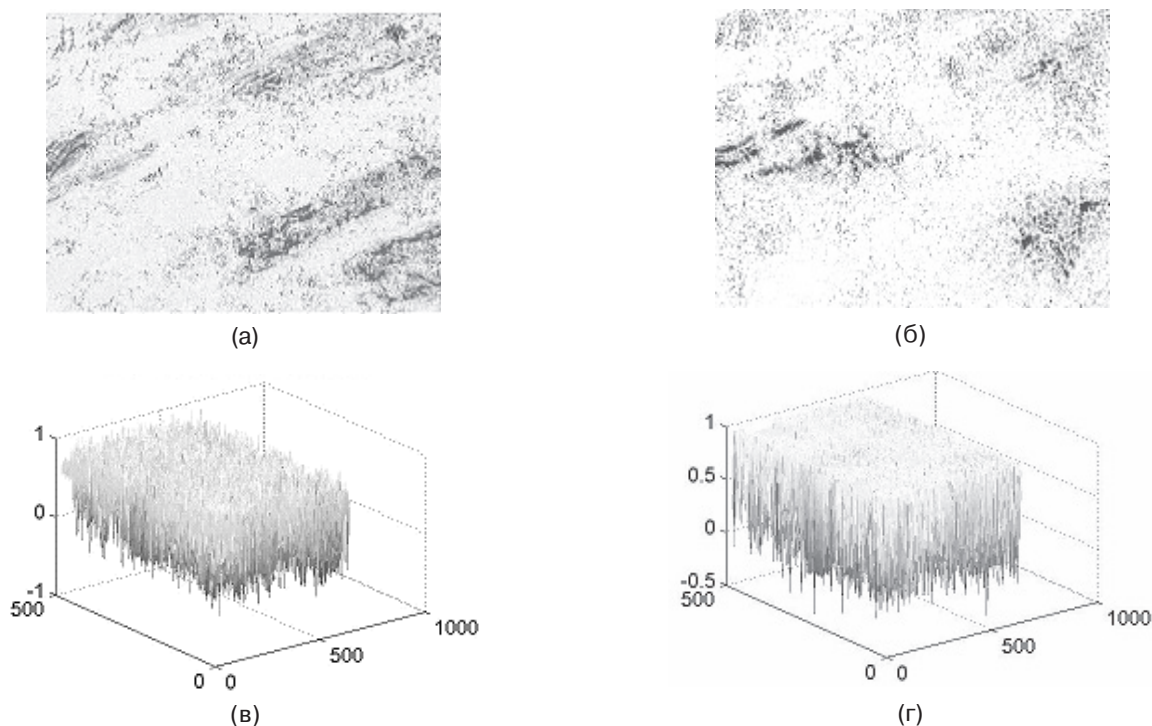


Рис. 1. Структура "орієнтаційно-фазових" елементів матриці Мюллера міокарда: а – координатна структура міокарда людини, яка померла внаслідок ІХС; б – статистична структура міокарда людини, яка померла внаслідок ІХС; в – координатна структура міокарда людини, яка померла внаслідок ГКН; г – статистична структура міокарда людини, яка померла внаслідок ГКН.

Отримані результати показують важливість якісного порівняння координатної структури "орієнтаційно-фазового" елемента Z_{34} матриці Мюллера міокарда для встановлення та диференціації ІХС та ГКН.

Розподіли $Z_{34}(m \times n)$, що характеризують розподіли напрямів оптичних осей міозинових фібрил міокарда, координатно неоднорідні і мають однаковий діапазон зміни власних значень $-1 \leq Z_{34} \leq 1$.

Кількісно структуру розподілів "орієнтаційно-фазових" елементів Z_{34} , визначених для двох груп зразків (ІХС – $q=29$ і ГКН – $q=21$) міокарда, ілюструють величини і діапазони зміни значень (співвідношення (4)) статистичних моментів 1–4 порядків $M_{j=1,2,3,4}(Z_{34})$ (табл. 1).

Порівняльний аналіз величин і діапазонів зміни значень статистичних моментів 1–4 порядків $M_{j=1,2,3,4}(Z_{34})$, які характеризують координатні роз-

поділи фазових елементів міокарда у межах двох груп ІХС і ГКН не виявив об'єктивної можливості їх диференціації. Діапазони зміни значень середньо-

го $M_1(Z_{34})$, дисперсії $M_2(Z_{34})$, асиметрії $M_3(Z_{34})$ та ексцесу $M_4(Z_{34})$ перекриваються для різних груп міокарда з ІХС і ГКН.

Таблиця 1. Статистичні моменти 1-4 порядків координатних розподілів "орієнтаційно-фазових" елементів тканини міокарда при ішемічній хворобі серця та гострій коронарній недостатності

$M_j(Z_{34})$	Ішемічна хвороба серця	Гостра коронарна недостатність
$M_1(Z_{34})$	$0,11 \pm 0,016$	$0,13 \pm 0,017$
$M_2(Z_{34})$	$0,32 \pm 0,034$	$0,29 \pm 0,033$
$M_3(Z_{34})$	$0,54 \pm 0,065$	$0,63 \pm 0,076$
$M_4(Z_{34})$	$0,87 \pm 0,096$	$0,95 \pm 0,107$

З метою пошуку більш чутливих діагностичних критеріїв досліджували статистичну структуру залежностей $N(Z_{34}=0) \equiv N_0$ і $N(Z_{34}=1) \equiv N_1$. Використання такого методу аналізу має великий діагностичний потенціал, оскільки дозволяє окремо розглянути статистичні прояви двоприменезаломлення міоцинових фібрил міокарда. Встановлення статистичної структури ($N(Z_{34}=0) \equiv N_0$) показує двоприменезаломлення на ізотропному рівні, а ($N(Z_{34}=1) \equiv N_1$) на анізотропному (рис. 2, 3).

У результаті досліджень залежностей кількості екстремальних значень $N(Z_{34}=1) \equiv N_1$ і $N(Z_{34}=0) \equiv N_0$ виявлена суттєва діагностична чутливість до ди-

ференціації випадків настання смерті внаслідок ІХС і ГКН розподілів $N(Z_{34}=1) \equiv N_1$.

Кількісно процеси зміни двоприменезаломлення міоцинових фібрил міокарда на різних екстремальних рівнях характеризує сукупність статистичних моментів $M_{j=1;2;3;4}(N_{0;1})$, що описує залежності N_0 і N_1 (табл. 2).

З одержаних даних експериментальних досліджень статистичної структури розподілів кількості екстремальних значень "орієнтаційно-фазового" елемента Z_{34} матриці Мюллера тканини міокарда обох типів впливає об'єктивна можливість диференціації причини настання смерті і діагностики гострої

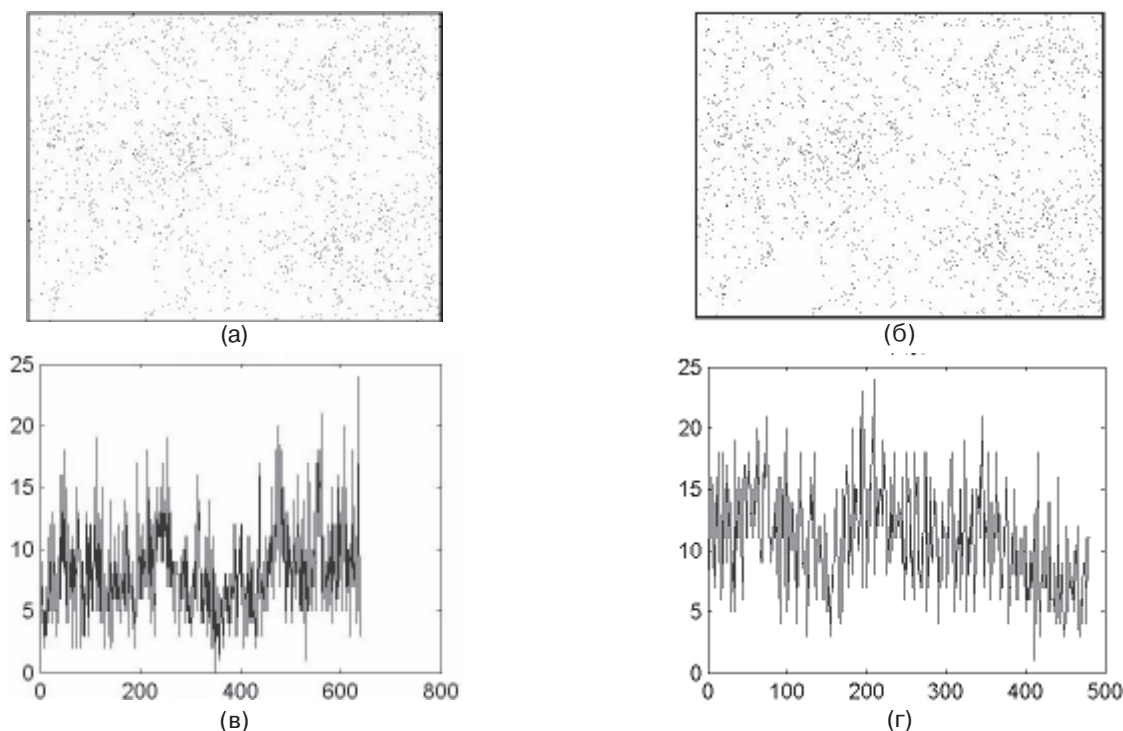


Рис. 2. Структура залежностей $N(Z_{34}=1) \equiv N_1$ "орієнтаційно-фазового" елемента Z_{34} оптико-анізотропної складової міокарда: а – координатна структура лазерних поляриметричних зображень при ІХС; б – координатна структура лазерних поляриметричних зображень при ГКН; в – кількісна структура лазерних поляриметричних зображень при ІХС; г – кількісна структура лазерних поляриметричних зображень при ГКН.

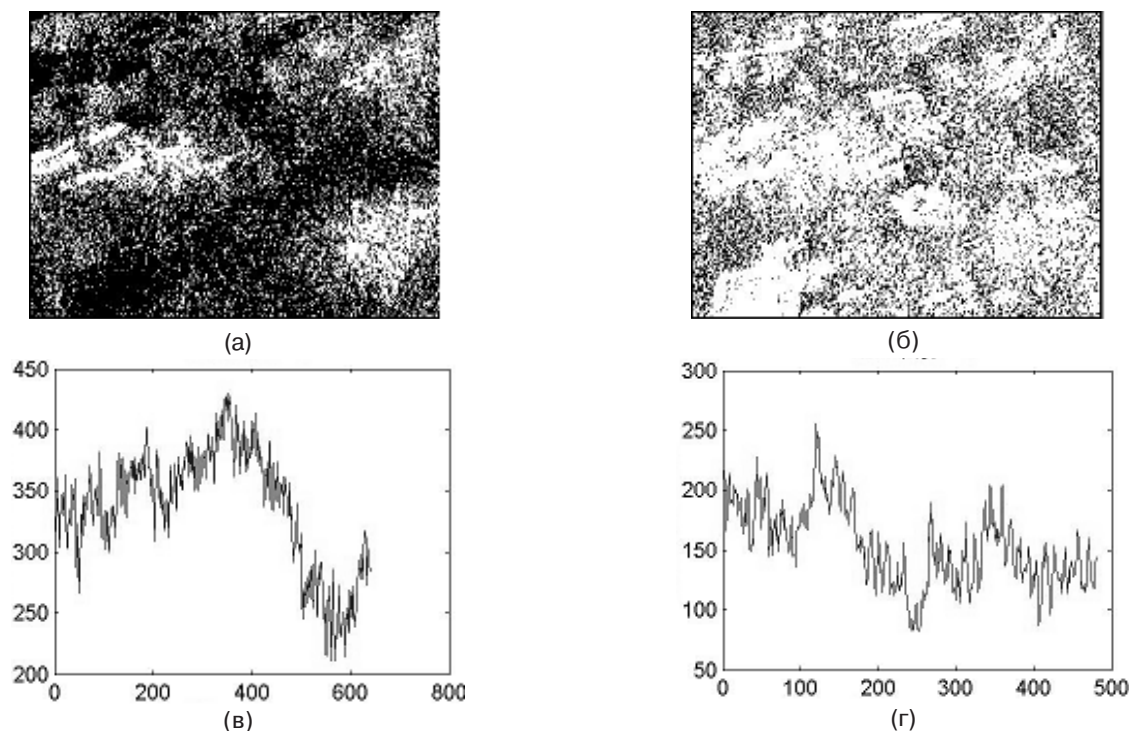


Рис. 3. Структура залежностей $N(Z_{34}=0) \equiv N_0$ "орієнтаційно-фазового" елемента Z_{34} оптико-анізотропної складової міокарда: а – координатна структура лазерних поляриметричних зображень при ІХС; б – координатна структура лазерних поляриметричних зображень при ГКН; в – кількісна структура лазерних поляриметричних зображень при ІХС; г – кількісна структура лазерних поляриметричних зображень при ГКН.

Таблиця 2. Статистичні моменти 1–4 порядків мінімального та максимального розподілів екстремальних значень "орієнтаційно-фазового" елемента Z_{34} матриці Мюллера тканини міокарда за умов ішемічної хвороби серця та гострої коронарної недостатності

$M_j(N_0)$	Ішемічна хвороба серця	Гостра коронарна недостатність
$M_1(N_0)$	$0,54 \pm 0,062$	$0,48 \pm 0,059$
$M_2(N_0)$	$0,21 \pm 0,027$	$0,26 \pm 0,034$
$M_3(N_0)$	$1,46 \pm 0,17$	$1,87 \pm 0,25$
$M_4(N_0)$	$1,09 \pm 0,15$	$1,14 \pm 0,23$
$M_j(N_1)$	Ішемічна хвороба серця	Гостра коронарна недостатність
$M_1(N_1)$	$0,09 \pm 0,0086$	$0,11 \pm 0,014$
$M_2(N_1)$	$0,45 \pm 0,024$	$0,38 \pm 0,029$
$M_3(N_1)$	$2,11 \pm 0,27$	$4,89 \pm 0,56$
$M_4(N_1)$	$1,84 \pm 0,28$	$3,97 \pm 0,49$

коронарної недостатності. Найінформативнішими виявилися статистичні моменти 3 і 4 порядків розподілів $N_1(x)$ екстремальних значень Мюллер-матричного елемента $Z_{34}(m \times n)=1$ тканини міокарда.

Встановлені наступні діапазони відмінностей між статистичними параметрами, які характеризують розподіли $Z_{34}(m \times n)=1$, що характеризують оптично анізотропну складову міокарда з ГКН та

ІХС, – асиметрія $M_3(N_1)$ (збільшення у 2,4 раза) і ексцес $M_4(N_1)$ (збільшення у 2,2 раза).

Висновки. За умов гострої коронарної недостатності зміни лазерних поляриметричних зображень найчіткіше прослідковуються при визначенні статистичної структури розподілів кількості екстремальних значень "орієнтаційно-фазового" елемента Z_{34} матриці Мюллера.

Встановлені наступні діапазони відмінності між статистичними параметрами, що характеризують розподіли $Z_{34}(m \times n) = 1$ для міокарда з гострою коронарною недостатністю у порівнянні з ішемічною хворобою серця: збільшення асиметрії $M_3(N_1)$ у 2,4 раза та ексцесу $M_4(N_1)$ у 2,2 раза.

На основі отриманих даних ми засвідчуємо перспективність використання методу статистичного Мюллер-матричного аналізу полікристаліч-

них міозинових мереж міокарда не тільки для диференціації гострої коронарної недостатності із іншими ішемічними пошкодженнями, але й для встановлення кожного з них зокрема.

Перспективи подальших досліджень. Потребує подальшого встановлення часова динаміка зміни характеристик лазерних поляриметричних зображень.

ЛІТЕРАТУРА

1. Лазерна поляриметрична діагностика в біології та медицині / В. П. Пішак, О. Г. Ушенко, О. В. Ангельський [та ін.] // Чернівці : Медакадемія. – 2000. – 305 с.

2. Correlation and singular-optical approaches in diagnostics of polarization inhomogeneity of coherent optical fields from biological tissues / O. V. Angelsky, A. G. Ushenko, A. O. Angelskaya, Yu. A. Ushenko // Ukr. J. Phys. Opt. – 2007. – Vol. 8, № 2. – P. 106–123.

3. Polarization-based visualization of multifractal structures for the diagnostics of pathological changes in biological tissues / O. V. Angel'skiy, A. G. Ushenko [at all.] // Optics and Spectroscopy. – 2000. – Vol. 89, №5. – P. 799–804.

4. Polarization speckle-reconstruction of biological tissues architectonics; Part 1. Coherent introscopy of phase-inhomo-

geneous surface and layers / A. O. Agelskaya, Yu. A. Ushenko, A. G. Ushenko [at al.] // Proc. SPIE. – 2007. – Vol. 6635. – P. 1–5.

5. Topological and statistical describing inhomogeneously polarized light fields / P. V. Polyanskii, S. G. Hanson, A. G. Ushenko [at al.] // Ukr. J. Phys. Opt. – 2007. – Vol. 8, No.4 – P. 217–227.

6. 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.

7. 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, № 2. – P. 63–70.

DIAGNOSTICS OF ACUTE CORONARY INSUFFICIENCY BY MEANS OF THE METHOD OF THE STATISTICAL MULLER MATRIX ANALYSIS OF THE POLYCRYSTAL MYOSIN NETWORKS OF THE MYOCARDIUM

©O. Ya. Vanchuliak

Bukovynian State Medical University, Chernivtsi

SUMMARY. The paper ascertains the principal characteristics of laser polarimetric images of the human myocardium under the conditions of acute coronary insufficiency obtained by means of the method of the statistical Muller matrix analysis. There was demonstrated the diagnostic efficacy of using this particular method not only for ascertaining acute coronary insufficiency of the human myocardium in the practice of a forensic medical examiner, but also for a differentiation with other ischemia injuries of the myocardium.

KEY WORDS: Muller matrix analysis, acute coronary insufficiency, laser polarimetry, diagnostics.