

# Наукові повідомлення

УДК 616.127-073.55:535.361:340.6

*В.Д. Мішалов<sup>1</sup>, Б.В. Михайличенко<sup>2</sup>, О.М. Гуров<sup>3</sup>, В.В. Войченко<sup>4</sup>, В.Т. Бачинський<sup>5</sup>*

## МІОКАРД ЯК ОБ'ЄКТ ЛАЗЕРНОГО ПОЛЯРИМЕТРИЧНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

<sup>1</sup>Національна медична академія післядипломної освіти ім. П.Л. Шупика, м. Київ<sup>2</sup>Національний медичний університет ім. О.О. Богомольця, м. Київ<sup>3</sup>Харківська медична академія післядипломної освіти, м. Харків<sup>4</sup>Дніпропетровське обласне бюро судово-медичної експертизи, м. Дніпропетровськ<sup>5</sup>Вищий державний навчальний заклад України «Буковинський державний медичний університет», м. Чернівці

**Резюме.** У статті наведено новітні дані щодо використання тканин міокарда для вирішення найважливіших питань судово-медичної науки і практики, а саме встановлення давності настання смерті, диференціації асфіксії та крововтрати, а також для встановлення гострої коронарної недостатності. Наводяться окремі приклади застосування лазерних поляриметричних методів

його аналізу для вирішення вказаних питань. Вказано особливості його будови як об'єкта оптики біотканин, що дозволили розробити методи верифікації як при серцевій патології, так і при інших станах.

**Ключові слова:** міокард, лазерне поляриметричне дослідження.

**Вступ.** Парадигмою сучасної науки є комплексність проведених досліджень та використання знань із різних галузей для досягнення якісно нового результату. Стрімкий розвиток міжгалузевих інтегративних підходів не тільки відкриває нові горизонти для досліджень, але й дозволяє розв'язувати найважливіші та найскладніші питання медичної практики. Поряд із розвитком генної інженерії, потужною течією є використання лазерів, що успішно апробовані в онкології, офтальмології, хірургії та дерматології. Судова медицина, як наука, що потребує якомога більш ґрунтовної доказової бази, також впливається в процес інтегративних міжгалузевих досліджень, що уже дозволило розв'язати деякі із найважливіших питань. Так, сформований на стику оптичної фізики та медицини новий напрямок – оптика біотканин після опрацювання його судовими медиками переріс у лазерну поляриметричну діагностику давності настання смерті (ДНС) [10], часу утворення гематом [2], диференціації зажиттевості тілесних ушкоджень та встановлення асфіксії і крововтрати [3]. Варто відзначити, що ведуться дослідження щодо використання лазерної поляриметрії (ЛП), а саме поляризаційно-кореляційних та автофлуоресцентних методів для встановлення гострої коронарної недостатності (ГКН) при тривалості ішемії до шести годин [13]. У цьому напрямку отримані обнадійливі результати. Варто відзначити, що міокард, як об'єкт дослідження, розглядається авторами з точки зору оптики біотканин.

Слід відзначити, що більша частина вказаних досліджень проводилась із використанням тканини міокарда, тому варто розглянути детально його особливості з точки зору оптики біотканин та нові дані, що дозволяють вивести на новий рівень судово-медичну службу.

### Міокард з точки зору оптичної фізики

Морфологічна різноманітність біотканин визначає різний характер проходження світла

через них. У волокнистих (сполучних) тканинах, що містять шари волокон (рогова, склера, тверда мозкова оболонка, сухожилля, хрящі, стінка судини) та м'язів, міокарді і шар нервових волокон сітківки ока і т. д., які складаються, в основному, з мікрофібрил і/або мікротубул, типовий діаметр циліндричних структурних елементів становить 10-400 нм. Їх довжина може бути від 10-25 мкм до декількох міліметрів. Дану групу біотканин (БТ) також можна назвати структурованими [9].

Тканина міокарда складається, в основному, з кардіоміоцитів, які, у свою чергу, включають циліндричні міофіламенти і мітохондрії діаметром 1-2 мкм, тобто в будові міокарда простежуються фрактальні закономірності [7]. Окрім кардіоміоцитів до складу тканини міокарда входить інтерстицій, включно кровоносні судини різного калібру, та нервові елементи.

Таким чином, міокард є прикладом складних розсіювальних структур. Якщо розглядати будову міокарда з фізичної точки зору, то в ньому наявні дві основні осі орієнтації волокон, що відповідають зовнішньому та внутрішньому поздовжньому шару та циркулярного між ними. Міокард також типовий приклад двопронезаломлюючих біотканин [12]. У міокарді показник переломлення пучка електромагнітного випромінювання в поздовжньому напрямку відмінний від показника в поперечному. Це зумовлює фазову затримку при проходженні через міокард пучка лазерного випромінювання. Вплив двопронезаломлення серцевої тканини на поширення лінійно поляризованого світла залежить від кута між напрямком поляризації падаючого світла та оптичною віссю конкретного кардіоміоцита. Якщо прийняти міокардіоцити за циліндри, то таким чином міокард, як сукупність паралельних циліндрів, є позитивним одновісним двопронезаломлюючим середовищем. Оптична вісь міокарда

паралельна напрямку міокардіоцитів. Лазерний промінь, в якого електричний вектор направлений паралельно осі міокардіоцитів, називається «незвичайним», а той, що перпендикулярно – «звичайним». Таким чином, електричний вектор незвичайного променя лежить у головній площині, тобто в тій же площині, що і оптична вісь. Різниця між показниками переломлення звичайної та незвичайної електромагнітної хвилі і є мірою двопронезаломлення тканини міокарда [8]. Саме на основі вказаних особливостей міокарда досягнуті викладені нижче важливі результати.

**Давність настання смерті на основі лазерного поляриметричного дослідження змін міокарда**

У результаті проведених досліджень з’ясовано динаміку змін показників матриці Джонса, яка характеризує поляризаційні властивості гістологічних зрізів міокарда людини, для різних етапів післясмертного періоду. На рис. 1 наведена серія двовимірних розподілів такого елемента та гістограм їх значень, одержаних для різних значень ДНС (а) – 1 год; б) – 24 год; в) – 48 год).

Часова динаміка спостереження за посмертними зображеннями архітекtonіки міокарда супроводжуються зменшенням загального рівня статистичних моментів 3-го і 4-го порядків у 3-4 рази.

Міокард, як структурована БТ, дозволяє збільшити інтервал визначення ДНС на його основі до понад 100 год, що максимально порівняно з іншими БТ, дослідженими ЛП методами.

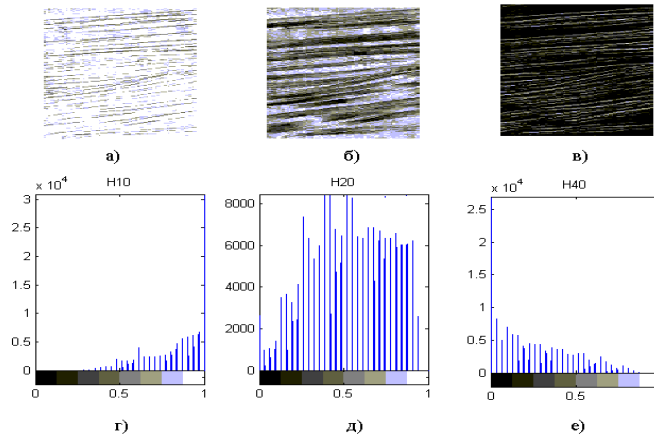


Рис. 1. Координатна (а, б, в) і статистична (г, д, е) структура фазового елемента  $m_{22}$  матриці Джонса тканини міокарда

На рис. 2 наведені автокореляційні функції поляризаційного зображення архітекtonіки тканини міокарда, одержані для наступних значень ДНС: а) – 1 год; б) – 10 год.

У результаті кореляційних досліджень мікроскопічних зображень посмертних змін міокарда встановлено, що ДНС виявляється зменшенням півширини ( $d_i$ ), величини ( $G_i$ ) та кількості локальних екстремумів автокореляційних функцій (рис. 2а та рис. 2б відповідно).

Статистично усереднені значення параметрів ( $d_i, G_i$ ) автокореляційних функцій для різних значень ДНС наведені в таблиці 1.

Встановлено, що урахування кореляційної структури поляризаційних зображень тканини серцевого м’яза для різних значень ДНС дозволяє вдвічі зменшити величину похибки визначення ДНС порівняно з поляризаційним аналізом аналогічних зображень інших неструктурованих тканин (печінки, селезінки). При цьому величина  $\Delta T$  на 10-20 % менша, ніж у випадку кореляційного аналізу зображень зазначених тканин [1].

Статистичний аналіз розподілів ступеня деполяризації і фазових зсувів лазерного випромінювання, розсіяного біологічними тканинами внутрішніх органів тіла людини

Тканина міокарда також ефективно може бути використана для встановлення механічної асфіксії («А») та крововтрати («К»). На рис. 3 наведені експериментально виміряні координатні розподіли значень ступеня деполяризації лазер-

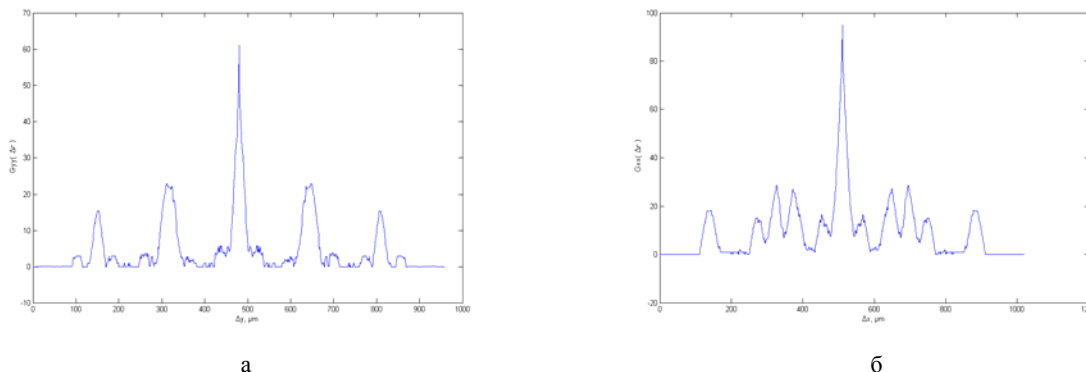


Рис. 2. Автокореляційні функції зображень тканини міокарда

Таблиця 1

**Часова динаміка зміни структури автокореляційної функції зображень тканини міокарда (96 зразків) та точність визначення ДНС**

Автокореляційні функції	Давність настання смерті					
	4 год	8 год	12 год	16 год	20 год	24 год
$d_i$ , мкм	65±0,27	51±0,25	42±0,17	31±0,16	21±0,21	12±0,19
$G_i$ , в.о.	0,91±0,11	0,67±0,14	0,49±0,13	0,31±0,09	0,23±0,08	0,12±0,07
$T$ , год	5	10	15	20	25	30
$\Delta T$ , год	0,5	0,6	1	1,2	1,3	1,6

Таблиця 2

**Статистичні моменти 1-4-го порядків розподілу ступеня деполаризації лазерного випромінювання тканиною міокарда типу "А" і "К"**

Статистичні моменти	Причина смерті		
	ІХС (n=40)	Асфіксія (n=100)	Крововтрата (n=98)
Середнє, $M_1$	0,31±0,027	0,24±0,019	0,35±0,026
$P_1$		<0,001	<0,001
$P_2$		>0,05	
Дисперсія, $M_2$	0,18±0,011	0,29±0,021	0,37±0,034
$P_1$		<0,001	<0,001
$P_2$		>0,05	
Асиметрія, $M_3$	7,14±0,54	12,34±0,11	19,65±0,17
$P_1$		<0,001	<0,001
$P_2$		<0,001	
Експес, $M_4$	6,32±0,74	9,25±0,73	13,48±0,12
$P_1$		<0,001	<0,001
$P_2$		<0,001	

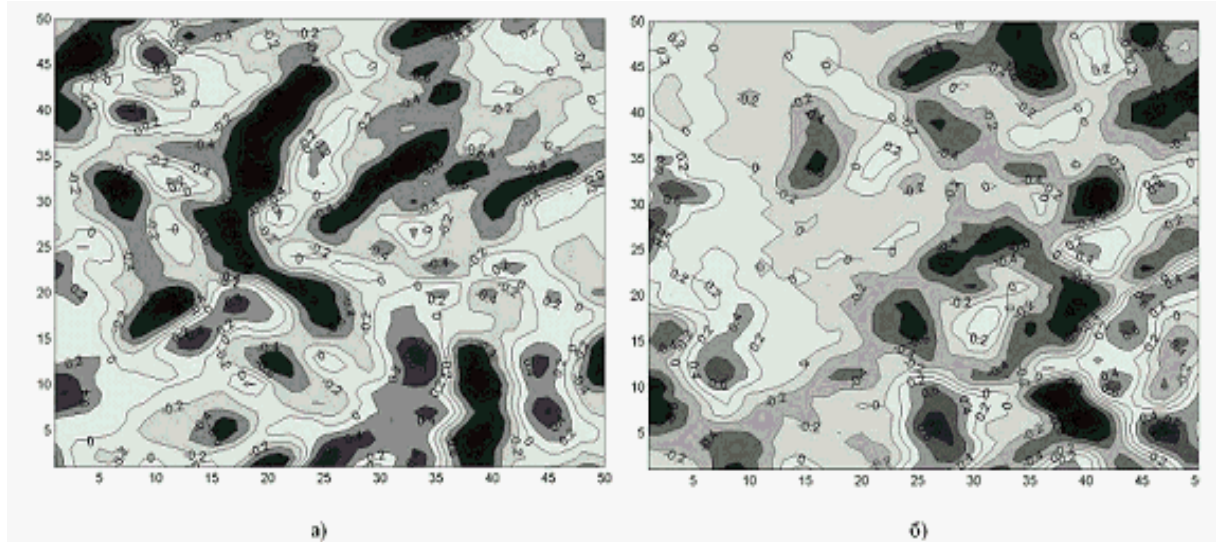


Рис. 3. Координатні розподіли ступеня деполаризації лазерного випромінювання тканиною міокарда: а) А-типу; б) К-типу

ного випромінювання, розсіяного тканиною міокарда типу "А" (а) і "К" (б).

Порівняльний аналіз виявив, що координатний розподіл ступеня деполаризації лазерного випромінювання тканиною міокарда типу "А" характеризується ділянками зі значно більшим рівнем деполаризації (рис. 3а) ніж аналогічний розподіл, визначений для тканини міокарда типу

"К" (рис. 3б). Об'єктивну відмінність між координатними розподілами ступеня деполаризації лазерного випромінювання, що пройшло крізь різні типи тканини міокарда, ілюструють дані, наведені в таблиці 2.

З одержаних даних видно:

- Статистичні моменти всіх порядків розподілу ступеня деполаризації лазерного випроміню-

Таблиця 4

Середнє ( $\bar{r}$ ) і стандартне відхилення ( $\pm\sigma$ ) параметрів  $r$  поляризаційних мап  $\alpha(pxk)$  мікроскопічних зображень зразків міокарда

Статистичні моменти	Причина смерті		
	Контроль (n=20)	XIXC (n=69)	ГКН (n=69)
Середнє, $M_1$	0,16±0,012	0,09±0,008	0,12±0,011
$P_1$		<0,001	<0,001
$P_2$		>0,05	
Дисперсія, $M_2$	0,34±0,021	0,21±0,016	0,27±0,017
$P_1$		<0,001	<0,001
$P_2$		>0,05	
Асиметрія, $M_3$	0,61±0,052	0,39±0,028	0,48±0,045
$P_1$		<0,001	<0,001
$P_2$		<0,001	
Ексцес, $M_4$	0,13±0,011	0,27±0,023	0,19±0,014
$P_1$		<0,001	<0,001
$P_2$		<0,001	
Дисперія, $M_4^K$	0,07±0,004	0,13±0,011	0,11±0,01
$P_1$		<0,001	<0,001
$P_2$		>0,05	
Ексцес, $M_4^K$	2,02±0,15	1,23±0,12	1,68±0,15
$P_1$		<0,001	<0,001
$P_2$		<0,001	

вання тканиною міокарда залежно від причини настання смерті мають різні, відмінні між собою значення.

- Відмінності між значеннями середнього  $M_1$  досягають 30-40 %; дисперсії  $M_2$  50-70 %.
- Найбільш виразно диференціювати тип “А” і “К” можна шляхом порівняльного аналізу значень асиметрії  $M_3$  і ексцесу  $M_4$ , відмінності між якими досягають 100 % [3-6].

#### Азимут-інваріантний лазерний поляриметричний аналіз міокарда для встановлення гострої коронарної недостатності

Надзвичайно перспективними є дослідження, спрямовані на підвищення можливостей верифікації ГКН. Крім практичного значення, вони також мають фундаментальне теоретичне, оскільки базуються на новітньо розроблених азимут-інваріантних методах. Науковцями [13] виявлено азимутальну залежність (при обертанні площини зразка відносно напрямку опромінення або при зміні стану поляризації зондуємого пучка) координатних розподілів поляризаційних параметрів мікроскопічних зображень зрізів БТ.

Розглянемо результати обчислення сукупності об'єктивних параметрів

$$r \equiv \left[ M_{i=1;2;3;4} ; K_{i=2;4} \left( \begin{matrix} \alpha \\ \beta \end{matrix} \right) \right]$$

методу азимутально-інваріантної поляризаційної мікроскопії зрізів міокарда двох груп померлих від ГКН та хронічної ішемічної хвороби серця (XIXC). Для визначення статистичної достовір-

ності зазначених репрезентативних вибірок зрізів визначалося середньоквадратичне відхилення  $\sigma^2$  вимірних значень методом перехресної

$$r \equiv \left[ M_{i=1;2;3;4} ; K_{i=2;4} \left( \begin{matrix} \alpha \\ \beta \end{matrix} \right) \right]$$

перевірки [11].

Статистичне опрацювання отриманих результатів встановило рівень, який забезпечує статистичну достовірність методу азимутально-незалежного картографування в межах репрезентативної вибірки. Отримане відхилення відповідає значенню довірчого інтервалу  $p < 0,05$ .

Діагностика ГКН та диференціація з XIXC зразків міокарда для кожної поляризаційної мапи здійснювалася шляхом перехресного порівняння гістограм  $N(r)$ .

Середнє ( $\bar{r}$ ) і стандартне відхилення ( $\pm\sigma$ ) параметрів  $r$  поляризаційних мап  $\alpha(pxk)$  мікроскопічних зображень зразків міокарда з ГКН, XIXC та у нормі наведені в таблиці 4.

Розрахунки вказують, що найбільш інформативними для діагностики ГКН є такі статистичні моменти поляризаційних мап  $\alpha(pxk)$ , як асиметрія  $M_3$ , ексцес  $M_4$ , та ексцес  $M_4^K$ .

Середнє ( $\bar{r}$ ) і стандартне відхилення ( $\pm\sigma$ ) параметрів  $r$  поляризаційних мап  $\beta(pxk)$  мікроскопічних зображень зразків міокарда з ГКН, XIXC та у нормі наведені в таблиці 5.

Розрахунки вказують, що найбільш інформативними статистичними моментами параметрів  $r$  поляризаційних мап  $\beta(pxk)$  для

Таблиця 5

Середнє ( $\bar{r}$ ) і стандартне відхилення ( $\pm\sigma$ ) параметрів  $r$  поляризаційних мап  $\beta(rpk)$  мікроскопічних зображень зрізів міокарда

Статистичні моменти	Причина смерті		
	Контроль (n=20)	XIXC (n=69)	ГКН (n=69)
Середнє, $M_1$	0,53±0,042	0,61±0,054	0,63±0,059
$P_1$		<0,001	<0,001
$P_2$		>0,05	
Дисперсія, $M_2$	0,24±0,017	0,16±0,013	0,19±0,016
$P_1$		<0,001	<0,001
$P_2$		>0,05	
Асиметрія, $M_3$	0,59±0,044	0,79±0,063	0,62±0,059
$P_1$		<0,001	<0,001
$P_2$		<0,001	
Екссес, $M_4$	0,27±0,017	0,47±0,041	0,35±0,029
$P_1$		<0,001	<0,001
$P_2$		<0,001	
Дисперія, $M_4^k$	0,17±0,014	0,11±0,009	0,09±0,008
$P_1$		<0,001	<0,001
$P_2$		>0,05	
Екссес, $M_4^k$	1,02±0,094	1,61±0,13	1,27±0,11
$P_1$		<0,001	<0,001
$P_2$		<0,001	

діагностики ГКН є такі ж, як і для поляризаційних мап  $\alpha(rpk)$ , а саме асиметрія  $M_3$ , екссес  $M_4$ , та екссес  $M_4^k$ .

Для поляризаційних мап мікроскопічних зображень зрізів міокарда з ГКН та із XIXC установлені наступні відмінності між найбільш чутливими параметрами:

$$\begin{aligned}
 - \alpha(rpk) & \begin{cases} \Delta M_1(\alpha) = \Delta M_3(\alpha) = 1,23; \Delta M_4(\alpha) = 1,42; \\ \Delta M_4^k(\alpha) = 1,37. \end{cases} \\
 - \beta(rpk) & \begin{cases} \Delta M_3(\beta) = 1,27; \Delta M_4(\beta) = 1,34; \\ \Delta M_4^k(\beta) = 1,27. \end{cases}
 \end{aligned}$$

#### Висновок

Таким чином, особливості будови міокарда дозволяють використовувати його зрізи для верифікації не тільки внутрішньокордальної патології (ГКН), але для вирішення таких надзвичайно важливих для судової медицини завдань, як встановлення давності настання смерті та механічної асфіксії і гострої крововтрати.

#### Література

1. Ванчуляк О.Я. Діагностика давності настання смерті методом лазерного поляриметричного моніторингу тканин людини: дис... канд. мед. наук: 14.01.25 / О.Я. Ванчуляк // Нац. мед. акад. післядиплом. освіти ім. П.Л. Шупика. – К., 2007. – 146 с.
2. Основи лазерної поляриметрії: Патоморфологічні зміни біологічних тканин / О.Г. Ушенко, В.Т. Бачинський, О.Я. Ванчуляк, І.Л. Беженар. – Чернівці: Чернівецький нац.ун-т, 2010. – 372 с.
3. Павлюкович О.В. Визначення давності настання смерті при деяких видах механічної асфіксії та масивній крововтраті методами лазерної поляриметрії: автореф. дис. канд. мед. наук: 14.01.25 / О.В. Павлюкович //

Нац. мед. акад. післядиплом. освіти ім. П.Л. Шупика. – К., 2011. – 20 с.

4. Павлюкович О.В. Динаміка зміни ступеня деполізації лазерного випромінювання різних довжин хвиль, розсіяного тканиною печінки, для визначення причини та давності настання смерті / О.В. Павлюкович // Клініч. та експерим. патол. – 2010. – Т. IX, № 1 (31). – С. 55-59.
5. Павлюкович О.В. Дослідження динаміки зміни ступеня деполізації лазерного випромінювання, розсіяного тканиною міокарда, для визначення причини та давності настання смерті з використанням He-Cd лазера / О.В. Павлюкович // Практ. мед. – 2010. – Т. XVI, № 1. – С. 109-117.
6. Павлюкович О.В. Порівняльне дослідження динаміки зміни ступеня деполізації лазерного випромінювання, розсіяного тканинами міокарда, для визначення причини та давності настання смерті з використанням He-Ne лазера / О.В. Павлюкович // Одес. мед. ж. – 2010. – № 3 (119). – С. 12-16.
7. Тучин В.В. Лазеры и волоконная оптика в биомедицинских исследованиях / В.В. Тучин. – Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 1998. – 384 с.
8. Ushenko A.G. Investigated of polarized radiation diffraction on the systems of oriented biofractal fibers / A.G. Ushenko, D.M. Burkovets, S.B. Yermolenko // Proc. SPIE. – 1999. – Vol. 3904. – P. 553-556.
9. Optical Measurements: Polarization and Coherence of Light Fields / O.V. Angelsky, V.T. Bachinskiy, T.M. Boichuk [et al.] // in the book «Modern Metrology Concerns» edited by Luigi Cocco. – 2012. – P. 263-316.
10. Temporal spectral change of the degree of depolarization of laser radiation scattered by the hepatic tissue to diagnose the prescription of death coming / V.T. Bachinskiy, O.V. Pavliukovych, O.Ya. Wanchuliak, I.H. Savka // Бук. мед. вісник. – 2010. – Т. 14, № 4 (56). – С. 119-121.
11. Ushenko Y.O. Jones-matrix images corresponding to networks of biological crystals for diagnostics and classi-

- fication of their optical properties / Y.O. Ushenko, V.O. Balanetska, O.P. Angelsky // *Semicond. Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics*. – 2011. – № 14 (1) – P. 365-374.
12. Ushenko Y.A. Laser diagnostics of anisotropy in birefringent networks of biological tissues in different physiological conditions / Y.A. Ushenko, Y.Y. Tomka, A.V. Dubolazov // *QUANTUM ELECTRON*. – 2011. – № 41 (2). – P. 170-175.
13. Vector Microstructure of Laser Biospecles / V.T. Bachinsky, O.A. Bendas, O.Y. Wanchuliak [et al.] // *Proc. SPIE*. – 2000. – Vol. 4242. – P. 227-232.

## МИОКАРД КАК ОБЪЕКТ ЛАЗЕРНОГО ПОЛЯРИМЕТРИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

*В.Д. Мишалов<sup>1</sup>, Б.В. Михайличенко<sup>2</sup>, А.Н. Гуров<sup>3</sup>, В.В. Войченко<sup>4</sup>, В.Т. Бачинский<sup>5</sup>*

**Резюме.** В статье приведены новейшие данные по использованию ткани миокарда для решения важнейших вопросов судебно-медицинской науки и практики, а именно установления давности наступления смерти, дифференциации асфиксии и кровопотери, а также для установления острой коронарной недостаточности. Приводятся отдельные примеры применения лазерных поляриметрических методов его анализа для решения указанных вопросов. Указаны особенности его строения как объекта оптики биотканей, позволившие разработать методы верификации как изменений при сердечной патологии, так и при других состояниях.

**Ключевые слова:** миокард, лазерное поляриметрическое исследование.

## MYOCARDIUM AS LASER POLARIMETRIC TEST SUBJECT

*V.D. Mishalov<sup>1</sup>, B.V. Mihailichenko<sup>2</sup>, O.N. Gurov<sup>3</sup>, V.V. Voichenko<sup>4</sup>, V.T. Bachinskiy<sup>5</sup>*

**Abstract.** The article presents the latest data about the use of myocardium tissue to solve the most important problems of forensic medical science and practice, namely the prescription of death coming, differentiation of asphyxia and blood loss, as well as diagnosing acute coronary insufficiency. There are some examples of application of laser polarimetric methods of analysis for solving these issues. The article specifies the peculiarities of its structure as an object of biological tissues optics, which allowed to develop methods of verification of its changes in cardiac disease and other conditions.

**Key words:** myocardium, laser polarimetric study.

<sup>1</sup>Shupyk National Medical Academy of Postgraduate Education (Kyiv)

<sup>2</sup>Bogomolets National Medical University (Kyiv)

<sup>3</sup>Kharkiv National Medical Academy of Postgraduate Education (Kharkov)

<sup>4</sup>Dnipropetrovsk regional bureau of forensic medical examination (Dnipropetrovsk)

<sup>5</sup>Higher State Educational Institution of Ukraine "Bukovinian State Medical University" (Chernivtsi)

Рецензент – проф. І.С. Давиденко

Buk. Med. Herald. – 2016. – Vol. 20, № 2 (78). – P. 223-228

Надійшла до редакції 11.04.2016 року