

**ОРИГІНАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ**

УДК 616-091.8:612.013-073

*Бачинський В. Т.*

**Статистичний аналіз поляризаційних мап лазерних зображень тканин трупа людини для встановлення давності настання смерті**

Кафедра патологічної анатомії та судової медицини (зав. каф. – проф. І.С.Давиденко)

Буковинського державного медичного університету

**Резюме.** Загальноприйняті судово-медичні методи діагностики давності настання смерті (ДНС) є залежними від багатьох чинників. Отримані результати дають повну, часто суб'єктивну інформацію з широкими часовими межами розвитку після смертних змін у біотканинах різних типів. Для вирішення цих проблем доцільно застосовувати методи лазерної поляриметрії, які шляхом моніторингу деградації оптичної анізотропії біотканин різних типів забезпечують більш об'єктивне та достовірне визначення ДНС.

**Ключові слова:** лазер, анізотропія, давність смерті, біологічна тканина.

**Постановка проблеми і аналіз останніх досліджень.** За останнє десятиліття в біомедичній діагностиці набули широкого використання оптичні методи формування поляризаційних зображень біологічних об'єктів, а саме, метод лазерної поляриметрії [1]. Важливим результатом використання даного методу є можливість отримання координатного розподілу поляризаційних характеристик об'єкту.

**Метою** даної роботи є дослідження можливості поляризаційного картографування гістологічних зрізів біологічних тканин трупа людини для встановлення об'єктивних критеріїв давності настання смерті (ДНС).

**Матеріал і методи дослідження**

В основу аналізу поляризаційних зображень гістологічних зрізів трупа людини покладено в наступні методологічні складові в оптичному моделюванні їх властивостей:

1. Біологічна тканина як об'єкт дослідження, розглядається як однотипний моношар із аморфно-кристалічними оптичними властивостями [2-4].

2. Поляризаційні властивості такого шару моделюються сукупністю оптично-одновісних двопронезаломлюючих, структурованих за розмірами та орієнтаціями, фібрил, які утворюють архітектонічну сітку [5-7].

3. Механізми взаємодії лазерного випромінювання з архітектонікою такого шару біологічної тканини описують за допомогою наступної матриці [8-10]:

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

де

$$\begin{aligned} f_{22} &= \cos^2 2\rho + \sin^2 2\rho \cdot \cos \delta; f_{23} = f_{32} = \cos 2\rho \sin 2\rho (1 - \cos \delta); \\ f_{24} &= -f_{42} = -\sin 2\rho \sin \delta; f_{33} = \sin^2 2\rho + \cos^2 2\rho \cos \delta; \\ f_{34} &= -f_{43} = \cos 2\rho \sin \delta; f_{44} = \cos \delta. \end{aligned} \quad (2)$$

Тут  $\rho$  - орієнтація фібрили;  $\delta$  - величина фазового зсуву, що вноситься її речовиною між ортогональними складовими амплітуди лазерної хвилі.

4. Поляризаційні параметри (азимут  $\alpha$  та еліптичність  $\beta$ ) визначаються за наступними алгоритмами:

$$\alpha = 0,5 \arctg \left[ \frac{\sin 4\rho \sin^2 0,5\delta}{\cos^2 2\rho + \sin^2 2\rho \cos \delta} \right]; \quad (3)$$

$$\beta = 0,5 \arcsin \left[ \frac{\operatorname{tg} 2\rho}{\sin \delta} \right]. \quad (4)$$

**Оптична схема і методика вимірювання поляризаційних мап гістологічних зрізів біологічних тканин**

Оптична схема вимірювання поляризаційних мап біологічних тканин представлена на рис. 1. Освітлення проводилось колімованим ( $\varnothing = 10^4$  мкм) пучком He-Ne лазера ( $\lambda = 0,6328$  мкм,  $W = 5,0$  мВт). Поляризаційний освітлювач, який складається із чвертьхвильових пластинок 3; 5 і поляризатора 4, формує освітлюючий пучок з довільним азимутом  $0^\circ \leq \alpha_0 \leq 180^\circ$  або еліптичністю  $0^\circ \leq \beta_0 \leq 90^\circ$  поляризації.



Рис. 1. Оптична схема вимірювання (пояснення у тексті)

Поляризаційні зображення БТ за допомогою мікрооб'єктиву 7 проєктувалися в площину світлочутливої площадки (800x600 пікселів) CCD-камери 10, яка забезпечувала діапазон вимірювання структурних елементів БТ для наступних розмірів 2 мкм–2000 мкм.

Аналіз зображень гістологічних зрізів біологічних тканин здійснювався за допомогою поляризатора 9 та чвертьхвильової пластинки 8.

Методика визначення поляризаційних мап полягала в наступній послідовності дій:

1. За допомогою обертання осі пропускання аналізатора  $\Theta$  в межах  $=0^\circ-180^\circ$  визначали масиви мінімальних і максимальних

рівнів інтенсивностей  $I_{\min} \begin{pmatrix} r_1, \dots, r_m \\ \dots \\ r_n, \dots, r_m \end{pmatrix}; I_{\max} \begin{pmatrix} r_1, \dots, r_m \\ \dots \\ r_n, \dots, r_m \end{pmatrix}$  лазерного

зображення для кожного окремого пікселя  $(mn)$  CCD-камери і,

відповідні їм кути повороту  $\Theta \begin{pmatrix} r_1, \dots, r_m \\ \dots \\ r_n, \dots, r_m \end{pmatrix} \left( I \begin{pmatrix} r_1, \dots, r_m \\ \dots \\ r_n, \dots, r_m \end{pmatrix} \equiv \min \right)$ .

2. Розраховували поляризаційну мапу зображення БТ із використанням наступних співвідношень

$$\begin{aligned} \alpha \begin{pmatrix} r_1, \dots, r_m \\ \dots \\ r_n, \dots, r_m \end{pmatrix} &= \Theta(I(r) \equiv \min) - \frac{\pi}{2}; \\ \beta \begin{pmatrix} r_1, \dots, r_m \\ \dots \\ r_n, \dots, r_m \end{pmatrix} &= \arctg \frac{I(r)_{\min}}{I(r)_{\max}}. \end{aligned} \quad (5)$$

Статистичний підхід в аналізі поляризаційних мап біологічних тканин.

В ролі основного аналітичного інструменту для оцінювання сукупності випадкових величин  $\alpha$ ,  $\beta$ , що характеризують поле розсіяного випромінювання, використовувалися статистичні моменти першого  $M$ , другого  $\sigma$ , третього  $A$  і четвертого  $E$  порядків їх величин, які обчислювалися шляхом усереднення відліків по кожному пікселю ресетруючої CCD - камери ( $X_{m=1,800}, Y_{n=1,600}$ ) за наступними алгоритмами:

$$\begin{aligned} M_s &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |\beta_i|; \\ \sigma_s &= \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \beta_i^2}; \\ A_s &= \frac{1}{\sigma_s^3} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \beta_i^3; \\ E_s &= \frac{1}{\sigma_s^4} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \beta_i^4. \end{aligned} \quad (6)$$

де  $N = m \times n$  - повна кількість пікселів CCD-камери.

### Результати дослідження та їх обговорення

Для дослідження нами було обрано три групи об'єктів:

- Сполучну тканину (дермальний шар шкіри).
- М'язову тканину (скелетний м'яз).
- Тканину селезінки.

Поляризаційну неоднорідність гістологічного зрізу дермального шару ілюструє серія комп'ютерних розподілів інтенсивності, що ресетрувалась для різних поворотів  $\Theta$  площини пропускання поляризатора-аналізатора (рис. 1).

Встановлено, що оптично анізотропна складова (двопроменезаломлююча колагенова сітка) такої біологічної тканини формує координатно розподілені значення еліптичності поляризації (співвідношення - 4). На це вказує неоднорідний розподіл інтенсивності у поляризаційних зображеннях колагенових волокон.

З метою встановлення можливостей використання інформації про поляризаційну структуру лазерних зображень гістологічних зрізів біологічних тканин трупа людини для встановлення ДНС вивчалась часова динаміка зміни статистичних моментів розподілів еліптичності поляризаційних мап сполучної тканини (рис. 4, рис. 5), тканини скелетного м'язу (рис. 2, рис. 3) і тканини селезінки (рис. 6, рис. 7).

На рис. 3 наведені часові залежності середнього ("а"), дисперсії ("б"), асиметрії ("в") та ексцесу ("г") координатних розподілів випадкових значень координатних розподілів еліптичності лазерних коливань у поляризаційних мапах гістологічного зрізу тканини скелетного м'язу.

З одержаних результатів дослідження динаміки зміни статистичних моментів розподілів значень еліптичності поляризаційних мап тканини скелетного м'язу випливає:

- Всі статистичні моменти з плином часу досягають насичення діапазону зміни власних значень, що є критерієм визначення діапазону встановлення ДНС.

- Швидкість досягнення такого насичення для різних статистичних моментів різна.

- Найбільший діапазон (15 год. - 20 год.) ДНС обумовлює часова динаміка зміни середнього розподілу еліптичності.

- Найменший діапазон (3 год. - 5 год.) ДНС обумовлює часова динаміка зміни ексцесу розподілу еліптичності.

Аналогічні результати щодо встановлення діапазонів визначення ДНС від 3 год. до 20 год. було отримано під час дослідження часової динаміки зміни статистичних моментів (рис. 5) розподілів еліптичності поляризаційної мапи (рис. 4) гістологічного зрізу дермального шару шкіри людини.

Інша картина спостерігається при часовому моніторингу

змін статистичної структури поляризаційних мап паренхіматозної тканини селезінки.

З плином часу для статистичних моментів розподілу інтенсивності (рис. 6) не спостерігається чіткий момент, при якому значення середнього, дисперсії, асиметрії і ексцесу досягають свого насичення (рис. 7). Тому, в ролі достовірного об'єктивного критерію встановлення ДНС такі залежності не можуть бути використані.

### Висновки

У результаті проведених поляриметричних досліджень лазерних зображень структурованих та паренхіматозних тканин встановлено:

1. Поляризаційна неоднорідність структури таких зображень зумовлена наявністю оптико-анізотропної складової.

2. Часову деградацію оптичної анізотропії архітектоники після настання смерті.

3. Динаміка змін параметрів поляризації зображень біотканин різних типів різна, що дозволяє визначати різні часові діапазони ДНС (табл. 1).

**Таблиця 1. Часові інтервали визначення ДНС методом моніторингу змін величин азимутів та еліптичностей поляризації лазерних зображень гістологічних зрізів БТ трупа людини**

Біотканина	Період визначення ДНС, год
М'язова тканина (поперечно-смугаста)	1 - 25
М'язова тканина (серцевий м'яз)	1 - 22

### Перспективи подальших досліджень

Виходячи з отриманих даних проведених досліджень встановлено, що процеси перебігу трупних змін, які проявляються у вигляді деградації оптичних анізотропії біотканин різних типів, забезпечують більш об'єктивне та достовірне визначення ДНС, і можуть бути використані в ролі об'єктивного критерію.

### Література

1. Тучин В.В. Исследование биотканей методами светорассеяния // Успехи физических наук. - 1997. - Т.167, №5. - С.517-539.
2. Optical methods of biomedical diagnostics and therapy /Ed. V.V.Tuchin. - Bellingham, SPIE. - 1992. - Vol. 1981. - P. 411-489.
3. Сидько Ф.Я., Лопатин В.Н., Парамонов Л.Е. Поляризационные характеристики взвесей биологических частиц. - Новосибирск: Наука СО, 1990. - 329 с.
4. Лебедев А.Д., Левчук Ю.Н., Ломакин А.В., Носкин В.А. Лазерная корреляционная спектроскопия в биологии. - К.: Наукова думка, 1987. - 371 с.
5. Anderson R.R., Parrish J.A. Optical properties of human skin / The science of photomedicine /Eds J.D.Regan, J.A.Parrish. - N.Y., Plenum Press. - 1982. - P.147-194.
6. Максимова И.Л., Тучин В.В., Шубочкин Л.П. Распространение света в анизотропных биологических объектах // Лазерные пучки. - Хабаровск: Изд-во Хабаровского политехн. ин-та, 1985. - С. 91-96.
7. Максимова И.Л., Тучин В.В., Шубочкин Л.П. Поляризационные характеристики роговой оболочки глаза // Оптическая спектроскопия. - 1986. - Т.60, № 4. - С.801-806.
8. Rinneberg H. Scattering of laser light in turbid media, optical tomography for medical diagnostics // The inverse problem /Ed. H.Lubbig. - Berlin: Akademie Verlag. - 1995. - P.107-141.
9. Tissue optics /Eds A.J.Welch, M.C.J. van Gemert. - N.Y.: Academic, 1992. - 412 p.
10. Ushenko G., Burkovets D.N., Ushenko Yu. A. Polarization-

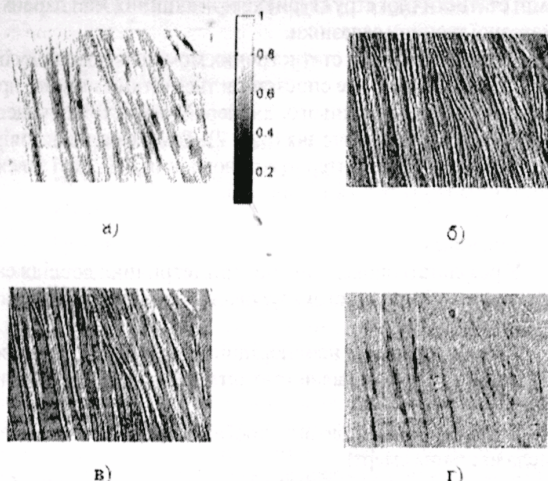


Рис. 2. Поляризаційні карти гістологічного зрізу тканини скелетного м'язу, визначенні для ДНС: 1 год. ("а"); 5 год. ("б"); 10 год. ("в"); 24 год. ("г")

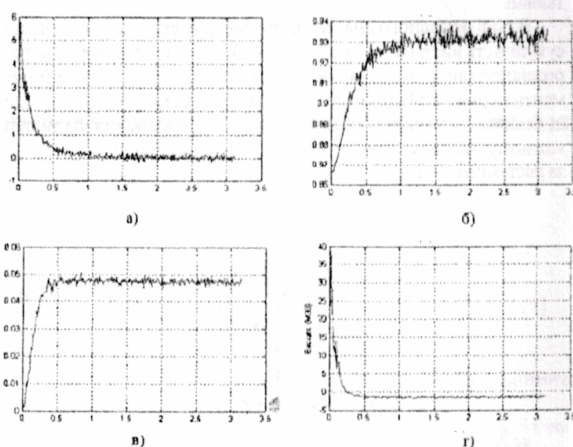


Рис. 3. Часова динаміка зміни статистичної структури поляризаційної карти тканини скелетного м'язу

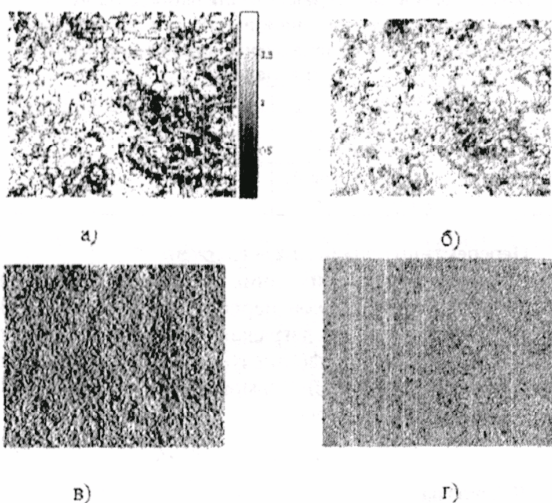


Рис. 4. Поляризаційні карти гістологічного зрізу тканини дермального шару шкіри, визначенні для ДНС: 1 год. ("а"); 5 год. ("б"); 10 год. ("в"); 24 год. ("г")

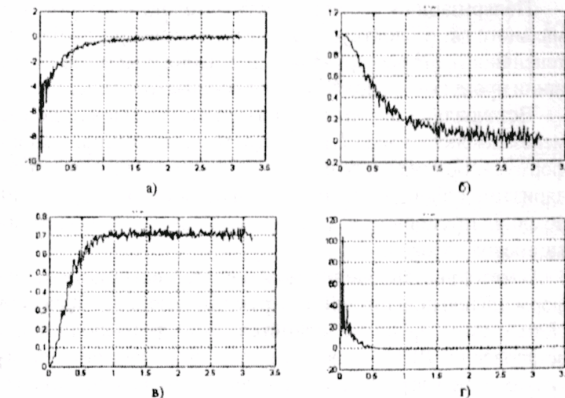


Рис. 5. Часова динаміка зміни статистичної структури поляризаційної карти тканини дермального шару

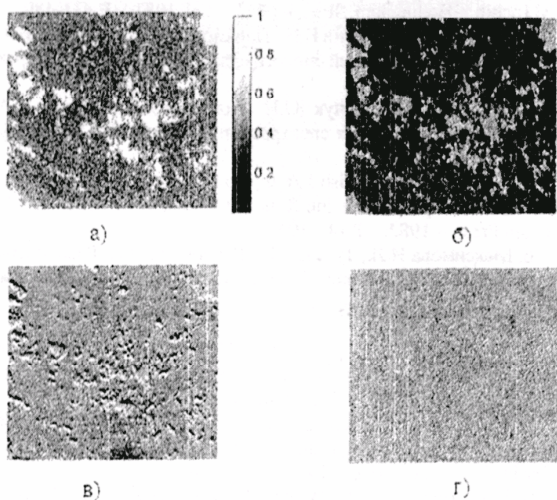


Рис. 6. Поляризаційні карти гістологічного зрізу тканини селезінки, визначенні для ДНС: 1 год. ("а"); 5 год. ("б"); 10 год. ("в"); 24 год. ("г")

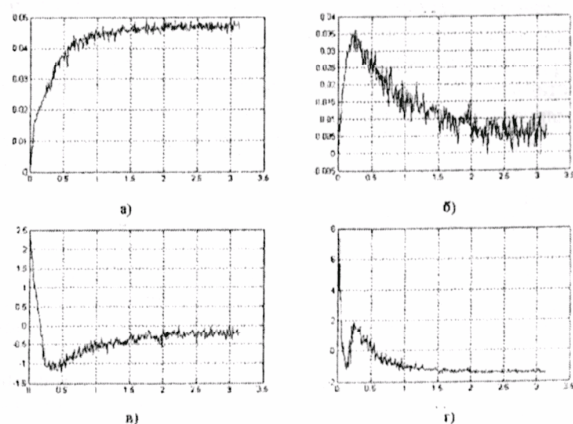


Рис. 7. Часова динаміка зміни статистичної структури поляризаційної карти тканини селезінки

Phase Mapping and Reconstruction of Biological Tissue Architectonics during Diagnosis of Pathological Lesions //Optics and Spectroscopy – 2002. – Vol.93, Issue 3. – P.449-456.

11. Laser polarization visualization and selection of biotissue images /O.V. Angelsky, A.G. Ushenko, D.N. Burkovets et al. //Optica Applicata. –2002. – Vol. 32, No.4. – P.214-221.

*Bachinsky V.T.*

**Statistical Analysis of Polarization Maps of Laser Images of Human Corpse Tissues in Order to Establish the Prescription of Death Coming**

**Summary.** The generally accepted forensic-medical methods of

diagnosing the prescription of death coming (PDC) are dependent on many factors, therefore the obtained findings present an incomplete, often subjective information with broad temporal spaces of the development of postmortem in biotissues of different types. In order to solve these problems it is advisable to use the methods of laser polarimetry methods which provide a more objective and reliable establishment of PDC by means of monitoring a degradation of the optic anisotropy of biotissues of different types.

**Key words:** *laser, anisotropy, death, biological tissues.*

Надійшла 05.11.2007 року.