

УДК: 616-091.8-073.55:340.6

В.Т. Бачинський¹,О.М. Гуров²,Ю.В. Саркісова¹,О.Г. Ушенко³¹ВДНЗУ "Буковинський державний медичний університет";²Харківська медична академія післядипломної освіти;³Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича

ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ ОЦІНКИ МОРФОЛОГІЧНОГО СТАНУ БІОЛОГІЧНИХ ТКАНИН ЛАЗЕРНИМИ ПОЛЯРИМЕТРИЧНИМИ МЕТОДАМИ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ЗАВДАНЬ СУДОВОЇ МЕДИЦИНИ

Ключові слова: лазерна поляриметрия, судова медицина, діагностика

Резюме. У статті висвітлено фізичні основи одного із перспективних методів дослідження біологічних тканин та середовищ організму - лазерної поляриметрії. Наводяться приклади успішного застосування методу та його подальшого удосконалення для вирішення окремих актуальних проблем судово-медичної практики.

Вступ

Створення світлового мікроскопа зумовило значний прорив у медико-біологічних науках. Навіть сьогодні ми використовуємо його в повсякденній лабораторній практиці. І хоч будова самого приладу дещо змінилась за історію його використання, але сам принцип залишився незмінним. З іншого боку, світловий мікроскоп для візуалізації об'єктів послуговується видимим некогерентним світлом із широким інтервалом довжини хвилі. Якщо ж використовувати як джерело випромінювання лазер, що здатен генерувати промінь із заданою довжиною хвилі та з постійною різницею фаз (когерентне випромінювання), то це дозволить відкрити деякі властивості біологічних тканин (БТ) та середовищ організму (СО), що недоступні для звичайного спостереження. Справді, на сьогодні розробляються прогресивні методики, що базуються на використанні вище згаданого когерентного випромінювання у поєднанні з його поляризацією та суттєво розширюють можливості не тільки судової медицини, але й медичної науки в цілому. Поляриметрична візуалізація

дозволяє виявляти патологічні зміни в тканинах, оскільки стан поляризації оптичного випромінювання є дуже важливим джерелом інформації під час дослідження оптичних середовищ та БТ [2,3,7,8]. Тому в даній статті розглянемо основи методу та приклади його успішного використання для розв'язання найактуальніших проблем судової медицини.

Фізичні основи лазерної поляриметрії.

Згідно з електромагнітною теорією, оптичне випромінювання поширюється в середовищі як поперечна електромагнітна хвиля, яка математично може бути представлена на підставі рішення рівнянь Максвелла у вигляді суперпозиції плоских монохроматичних хвиль [9].

Оптичне випромінювання має векторний характер, тому для його повного опису при поширенні в БТ необхідно використовувати як інтенсивність (амплітуду), фазу, частоту (довжину хвилі), так і стан поляризації. Останній характеризується за допомогою орієнтації в часі електричного вектора (рис. 1.). Якщо ця орієнтація в площині хвильового фронту (для плоскої хвилі) зали-

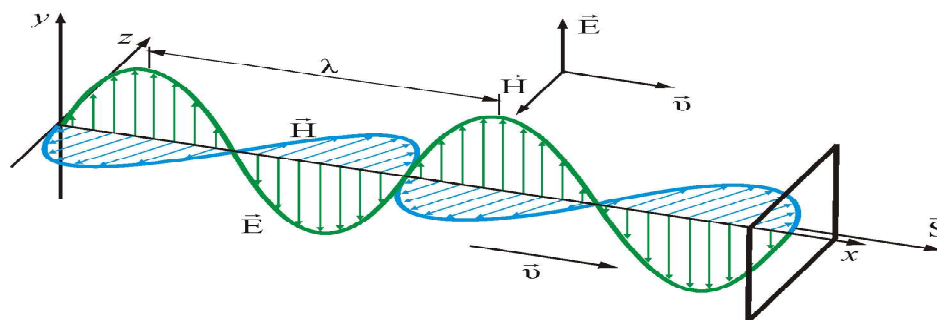


Рис. 1. Вектор електромагнітного випромінювання. E - електрична складова, H - магнітна складова, λ - довжина хвилі, v - фазова швидкість, S - вектор S, направлений в сторону поширення електромагнітного випромінювання

© В.Т. Бачинський, О.М. Гуров, Ю.В. Саркісова, О.Г. Ушенко, 2017

шається стаціонарною за час вимірювання, випромінювання є поляризованим, інакше світло після проходження середовища буде частково або повністю деполаризованим. Таким чином, стан поляризації світла зазнає змін проходячи випроміню-

ванням через зразок БТ, а також відбиваючись від його поверхні.

У разі монохроматичної плоскої хвилі з еліптичною поляризацією, після спрощень рівняння еліпса поляризації, отримуємо рівняння [6, 12]:

$$\begin{cases} (E_{x0}^2 + E_{y0}^2)^2 = (E_{x0}^2 - E_{y0}^2)^2 + (2E_{x0}E_{y0} \cos \delta)^2 + (2E_{x0}E_{y0} \sin \delta)^2 \\ \delta = \phi_y - \phi_x, \end{cases}$$

яке можна переписати з урахуванням параметрів вектора Стокса

$$S_0^2 = S_1^2 + S_2^2 + S_3^2.$$

Оптичне випромінювання, стан поляризації якого представлено вектором Стокса, під час проходження через БТ може змінити свій вектор Стокса, тим самим встановлення останнього є джерелом інформації про структуру БТ [9] (рис.2).

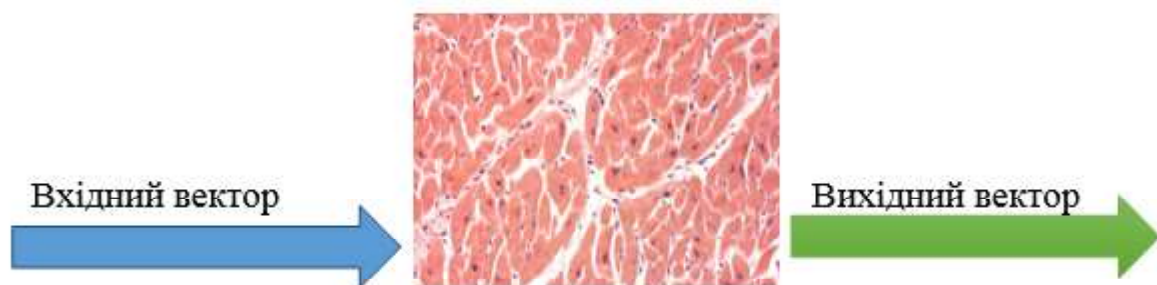


Рис.2. Схема використання вектора Стокса для аналізу зразка БТ

Лазерна поляриметрія.

Лазерна поляриметрія є перспективним інструментальним методом досліджень в біології та медицині. Просторовий розподіл, періодичність і розмірні характеристики структур БТ та СО впливають на стан поляризації розсіяного випромінювання, що може бути виявлено поляриметрами.

У процесі аналізу ряду БТ (шкіра, рогівка і склера, хрящова, м'язова тканина та інші) важливими інформативними параметрами, котрі характеризують їх внутрішню структуру і дозволяють виявляти патологічні зміни в них, можуть бути параметри еліпса поляризації оптичного випромінювання [5, 10].

Загальновідомо, що параметри еліпса поляризації можна однозначно визначити з чотирьох параметрів Стокса. Методика визначення параметрів анізотропії заснована на лінійній взаємодії світла з ділянкою тонкого зразка БТ в рамках Мюллер матричного формалізму [11].

Експериментальна матриця Мюллера об'єкта (ділянки плоского тонкого зразка БТ) пов'язує вихідний вектор Стокса з вхідним вектором, а сучасні лазерні поляриметричні системи (ПС) забезпечують високі показники чутливості і точності вимірювань [13]. Обмеженням поляриметрії є непрозорість середовища, однак і в цьому ви-

падку може бути застосована техніка поляризаційного аналізу в зворотному напрямі. На сьогодні на ринку представлені у великій кількості автоматизовані ПС, зокрема Anton Paar, Австрія; Rudolph Research Analytical, США; Bellingham + Stanley, UK; Hinds Instruments, США та Axometrics, США; SKZ Industrial Co, Китай. Між указаними приладами є деякі відмінності у методі вимірювання, типі реєстрації, типі джерела випромінювання, встановленому режимі роботи вимірювання, можливостях обертання оптичних компонентів, типі модулятора поляризації випромінювання, ступені автоматизації та методі генерації поляризації вхідного випромінювання [8].

Сертифіковані цифрові ПС для біомедичних досліджень промисловістю України не виробляються, проте у провідних українських лабораторіях для досліджень об'єктів різної природи розроблені й успішно використовуються в наукових і практичних цілях оригінальні експериментальні установки поляриметрів. До таких лабораторій належать лабораторії наукових шкіл проф., д.ф.-м.н. Ушенко О.Г. (ЧНУ ім. Ю. Федьковича), проф., д.ф.-м.н. Шопи Я.І. (ЛНУ ім. Івана Франка), проф., д.ф.-м.н. Савенкова С.Н. (КНУ ім. Тараса Шевченка), проф., д.т.н. Петрука В.Г. (ВНТУ) та інші [1, 4, 8, 13-15].

Інтегративний підхід до вирішення актуальних

проблем судово-медичної експертизи дозволив співробітникам кафедри судової медицини та медичного правознавства ВДНЗ України "Буковинський державний медичний університет" разом із колегами з кафедри кореляційної оптики та спектроскопії ЧНУ ім. Ю.Федьковича встановити лазерні поляриметричні критерії, що дозволяють об'єктивно, відтворювано та точно встановлювати давність настання смерті (ДНС) та час формування гематом, наявність гострої коронарної недостатності (ГКН), зажиттєвість тілесних ушкоджень та диференціювати смерть від механічної асфіксії та крововтрати.

ної асфіксії та крововтрати.

Так використовуючи лазерну поляриметрію (і визначаючи азимут та еліптичність поляризації), автори встановили, що часова динаміка трупних змін структури м'язової тканин (МТ) призводить до суттєвого зменшення оптичної анізотропії. Ймовірності випадкових значень азимутів і еліптичності поляризації зі збільшенням часу спостереження після настання смерті мають чітку тенденцію до перерозподілу до мінімальних величин. На рис. 3 показані часові залежності зміни поляризаційних параметрів $\Delta\alpha^0$ (крива 1), $\Delta\beta^0$ (крива

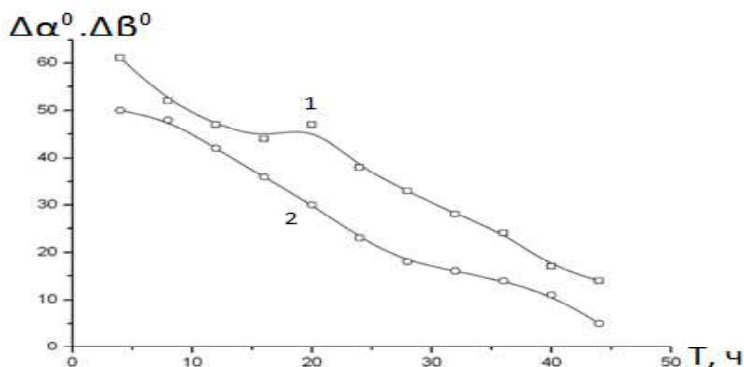


Рис. 3. Часові залежності зміни поляризаційних параметрів зображень МТ: 1 - часова залежність параметра $\Delta\alpha^0$; 2 - часова залежність параметра $\Delta\beta^0$

2) зображень МТ.

Звуження інтервалів випадкової зміни параметрів $\Delta\alpha^0$, $\Delta\beta^0$ зі збільшенням часу після настання смерті можна пов'язати зі зменшенням рівня оптичної анізотропії архітектоники МТ та використовувати як діагностичний параметр ДНС.

У результаті ми встановили, що часовий діапазон визначення ДНС, зумовлений особливостями посмертних змін лазерних зображень МТ, від 1 - 140 год і точність визначення - 1,5 год.

Ще більш точним виявилось застосування мюллер-матричного аналізу, особливо в наступній статистичній обробці (табл.).

Зокрема, авторами встановлено можливість встановлення ГКН в ранні терміни, використовуючи статистичні моменти 3 і 4-го порядків розподілу $N_0(x)$ екстремальних значень фазового елемента Z_{44} матриці Мюллера тканини міокарда. З використанням характеристичного значення $Z_{44} = 0$ встановлені такі діапазони відмінностей між

Таблиця

Статистичні моменти 1 - 4-го порядку розподілу $N_0(x)$ екстремальних значень фазового елемента Z_{44} матриці Мюллера міокарда

$M_i(N_0)$	Норма	ГКН
$M_1(N_0)$	$0,11 \pm 0,0011$	$0,74 \pm 0,0023$
$M_2(N_0)$	$0,46 \pm 0,0021$	$0,21 \pm 0,0016$
$M_3(N_0)$	$3,54 \pm 0,0036$	$0,43 \pm 0,0022$
$M_4(N_0)$	$6,21 \pm 0,0048$	$0,57 \pm 0,0047$

$p \leq 0,005$

статистичними параметрами, що характеризують оптично анізотропну складову міокарда в умовах ГКН порівняно з нормою: середнє $M_1(N_0)$ збільшується в 5 разів; дисперсія $M_2(N_0)$ зменшується в 2,3 рази; асиметрія $M_3(N_0)$ зменшується в 9 разів; ексцес $M_4(N_0)$ зменшується в

11 разів [1].

Висновок

Для оцінки стану біологічних тканин судово-медичні експерти практики використовують здебільшого макро- та мікроскопічні їх характерис-

тики, а також деякі інструментальні методи дослідження. Однак більшість із них не володіють достатньою точністю, об'єктивністю та відтворюваністю результатів. Тому, на нашу думку, використання лазерних поляриметричних методик дослідження є потужним інструментом для диференціювання патологічних станів біологічних тканин та середовищ організму людини загалом та у судово-медичній практиці зокрема.

Перспективи подальших досліджень.

Подальше продовження досліджень дозволить виявити нові об'єктивні критерії патологічних змін біологічних тканин тіла людини, що не тільки покращить діагностичні можливості існуючих методик, але й дозволить відповідати на низку інших актуальних питань судово-медичної практики.

Література. 1. Ванчуляк О.Я. Можливість використання фрактального аналізу фазових лазерних зображень міокарда для діагностики гострої коронарної недостатності / О.Я. Ванчуляк // Клініч. та експерим. патол. - 2011. - Т.10, №2 (36,ч1). - С. 9-12. 2. Дослідження статистичної структури деполаризації лазерного випромінювання тканиною печінки для диференціації настання смерті в результаті механічної асфіксії або крововтрати / В.Т. Бачинський, О.В. Павлюкович, В.Д. Мішалов, О.Я. Ванчуляк // Укр. мед. альманах. - 2010. - Т.13, №1. - С.101-103. 3. Иванов А. Новые возможности неинвазивной оптической диагностики структурных и биофизических параметров тканей и гуморальных сред / А. Иванов, В. Барун // Альманах клин. мед. - 2008. - № 17. - С. 25-31. 4. Конов В. И. Фундаментальные достижения оптики и лазерной физики для медицины / В. И. Конов, В. В. Осико, И. А. Щербаков // Вестн. РАН. - 2004. - Т. 74, № 2. - С. 99-113. 5. Лазерна поляриметрична оцінка структури мереж і колагенових фібрил дерми шкіри / Т. Бойчук, О. Ушенко, О. Новаковська [та ін.] // Клініч. та експерим. патол. - 2013. - № 12. - С. 38-43. 6. Лазерна растрова поляриметрія біотканин / С. В. Павлов, С. Є. Тужанський, О. С. Камінський, Р.Р. Хурадо : тези доповідей III Міжнародної науково-практичної конференції [Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія] (м. Вінниця, 29 - 31 травня 2012 р.). - Вінниця: ВНТУ, 2012. - С. 74-75. 7. Моделирование спектроскопических методов анализа состояний биотканей / Р.У. Ровира, С.В. Павлов, В.Б. Василенко, М.М. Байас : материалы XXXX Международной научно-практической конференции, [Применение лазеров в медицине и биологии] (г. Ялта, 2-5 октября 2013 г.). - Ялта, 2013. - С. 203-204. 8. 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. - 372с. 9. Фізичні основи біомедичної оптики: монографія / С.В. Павлов, В.П. Кожем'яко, П.Ф. Колісник [та ін.]. - Вінниця: ВНТУ, 2010. - 152 с. 10. Юштин К.Е. Лазерна поляриметрія об'єктів із ізотропною поляризацією: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. фіз.-мат. наук: 01.04.05 спец. - оптика, лазерна фізика / К.Е. Юштин; Київ. нац. ун-т ім.

Т.Шевченка. - К., 2005. - 21 с. 11. Aas L.M.S. Mueller Matrix Ellipsometric imaging / L.M.S. Aas // Trondheim, May 4, 2009. - 42p. 12. Gerrard A. Introduction to matrix method sin optics / A. Gerrard, J. Burch // Dover Publications Inc. - 2012. - 355 p. 13. Optical Measurements: Polarization and Coherence of Light Fields / O.V. Angelsky, V.T. Bachinskiy, T.M. Boichuk [et all.] // In the book Modern Metrology Concerns edited by Luigi Cocco. - 2012. - P. 263-316. 14. Savenkov S.N. Mueller-matrix characterization of biological tissues / S.N. Savenkov // Polarimetric Detection, Characterization and Remote Sensing. - Springer Netherlands, 2011. - P. 437-472. 15. 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. - Vol. 14, № 4 (56). - P. 119-121.

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ОЦЕНКИ МОРФОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ ТКАНЕЙ ЛАЗЕРНЫМИ ПОЛЯРИМЕТРИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ СУДЕБНОЙ МЕДИЦИНЫ

*В.Т. Бачинский, О.М. Гуров, Ю.В. Саркисова,
О.Г. Ушенко*

Резюме. В статье освещены физические основы одного из перспективных методов исследования биологических тканей и сред организма - лазерной поляриметрии. Приводятся примеры успешного применения метода и его дальнейшего усовершенствования для решения отдельных актуальных проблем судебно-медицинской практики.

Ключевые слова: лазерная поляриметрия, судебная медицина, диагностика

BASIC PRINCIPLES OF MORPHOLOGICAL ASSESSMENT OF THE STATE OF BIOLOGICAL TISSUES USING LASER POLARIMETRIC METHODS FOR SOLVING FORENSIC MEDICINE PROBLEMS

V.T. Bachynskiy, O.M. Gurov, Y.V. Sarkisova O.G. Ushenko

Abstract. In this article the physical basis of one of a promising method for assessing biological tissues and body media, laser polarimetry, is described. Examples of the successful application of the method and its further improvement to solve some urgent problems of forensic practice are cited.

Keywords: laser polarimetry, forensic medicine, diagnostics.

HSEE of Ukraine "Bukovinian State Medical
University" (Chernivtsi)

Kharkiv Medical Academy of Postgraduate Education
HSEE of Ukraine Yuriy Fedkovych Chernivtsi National
University

Clin. and experim. pathol. - 2017. - Vol.16, №1 (59).-P.20-23.

Надійшла до редакції 13.02.2017

Рецензент – проф. І.Й. Сидорчук

*© В.Т. Бачинський, О.Я. Ванчуляк, Ю.В. Саркисова,
О.Г. Ушенко, 2017*