

СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ ЛАЗЕРНИХ ПОЛЯРИЗАЦІЙНИХ ЗОБРАЖЕНЬ ПЛАЗМИ КРОВІ В ДІАГНОСТИЦІ ПАТОЛОГІЇ МОЛОЧНИХ ЗАЛОЗ

Н. І. Заболотна¹, Б. П. Олійниченко²

*Вінницький національний технічний університет¹
НВП ТОВ «Медвін»², м. Вінниця*

Виявлено тенденційні зміни статистичних моментів двовимірних розподілів азимутів і еліптичності- поляризації лазерного зображення плазми крові людини. Оцінювання здійснено за умов припущення, що малий та підвищений рівень значення показника двопронезаломлення відповідають станам плазми крові здорової людини та з патологією молочних залоз.

Ключові слова: поляризаційне зображення плазми крові, показник двопронезаломлення, патологія молочних залоз, статистичні моменти, азимут поляризації, еліптичність поляризації.

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЛАЗЕРНЫХ ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПЛАЗМЫ КРОВИ В ДИАГНОСТИКЕ ПАТОЛОГИИ МОЛОЧНЫХ ЖЕЛЕЗ

Н. И. Заболотная¹, Б. П. Олейниченко²

*Винницкий национальный технический университет¹
НПП ООО «Медивин»², г. Винница*

Виявлені тенденційні зміни статистических моментів двумерних розподілів азимутів і еліптичності поляризації лазерного зображення плазми крові людини. Оцінювання здійснюється в умовах припущення, що малий і високий рівень значення показателя дволучепреломлення відповідають станам плазми крові здорової людини та з патологією молочних залоз.

Ключевые слова: поляризационное изображение плазмы крови, показатель дволучепреломления, патология молочных желез, статистические моменты, азимут поляризации, эллиптичность поляризации.

STATISTICAL ANALYSIS OF LASER POLARIZATION IMAGES OF BLOOD PLASMA IN DETECTING OF MAMMARY GLANDS PATHOLOGY

N. I. Zabolotna¹, B. P. Oliinychenko²

*Vinnitsia National Technical University¹
SPC "Medivin"², Vinnitsia*

There were found out changes of tendentious statistical moments of two-dimensional distribution of azimuth and ellipticity of polarization of a laser image of human blood plasma. Evaluation was carried out under the assumption that small and high level of birefringence reflects the state plasma "healthy person" and «pathology of mammary glands».

Key words: polarization images of blood plasma, the birefringence index, pathology of mammary glands, statistical moments, the polarization azimuth, polarization ellipticity.

Вступ. Провідне місце на різних етапах діагностичного процесу в мамології посідає диференціювання та уточнення діагнозу. Для цього широко застосовують дослідження крові та визначення її показників і параметрів, оскільки у біологічних рідинах відображаються специфічні зміни, характерні для певного типу патологічного процесу. З іншого боку, біологічні

рідини значно доступніші, менш травматичні для безпосереднього лабораторного аналізу, порівняно з методами біопсії біологічних тканин [1, 2].

На даний час найбільш поширеними і апробованими в клінічній практиці є спектрофотометричні методи дослідження плазми крові, що засновані на аналізі змін інтенсивності поля розсіяного випромінювання.

нювання оптично-неоднорідними біологічними рідинами [3].

Новим методом досліджень, що дозволяє отримати додаткову інформацію про зміну іншого типу оптичних параметрів біологічної рідини, є лазерна поляриметрия, яка базується на аналізі поляризаційних властивостей біологічних об'єктів при їх опроміненні лазерним поляризованим пучком.

Відомий цикл робіт [4-7], присвячений дослідженням процесів перетворення параметрів поляризації лазерного випромінювання мазками плазми крові. Вони ґрунтуються на представленні оптичних властивостей плазми крові, як двокомпонентної аморфно-кристалічної структури, кристалічна складова якої сформована сукупністю протеїнів, що володіють властивостями оптично одноосних двоприменезаломлюючих кристалів. На цій основі встановлено взаємозв'язки між набором статистичних моментів 1 - 4 порядків, що характеризують двоприменезаломлювальну архітектоніку плазми крові (розподіли напрямів оптичних осей (ρ) та фазових зсувів (δ) сіток протеїнових фібрил), та сукупністю відповідних статистичних моментів двовимірних розподілів азимутів (α) та еліптичностей (β) їх поляризаційних лазерних зображень при гострих хірургічних станах, зокрема при деструктивних формах гострого панкреатиту [8].

Проте, до цього часу не проводились дослідження можливостей застосування даних методик для діагностики патологічних змін у молочних залозах.

Мета роботи полягає в оцінюванні тенденцій змін статистичних моментів двовимірних розподілів поляризаційних характеристик (азимутів та еліптичностей) лазерного зображення плазми крові за наявності та відсутності патології молочних залоз за допомогою однопараметричного комп'ютерного моделювання.

Основна частина. Основними аналітичними співвідношеннями для визначення поляризаційних характеристик зображень плазми крові є: азимут (α) та еліптичності (β). Для описання механізму взаємодії лазерного випромінювання з полікристалічними мережами білків плазми крові застосовується матричний оператор Мюллера, що найбільш повно характеризує поляризаційні властивості плазми крові як оптичного одноосного двоприменезаломлюючого кристала [9-14].

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

де

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

Тут ρ - напрямок оптичної осі кристала; $\delta = 2\pi/\lambda \Delta n d$ - фазовий зсув, який вноситься між ортогональними складовими амплітуди лазерної хвилі довжиною λ , що проходить крізь білок з розміром d та показником двоприменезаломлення Δn .

Класичне визначення матриці Мюллера $\{Z\}$ полягає в тому, що такий математичний оператор вичерпно повно характеризує процеси трансформації вектора Стокса оптико-анізотропними біологічними шарами [9-14]

$$S^* = \{Z\} S_0. \quad (3)$$

Тут S_0, S^* - вектора Стокса опромінюючого і об'єктного пучків.

З урахуванням (3) можна записати вектор Стокса S^* у розгорнутому вигляді

$$S^* = \begin{pmatrix} 1 \\ S_2 \\ S_3 \\ S_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ z_{22}S_2^0 + z_{23}S_3^0 + z_{24}S_4^0 \\ z_{32}S_2^0 + z_{33}S_3^0 + z_{34}S_4^0 \\ z_{42}S_2^0 + z_{43}S_3^0 + z_{44}S_4^0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ \cos 2\alpha \cos 2\beta \\ \sin 2\alpha \cos 2\beta \\ \sin 2\beta \end{pmatrix}. \quad (4)$$

На основі (4) одержимо вирази для визначення азимута α і еліптичності β поляризації об'єктної електромагнітної хвилі

$$\alpha = 0,5 \arctg \left(\frac{S_3}{S_2} \right) \equiv u[z_{ik}(\rho, \delta)]; \quad (5)$$

$$\beta = 0,5 \arcsin(S_4) \equiv p[z_{ik}(\rho, \delta)]. \quad (6)$$

З аналізу співвідношень (5) і (6) випливає, що стан поляризації (α, β) перетвореного лазерного випромінювання визначається відповідними локальними орієнтаційно - фазовими (ρ, δ) параметрами полікристалічної сітки протеїнів біологічної рідини.

В основу комп'ютерного моделювання процесів формування поляризаційно-неоднорідних зображень плазми крові покладено такі положення.

• Кристалічна сітка представлена у вигляді впорядкованих за напрямками оптичних осей двопронезаломлюючих циліндрів (кількість $N=100$, діаметр $\otimes = 50\mu m$, показник двопронезаломлення $\Delta n = 1,5 \times 10^{-3}$) (рис. 1).

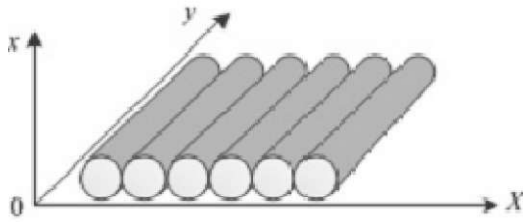


Рис. 1. Просторово впорядкована сітка циліндричних кристалів.

• Процес формування поляризаційно неоднорідних зображень полікристалічної мережі за умов багатозонного розсіяння моделюється за допомогою подвійного дифракційного інтеграла Релея - Зомерфельда [10].

• Розглядаються два типи полікристалічних мереж з різним показником двопронезаломлення $\Delta n = 1,5 \times 10^{-3}$ – група 1; $\Delta n^* = 1,5 \times 10^{-2}$ – група 2;

Припускаємо, що малий рівень ($\Delta n = 1,5 \times 10^{-3}$) двопронезаломлення відповідає моделі мережі кристалів плазми крові здорової людини, підвищений рівень ($\Delta n^* = 1,5 \times 10^{-2}$) відповідає стану з патологічними змінами у молочних залозах;

Найбільш об'єктивно координатні розподіли поляризаційних параметрів зображень полікристалічних мереж обох груп характеризує сукупність статистичних моментів $Z_{k=1;2;3;4}$, обчислена за співвідношеннями [9,14]

$$\begin{aligned} Z_1 &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |(q)_i|; \\ Z_2 &= \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (q)_i^2}; \\ Z_3 &= \frac{1}{Z_2^3} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (q)_i^3; \\ Z_4 &= \frac{1}{Z_2^2} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (q)_i^4, \end{aligned} \quad (6)$$

де N - повна кількість значень поляризаційного параметра q .

На основі наведених аналітичних положень засобами пакета прикладних програм МЛТЪЛБ 6 було проведено формування поляризаційних мап двох типів полікристалічних мереж з різними показниками двопронезаломлення, результати якого наведені на рисунках 2, 3.

Результати та обговорення. Аналіз поляризаційних мап $a(m \times n)$ і $b(m \times n)$ зображення полікристалічної мережі групи 1 (рис. 2) виявив складну координатно-неоднорідну структуру. Для гістограм

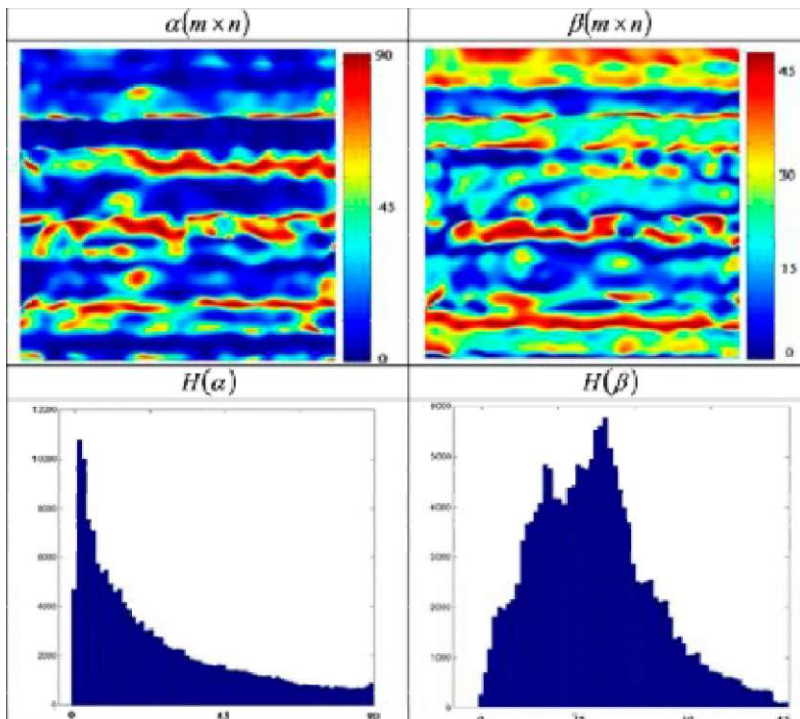


Рис. 2. Поляризаційні мапи $a(m \times n)$, $b(m \times n)$ і гістограми розподілів значень азимутів $H(\alpha)$ і еліптичності $H(\beta)$ поляризації зображення модельної двопронезаломлюючої сітки групи 1.

розподілу випадкових значень $H(\alpha)$ і $H(\beta)$ характерний максимально широкий діапазон зміни ($0^0 \leq \Delta\alpha \leq 90^0$ і $0^0 \leq \Delta\beta \leq 45^0$) значень азимуту і еліптичності поляризації лазерного випромінювання, перетвореного просторово-орієнтованими парціальними кристалами з малим двопронезаломленням $\Delta n = 1,5 \times 10^{-3}$. З іншого боку, залежності гістограм

$H(a)$ і $H(b)$ асиметричні та суттєво відрізняються між собою.

Кількісно оптичні прояви анізотропії впорядкованої мережі парціальних двопронезаломлюючих кристалів групи 1 ілюструє сукупність значень статистичних моментів 1-го - 4-го порядків (табл. 1), обчислена за співвідношеннями (7).

Таблиця 1. Статистичні моменти 1-го - 4-го порядків $Z_{k=1;2;3;4}$ координатних розподілів азимутів α і еліптичності β поляризації зображення модельної двопронезаломлюючої сітки груп 1 та 2

$Z_{k=1;2;3;4}$	$\alpha(m \times n)$		$\beta(m \times n)$	
	Група 1	Група 2	Група 1	Група 2
Z_1	0,05	0,05	0,14	0,14
Z_2	0,26	0,29	0,32	0,36
Z_3	1,85	1,18	2,16	1,61
Z_4	1,51	0,87	1,37	0,98

З аналізу наведених у таблиці 1 даних випливає, що для ймовірнісних розподілів випадкових значень азимуту α і еліптичності β поляризації лазерного зображення двопронезаломлюючої сітки групи 1 характерною є перевага величин статистичних моментів вищих (3-го і 4-го) порядків – $Z_{i=3;4}^{\alpha;\beta} \gg Z_{i=1;2}^{\alpha;\beta}$.

розподіл значень азимутів і еліптичності поляризації модельного лазерного зображення свідчить про зростання впливу оптичного двопронезаломлення полікристалічної мережі групи 2.

Аналіз гістограм $H(\alpha)$; $H(\beta)$ поляризаційних мап виявив зростання ймовірностей значень азимутів і еліптичності поляризації у всьому діапазоні зміни їх величин $0^0 \leq \Delta\alpha \leq 90^0$ і $0^0 \leq \Delta\beta \leq 45^0$ (рис. 3) у порівнянні із аналогічним розподілом параметрів по-

Одержана інформація про координатний $(m \times n)$ (рис. 3) і ймовірнісний (статистичний) $H(\alpha)$; $H(\beta)$

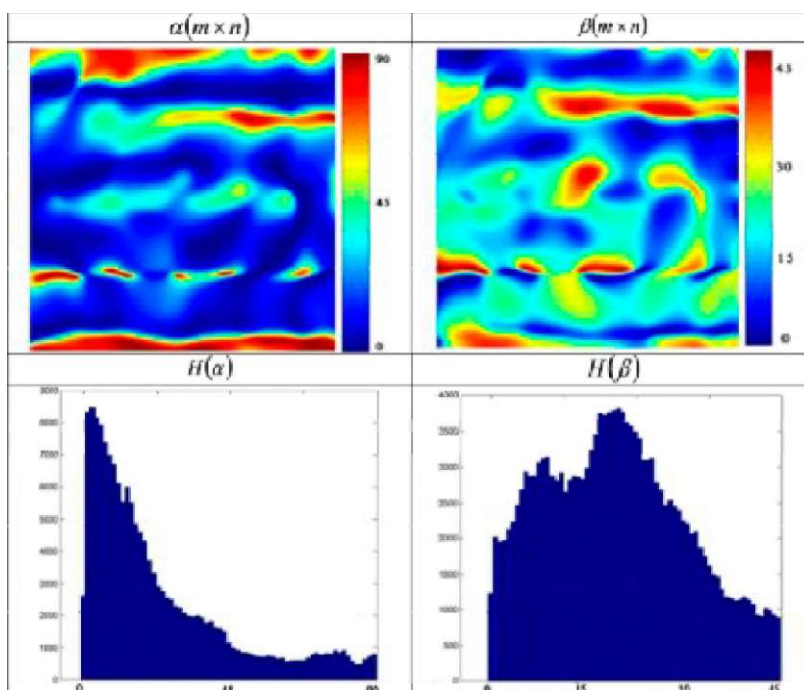


Рис. 3. Поляризаційні мапи $a(m \times n)$, $\beta(m \times n)$, $\beta(m \times n)$ і гістограми розподілів значень азимутів $H(\alpha)$ і еліптичності поляризації $H(\beta)$ зображення модельної двопронезаломлюючої сітки групи 2.

ляризації модельного лазерного зображення полікристалічної мережі групи 1 (рис. 2).

Кількісно зміни величини двоприменезаломлення ($\Delta n^* = 1,5 \times 10^{-2}$) полікристалічної мережі групи 2 ілюструє певне зростання (на 30 %) статистичного моменту 2-го порядку та зменшення (в 1,5 - 2 рази) статистичних моментів 3-го і 4-го порядків, що характеризують координатну структуру поляризаційних мап $\alpha(m \times n)$ і $\beta(m \times n)$.

Висновки. В результаті проведеного моделювання формування поляризаційних мап двох типів полікри-

сталічних мереж з різними показниками двоприменезаломлення та статистичного аналізу отриманих зображень азимуту і еліптичності поляризації виявлена чутливість статистичних моментів 3-го, 4-го порядків до змін (зростання) двоприменезаломлення парціальних циліндричних кристалів білків плазми крові.

Отже, отримані тенденційні результати слугують теоретичним підґрунтям для подальшого застосування методів лазерної поляриметрії полікристалічних мереж білків плазми крові в експериментальних дослідженнях з виявлення патологічних змін у молочних залозах.

Література

1. Тарутинов В. И. Молочная железа: рак и предраковые заболевания / В. И. Трутинов. - К. : Полиграфист, 2006. - 415 с.
 2. Зотов А. С. Мастопатии и рак молочной железы / А. С. Белик, Е. О. Зотов. - М. : Медпресс-информ, 2005. - 111с.
 3. Баркаган З. С. Диагностика и контролируемая терапия нарушенный гемостаза / З. С. Баркаган, А. П. Момот. - М. : Ньюдиамед-АО, 2001. - С. 296.
 4. Polarization phase reconstruction of biological tissue architectonics: Part 2. Study of polarizing intercorrelative function of coherent images of phase-inhomogeneous layer anisotropy / A. O. Angelskaya, A. G. Ushenko, Yu. A. Ushenko [et al.] // Proc. SPIE. - 2007. - Vol. 6635. - P. 66350LP.
 5. Polarization phase reconstruction of biological tissue architectonics: Part 3. Polarizing-correlative processing of images of statistical objects in the problem of visualization and topology reconstruction of their phase heterogeneity / A. O. Angelskaya, A. G. Ushenko, Yu. A. Ushenko, A. Dubolazov [et al.] // Proc. SPIE. - 2007. - Vol. 6635. - P. 66350MP.
 6. Dubolazov A. Polarization phase reconstruction of biological tissue architectonics: Part 4. Coherent introscopy of phase-inhomogeneous surface and layers / A. O. Angelskaya, A. G. Ushenko, Yu. A. Ushenko [et al.] // Proc. SPIE. - 2007. - Vol. 6635. - P. 66350NP.
 7. Alexander Dubolazov. The Degree of Mutual Correlation of Coordinate Distributions of Muller Matrix Elements Biological Tissues and Diagnostics of Their Physiologacal State / Y. A. Ushenko, Yuriy Ya. Tomka, Alexander Dubolazov // Proc. Vol.2 ST-OPITO 2009, 347-352, (2009).
 8. Івашук О. І. Зміна оптичних параметрів лазерної поляриметрії плазми крові за гострого деструктивного панкреатиту / О. І. Івашук, О. Г. Ушенко, І. К. Морар, В. Ю. Бодяка // Буковинський медичний вісник. - 2010. - Т.14, № 3. - С. 19-26.
 9. Ushenko A. G. Laser Polarimetry of Biological Tissue: Principles and Applications / A. G. Ushenko, V. P. Pishak // Handbook of Coherent-Domain Optical Methods: Biomedical Diagnostics, Environmental and Material Science. - 2004. - Vol. 1, - P. 93-138.
 10. Ushenko A. G. Polarization structure of laser scattering fields / A. G. Ushenko // Optical Engineering. - 1995. - Vol. 34(4). - p. 1088-1093.
 11. Ushenko A. G. Polarization-Phase Mapping and Reconstruction of Biological Tissue Architectonics during Diagnosis of Pathological Lesions / A. G. Ushenko, D. N. Burkovets, Yu. A. Ushenko // Optics and Spectroscopy. - 2002. - Vol. 93(3). - P. 449-456.
 12. Fercher A. F. Optical coherence tomography - principles and applications / A. F. Fercher // Rep. Prog. Phys. - 2003. - № 66. - P. 239-303.
 13. Johannes de Boer. F. Review of polarization sensitive optical coherence tomography and Stokes vector determination / Johannes F. de Boer, Thomas E. Milner // J. Biomed. Opt. - 2002. - Vol. 7. - P. 359-371.
- Evolution of Statistic Moments of 2D-Distributions of Biological Liquid Crystal Net Mueller Matrix Elements in the Process of Their Birefringent Structure Changes / A. G. Ushenko, I. Z. Misevich, V Istratiy [et al.] // Advances in Optical Technologies. - 2010. - Article ID 423145.