

## АНАЛІЗ РОЗПОДІЛІВ АЗИМУТІВ ТА ЕЛІПТИЧНОСТЕЙ ПОЛЯРИЗАЦІЇ ЛАЗЕРНИХ ЗОБРАЖЕНЬ ПЛАЗМИ КРОВІ ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ ПАТОЛОГІЧНИХ ЗМІН МОЛОЧНИХ ЗАЛОЗ

Мінцер О.П., \*Павлов С.В., \*Заболотна Н.І., \*\*Олійниченко Б.П.

Національна медична академія післядипломної освіти ім. П.Л. Шупика,  
Україна, м. Київ, вул. Дорогожицька, 9;

\*Вінницький національний технічний університет,  
Україна, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, тел.: 0432-598-337, e-mail: Natalia.Zabolotna@gmail.com;

\*\*НВП ТОВ «Медвін»,  
Україна, м. Вінниця, вул. Пирогова, 10, тел.: 0432-550-833, e-mail: Oliynichenkobp@mail.ru

*Проведено дослідження лазерних зображень зразків плазми крові трьох груп пацієнтів: здорових, з мастопатією, з раком молочної залози. На основі комплексного статистичного, кореляційного і фрактального аналізу отриманих мап азимутів та еліптичностей поляризації встановлено тенденції зміни величин зазначених параметрів для пацієнтів різних груп. Отримані результати можуть бути покладені в основу розробки нових критеріїв для діагностики патологій молочної залози.*

**Ключові слова:** молочна залоза, діагностика, азимут поляризації, еліптичність поляризації; статистичні, кореляційні, фрактальні параметри двовимірного розподілу.

### Вступ

За останні роки проблема ранньої діагностики раку молочної залози стимулювала розроблення нових та удосконалення існуючих діагностичних приладів та систем. Одним із важливих напрямків є лабораторна діагностика, зокрема вивчення зміни показників крові, де широкого розвитку набуває лазерна поляриметрія [1, 2, 3, 4, 5], що вивчає їх оптико-анізотропну складову. Головним результатом таких досліджень можна вважати створення прикладних методик діагностики онкологічних змін різних тканин і органів людини [5, 6, 7].

Наша робота спрямована на визначення можливостей діагностики патологічних змін молочної залози на основі поляризаційного аналізу лазерних зображень плазми крові.

### Матеріали та методи

Дослідження проявів оптико-анізотропних альбумін-глобулінових мереж плазми крові згідно запропонованої моделі [6] проводилося у традиційному розташуванні лазерного поляриметра

за інформаційною технологією, наведеною в попередній роботі авторів [3].

Значення азимута  $\alpha_{jk}$  та еліптичності  $\beta_{jk}$  поляризації у точці з координатами  $(jk)$  лазерного зображення шару плазми крові людини визначалося згідно відомого алгоритму [8, 9]:

$$\alpha_{jk} = 0,5 \arctg \left[ \frac{I_{jk}(45^\circ) - I_{jk}(-45^\circ)}{I_{jk}(0^\circ) - I_{jk}(90^\circ)} \right], \quad (1)$$
$$\beta_{jk} = 0,5 \arcsin \left[ \frac{I_{jk}(\otimes) - I_{jk}(\oplus)}{I_{jk}(\otimes) + I_{jk}(\oplus)} \right].$$

Тут  $I_{jk}(0^\circ; 90^\circ; +45^\circ; -45^\circ)$  – інтенсивності плоскополяризованих складових лазерного випромінювання, виміряних для різних поворотів  $(0^\circ; 90^\circ; +45^\circ; -45^\circ)$  площини пропускання поляризатора-аналізатора,  $I_{jk}(\otimes; \oplus)$  – інтенсивності право-  $(\otimes)$  і ліво-  $(\oplus)$  циркулярно поляризованої складової лазерного випромінювання.

Визначивши локальне значення азимута поляризації у кожній точці лазерного зображення плазми крові людини, одержуємо поляризаційну мапу  $\alpha(m \times n)$  та  $\beta(m \times n)$  її полікристалічної білкової мережі.

Для кількісної оцінки розподілів  $\alpha(X, Y); \beta(X, Y)$  пропонується визначення набору їх статистичних моментів 1-го - 4-го порядків  $M_1$ - $M_4$  [3]:

$$M_1 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (|\alpha; \beta|)_j; M_2 = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (\alpha^2; \beta^2)_j};$$

$$M_3 = \frac{1}{M_2^3} \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (\alpha^3; \beta^3)_j; M_4 = \frac{1}{M_2^4} \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (\alpha^4; \beta^4)_j, \quad (2)$$

де  $N = m \times n$  – кількість пікселів зображення.

Для кількісної характеристики автокореляційних залежностей  $K_{\alpha; \beta}(\Delta x)$  пропонується визначення такої групи параметрів [3]:

- кореляційна площа  $S$

$$S = \int_0^{X_0} K_{\alpha; \beta}(\Delta x) d(\Delta x), \quad (3)$$

де  $K_{\alpha; \beta}(\Delta x)$  - автокореляційна функція,

- кореляційні моменти  $Q_2, Q_4$ , які характеризують півширину і ступінь «гостроти» функції автокореляції

$$Q_2 = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (K^2_{\alpha; \beta}(\Delta x))_j}, \quad (4)$$

$$Q_4 = \frac{1}{Q_2^2} \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (K^4_{\alpha; \beta}(\Delta x))_j; \quad (5)$$

Фрактальний аналіз розподілів станів поляризації  $\alpha(X, Y); \beta(X, Y)$  зображень багаточасових двопронезаломлюючих сіток полягає у такій послідовності дій [6]:

- розраховувалися автокореляційні функції  $K_{\alpha; \beta}(\Delta x)$  і знаходилися відповідні спектри потужності  $PSD(\alpha; \beta)$  розподілів  $\alpha(X, Y); \beta(X, Y)$  за формулами

$$PSD(K(\Delta X)) = \int_{-\infty}^{\infty} K(\Delta X) \cos 2\pi \theta d\theta, \quad (6)$$

де  $\theta$  – просторові частоти, які визначаються оберненими геометричними розмірами  $d^{-1}$  структурних елементів біологічного шару;

- обчислювалися log-log залежності спектрів потужності  $\log PSD(\alpha; \beta) - \log(v)$  розподілів випадкових величин  $\alpha(X, Y); \beta(X, Y)$ ;

- залежності  $\log PSD(\alpha; \beta) - \log(v)$  апроксимувалися методом найменших квадратів у криві  $\Phi(\alpha; \beta)$ ,

для прямих ділянок яких визначалися кути нахилу  $\eta_i$  і обчислювалися величини фрактальних розмірностей множин величин  $\alpha(X, Y); \beta(X, Y)$  за співвідношенням:

$$\Phi(\alpha, \beta) = 3 - tg(\eta). \quad (7)$$

Класифікація ступеня самоподібності розподілів станів поляризації  $\alpha(X, Y); \beta(X, Y)$  проводилась згідно з такими критеріями [6]:

- розподіли  $\alpha(X, Y); \beta(X, Y)$  – фрактальні за умови лінійного характеру залежності  $\Phi(\alpha; \beta)$  ( $\eta = const$ ) для 2-3 декад розмірів  $d$  структурних елементів кристалічної сітки;
- розподіли  $\alpha(X, Y); \beta(X, Y)$  - мультифрактальні за умови наявності декількох постійних кутів нахилу  $\Phi(\alpha; \beta)$ ;
- розподіли  $\alpha(X, Y); \beta(X, Y)$  - випадкові при умові відсутності стабільних кутів нахилу  $\Phi(\alpha; \beta)$  у всьому інтервалі розмірів  $d$ .

Для характеристики логарифмічних залежностей  $\log PSD(\alpha; \beta) - \log(v)$  використовувалася дисперсія таких розподілів

$$D = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\log PSD(\alpha; \beta) - \log(v))_i^2}. \quad (8)$$

Було проведено порівняльне дослідження зразків плазми крові трьох груп пацієнтів – здорові (20 чоловік, група А), хворі з доброякісними змінами (19 чоловік, група В) і з раком молочної залози (17 чоловік, група С).

### Результати та обговорення

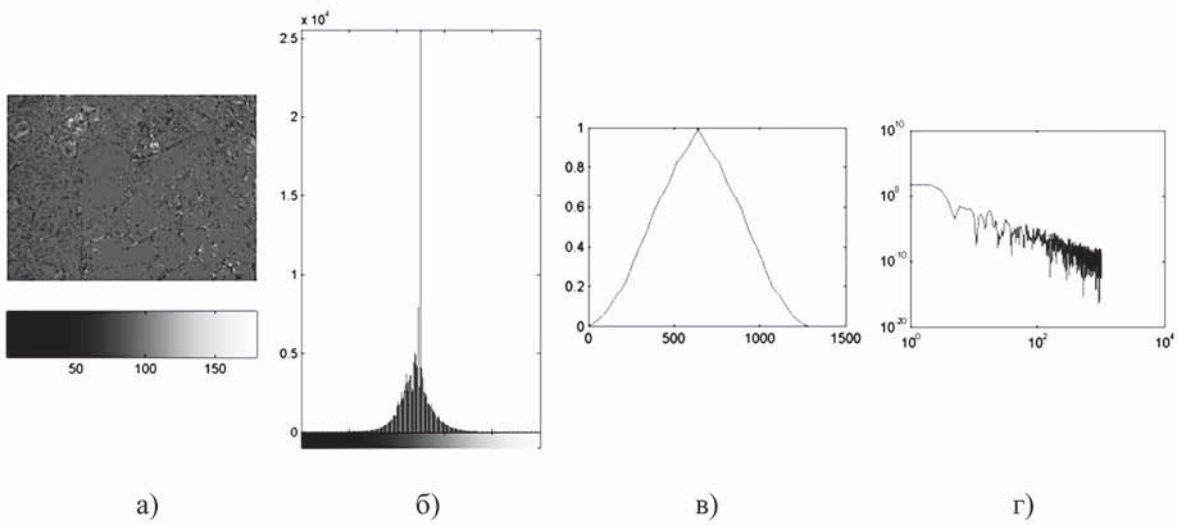
Нижче наведені характерні поляризаційні мапи розподілів азимутів (рис. 1) та еліптичностей (рис. 2) лазерних зображень плазми крові та їх ймовірнісні, кореляційні і фрактальні параметри для пацієнтів кожної групи.

Результати вимірювань та обчислені ймовірнісні, кореляційні і фрактальні параметри для кожної групи наведено у табл. 1.

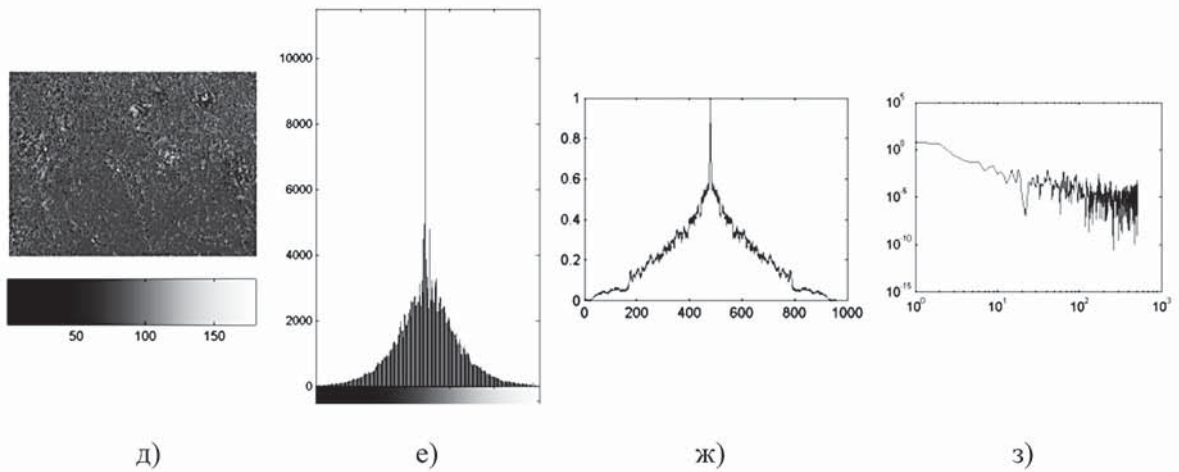
Установлені наступні діапазони змін середньостатистичних величин поляризаційних показників крові у пацієнтів груп А, В і С.

Аналіз статистичних моментів розподілів азимутів  $M_k^\alpha$  поляризаційних лазерних зображень плазми крові у групах А, В, С характеризується

група А



група В



група С

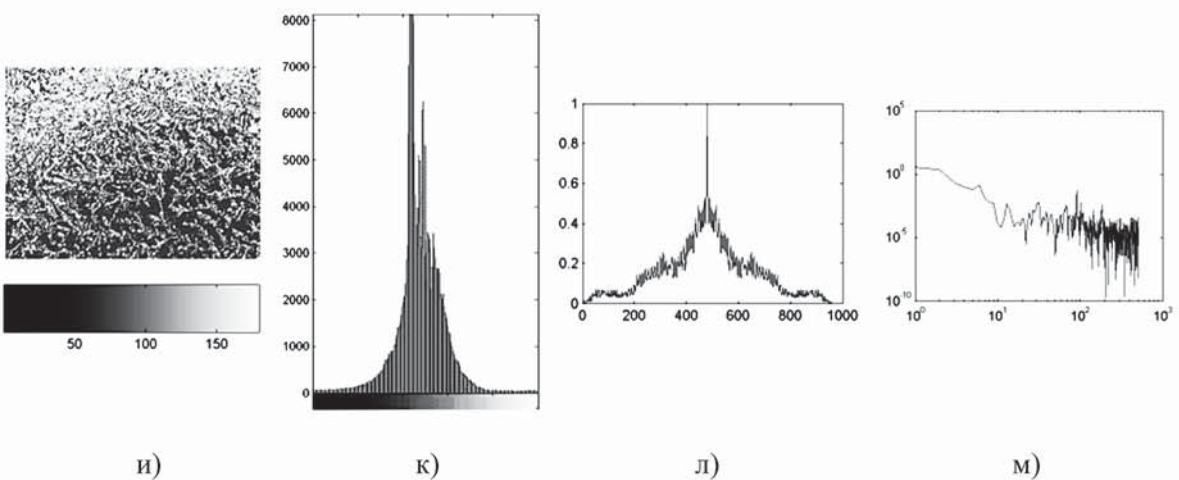


Рис. 1. Приклади поляризаційних мап розподілів азимутів поляризації зразків плазми крові груп А, В, С та їх ймовірнісні, кореляційні і фрактальні параметри

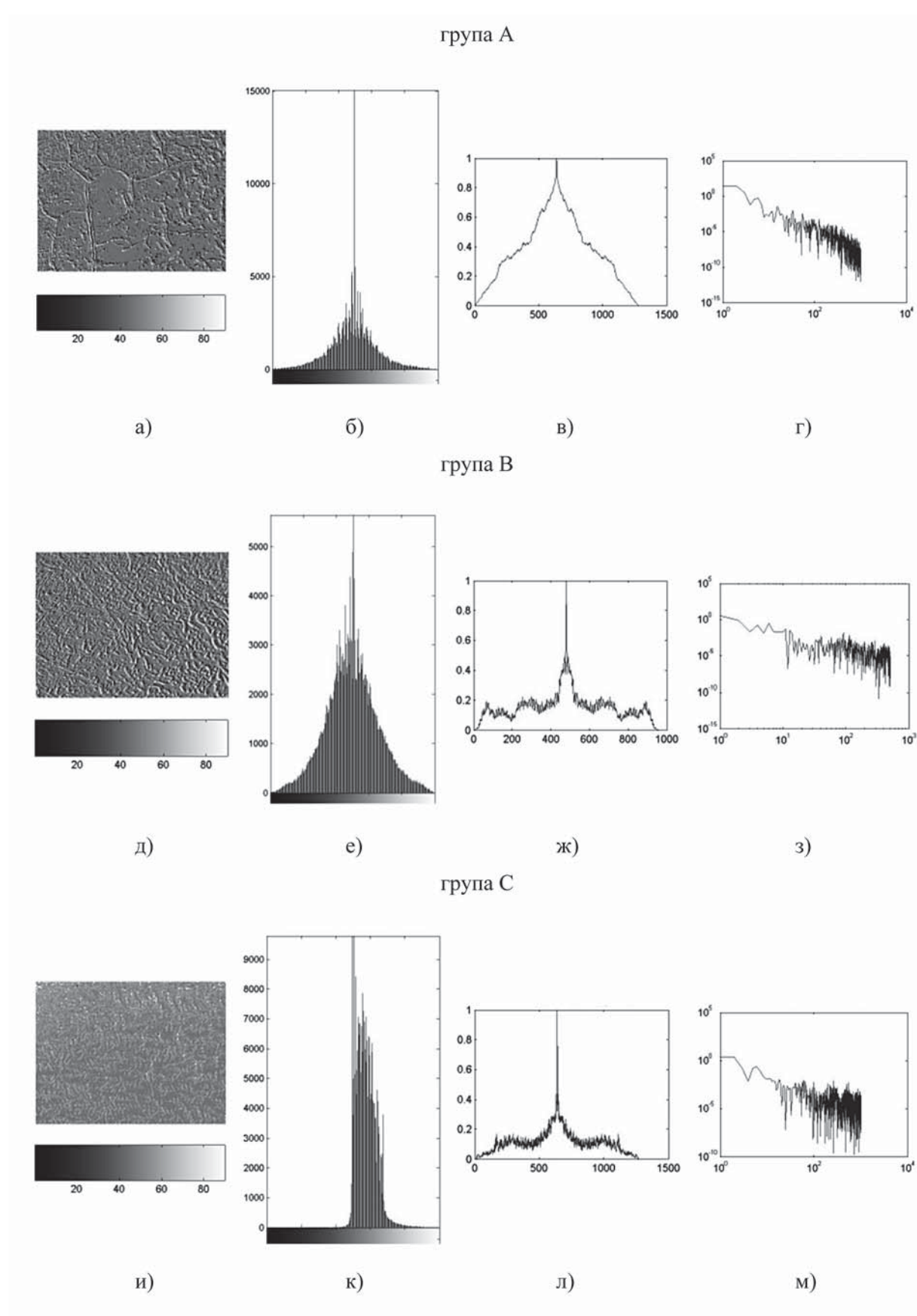


Рис. 2. Приклади поляризаційних мап розподілів еліптичностей поляризації зразків плазми крові груп А,В,С та їх ймовірнісні, кореляційні і фрактальні параметри

незмінним середнім значенням; збільшенням у 1,5-2 рази дисперсії; зменшенням асиметрії у 1,3-2 рази і зменшенням у 1,25-1,8 разів ексцесу.

Статистичні моменти розподілів еліптичностей  $M_k^\beta$  лазерних зображень плазми крові у групах А, В, С змінювались так: середнє  $M_1^\beta$  – збільшення

ентів груп В та С більші у 1,5 та 2 рази за значення аналогічного параметру групи А.

Значення дисперсії розподілу екстремумів  $\log$ - $\log$  залежностей спектрів потужності  $\beta^{(m \times n)}$  у пацієнтів групи В більші у 1,87 рази за значення параметру у пацієнтів групи А, а групи С - більші у

Таблиця 1

**Середнє  $M_1$ , дисперсія  $M_2$ , асиметрія  $M_3$ , ексцес  $M_4$ , кореляційна площа S, кореляційний момент  $Q_4$  і дисперсія D розподілів  $\alpha, \beta^{(m \times n)}$  лазерних зображень зразків плазми крові різних груп пацієнтів**

	Норма (20 зразків)		Доброякісні зміни (19 зразків)		Рак (17 зразків)	
	$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$
$M_1$	0,69±0,18	0,02±0,01	0,71±0,19	0,04±0,01	0,68±0,23	0,07±0,03
$M_2$	0,12±0,04	0,17±0,09	0,19±0,05	0,24±0,10	0,25±0,07	0,29±0,10
$M_3$	1,54±0,38	1,68±0,44	1,29±0,43	0,77±0,22	0,79±0,16	0,54±0,19
$M_4$	2,15±0,48	2,03±0,78	1,87±0,37	0,96±0,25	1,36±0,31	0,58±0,19
S	0,21±0,03	0,21±0,06	0,1±0,03	0,13±0,10	0,14±0,02	0,09±0,07
$Q_4$	0,21±0,04	0,53±0,17	0,34±0,05	3,12±0,62	1,23±0,27	5,21±0,87
D	0,12±0,02	0,19±0,08	0,25±0,03	0,27±0,09	0,43±0,06	0,41±0,16

у 2,2-4,6 разів; дисперсія  $M_2^\beta$  – збільшення у 1,3-1,4 разів; асиметрія  $M_3^\beta$  – зменшення у 2-3 рази і ексцес  $M_4^\beta$  – зменшення у 1,95-3,85 разів.

Разом з тим, діапазони зміни величин статистичних моментів 1-го і 2-го порядків перекриваються у межах груп А, В, С, значення статистичних моментів 3-го і 4-го порядків не перекриваються у групах А та С, що робить можливим діагностування раку молочної залози. При цьому диференціація онкологічного стану і мастопатії не є специфічною.

Відмінності між середньостатистичними значеннями кореляційної площі розподілів азимутів  $S^\alpha$  у межах груп А та В досягають 1,6 разів; для груп А та С - 2 разів.

Відмінності значень кореляційної площі  $S^\beta$  мап еліптичностей між пацієнтами групи А та груп В, С лежать у межах 2,5 разів, а розкид значень її величини між пацієнтами груп В та С перекривається.

Відмінності значень кореляційних моментів мап азимутів  $Q^\alpha$  між групами А, В, С складають 1,5-10 разів. Значення кореляційних моментів мап еліптичностей  $Q^\beta$  групи А і груп В та С відрізняються у 2-6 разів.

Значення дисперсії розподілу екстремумів  $\log$ - $\log$  залежностей спектрів потужності  $\alpha^{(m \times n)}$  пацієнтів груп В та С більші у 1,5 та 2 рази за значення аналогічного параметру групи А.

2,77 рази за значення аналогічного параметру пацієнтів групи А.

Таким чином, показано, що доброякісні та онкологічні зміни у молочних залозах виявляються у статистизації множин значень азимутів та еліптичностей лазерних зображень плазми крові.

### Висновки

Встановлено, що лазерні зображення зразків плазми крові пацієнтів груп А, В, С є поляризаційно неоднорідними структурами, обумовленими дихроїзмом речовини полікристалічної мережі білків.

На цій основі у межах статистичного, кореляційного та фрактального підходів до аналізу координатних розподілів азимутів та еліптичностей поляризації лазерних зображень зразків ПК експериментально виявлено діапазони зміни значень статистичних моментів  $M_{i=1;2;3;4}^\alpha$ , кореляційної площі  $S^\alpha$ , дисперсії  $D^\alpha$  і кореляційного моменту  $Q^\alpha$  при різних патологічних процесах у молочній залозі (групи В і С) та у контрольній групі А.

Отримані результати будуть використані для розробки критеріїв діагностики патологічних змін у молочних залозах методом лазерної поляриметрії.

### Література

1. Ушенко О.Г. Основи лазерної поляриметрії. Частина 1: Біологічні тканини людини / [О.Г.Ушенко, Ю.О.Ушенко, Ю.Я.Томка та інш.].– Чернівці: ЧНУ, 2010.– 588 с.
2. Павлов С.В. Фізичні основи біомедичної оптики / С.В.Павлов, В.П.Кожем'яко, П.Ф.Колісник та інш.– Вінниця: ВНТУ, 2010.– 152 с.
3. 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.
4. Заболотна Н.І. Принципи і методи поляризаційного картографування біологічних тканин / Н.І.Заболотна, Б.П.Олійниченко// Фотобіологія та фотомедицина.– 2010.– №3,4.– С.84-90.
5. Унгурян В.П. Методи поляризаційної та фазової діагностики патологічних змін біологічних тканин / В.П.Унгурян, Ю.О.Ушенко, Л.І.Бізер.– Чернівці: ЧНУ, 2009.– 247 с.
6. Бізер Л.І. Дослідження кореляційної структури координатних розподілів інтенсивностей лазерних зображень зразків крові у хворих на рак молочної залози при неоад'ювантній хіміотерапії / Л.І.Бізер, Р.В.Сенютович, О.Г.Ушенко, В.П.Унгурян // Буковинський медичний вісник.– 2010.– Т.14, №1.– С.162-167.
7. Ushenko Yu.A. Mueller-matrix diagnostics of optical properties inherent to polycrystalline networks of human blood plasma / Yu.A.Ushenko, O.I.Olar, A.V.Dubolazov et al. // Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics.– 2011.– Vol.14, №1.– P.98-105.
8. Angelsky O.V. Statistical, correlation and topological approaches in diagnostics of the structure and physiological state of birefringent biological tissues / O.V.Angelsky, A.G.Ushenko, Yu.A.Ushenko et al. // Handbook of Photonics for Biomedical Science: Ed. Valery V. Tuchin.– USA: CRC Press, 2010.– P.21-67.
9. Ushenko A.G. Stokes-correlometry of biotissues // Laser Physics.– 2000.– Vol.10, №5.– P.1286-1292.

### **АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АЗИМУТОВ И ЭЛЛИПТИЧНОСТЕЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ ЛАЗЕРНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПЛАЗМЫ КРОВИ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ПАТОЛОГИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ МОЛОЧНЫХ ЖЕЛЕЗ**

*Минцер О.П., \*Павлов С.В., \*Заболотная Н.И., \*\*Олійниченко Б.П.*

*Национальная медицинская академия последипломного образования им. П.Л.Шупика,  
Украина, г. Киев, ул. Дорогожичская, 9;*

*\*Винницький національний технічний університет*

*Украина, г. Винница, Хмельницькое шоссе, 95, тел.: 0432-598-337, e-mail: Natalia.Zabolotna@gmail.com;*

*\*\*НВП ООО «Медивин»,*

*Украина, г. Винница, ул. Пирогова, 10, тел.: 0432-550-833, e-mail: Oliynichenkobp@mail.ru*

*Проведены исследования лазерных изображений образцов плазмы крови трех групп пациентов: здоровых, с мастопатией и с раком молочной железы. На основе комплексного статистического, корреляционного и фрактального анализа полученных карт азимутов и эллиптичностей поляризации установлены тенденции изменения величин указанных параметров для пациентов разных групп. Полученные результаты могут быть положены в основу разработки новых критериев для диагностики патологий молочной железы.*

**Ключевые слова:** *молочная железа, диагностика, азимут поляризации, эллиптичность поляризации, статистические, корреляционные, фрактальные параметры двумерного распределения.*

### **ANALYSIS OF AZIMUTH AND ELLIPTICITY DISTRIBUTION OF POLARIZATION LASER IMAGES OF BLOOD PLASMA FOR DIAGNOSTICS PATHOLOGICAL CHANGES IN BREAST**

*Mintser O.P., \*Pavlov S.V., \*Zabolotna N.I., \*\*Oliynychenko B.P.*

*National Medical Academy of Post-Graduate Education named after P.L.Shupyk,  
Ukraine, Kiev, Dorogojitska Str., 9;*

*\*Vinnytsia National Technical University,*

*Ukraine, Vinnytsia, Khmelnytske shose Str. 95, tel.: 0432-598-337, e-mail: Natalia.Zabolotna@gmail.com;*

*\*\*SPC «Medivin»,*

*Ukraine, Vinnytsia, Pyrogov Str. 10, e-mail: Oliynichenkobp@mail.ru*

*We consider the laser images of samples of blood plasma of three groups of patients with diseases of the breast: healthy, with mastopathy, with cancer. On the basis of comprehensive statistics, correlation and fractal analysis of the maps azimuth and ellipticity of polarization is set trends in values of these parameters for different groups of patients. The results can be used as a basis to develop new criteria for diagnostics pathology of the breast.*

**Keywords:** *mammary gland, the diagnosis, the azimuth of polarization, the polarization ellipticity, statistics, correlation, fractal parameters of a two-dimensional distribution*