УДК 535.361; 535.555

О.Ю. НОВАКОВСЬКА, О.В. ДУБОЛАЗОВ, О.В. ОЛАР, Ю.О. УШЕНКО, Л.Й. ПІДКАМІНЬ, Ю.Я. ТОМКА

МЮЛЛЕР-МАТРИЧНА СИНГУЛЯРНО-ПАРАМЕТРИЧНА ДІАГНОСТИКА ПОЛІКРИСТАЛІТНИХ МЕРЕЖ БІОЛОГІЧНИХ ТКАНИН І РІДИН У ЗАВДАННЯХ ДІАГНОСТИКИ ПАТОЛОГІЧНИХ СТАНІВ

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича
Вул. Коцюбинського, 2, м. Чернівці, Україна

Анотація. У даній статті розглядається можливість встановлення об'єктивних критеріїв Мюллер-матричної диференціації полікристалітної структури протеїнових фібрилярних мереж гістологічних зрізів фізіологічно нормальної й онкологічно-зміненої тканини жіночої репродуктивної сфери.

Аннотация. В данной статье рассматривается возможность установления объективных критериев Мюллер-матричной дифференциации поликристалитнои структуры протеиновых фибриллярных сетей гистологических срезов физиологически нормальной и онкологических-измененной ткани женской репродуктивной сферы.

Abstract. This article discusses the possibility of establishing objective criteria for the Muller-matrix differentiation of the polycrystalline structure of protein fibrillar networks of histological sections of the physiologically normal and oncological-altered tissue of the female reproductive sphere.

Ключові слова: матриця Мюллера, сингулярність, біологічна тканина, діагностика, гістологічний зріз.
DOI: 10.31649/1681-7893-2019-37-1-24-28

ВСТУП

Наведено результати експериментальних досліджень структури сіток характеристичних значень Мюллер-матричних зображень [1-7] гістологічних зрізів біологічних тканин і плівок рідин людини з різним фізіологічним станом [8-10]. На основі запропонованої аналітичної моделі полікристалітної мережі біологічних шарів і даними проведеного комп'ютерного моделювання виявлені взаємозв'язки між величинами та діапазонами зміни статистичних, кореляційних і фрактальних параметрів, які характеризують розподіли характеристичних значень Мюллер-матричних зображень біологічних шарів, і змінами оптичної анізотропії кристалітів, пов'язаними зі різними типами патології людського організму. Установлені об'єктивні критерії Мюллер-матричної диференціації полікристалітної структури протеїнових фібрилярних мереж гістологічних зрізів фізіологічно нормальної й онкологічно-зміненої тканини жіночої репродуктивної сфери.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Розробка у межах сингулярно-параметричного підходу до методу Мюллер-матричної диференціації поляризаційних властивостей полікристалітної структури білків альбуміну та глобуліну мазків плазми крові людини з наступними нозологіями:

- здорова людина;
- людина із запальним процесом (запалення колінного суглоба);
- людина, хвора на рак (аденокарцинома стінки матки).

1. МЮЛЛЕР-МАТРИЧНА ТОПОГРАФІЧНА ДІАГНОСТИКА ПАТОЛОГІЧНИХ ЗМІН ДВОПРОМЕНЕЗАЛОМЛЮЮЧИХ ПРОТЕЇНОВИХ ФІБРИЛЯРНИХ МЕРЕЖ ГІСТОЛОГІЧНИХ ЗРІЗІВ ТКАНИН РЕПРОДУКТИВНОЇ СФЕРИ ЖІНКИ

Як об'єкт експериментального дослідження ми використали гістологічні зрізи м'язового шару тканини міометрія. Такі зрізи виготовлялися на заморожувальному мікротомі за стандартною

© О.Ю. НОВАКОВСЬКА, О.В. ДУБОЛАЗОВ, О.В. ОЛАР, Ю.О. УШЕНКО, Л.Й. ПІДКАМІНЬ, Ю.Я. ТОМКА, 2019

методикою. Оптична товщина (як і у випадку гістологічних зрізів дерми шкіри, складала $\tau = 0.09$, що відповідало умові одноразового розсіювання).

Розглядалися два типи зразків:

- гістологічні зрізи здорової тканини (тип А);
- гістологічні зрізи біопсії тканини у передраковому стані (фіброміома, тип Б).

В якості інформаційного масиву даних обрано фазове Мюллер-матричне зображення $m_{44}(x,y)$ гістологічних зрізів тканини А і Б типу.

Даний вибір координатного розподілу фазового елемента матриці Мюллера зумовлює одержання найбільш повної інформації про двопроменезаломлюючі властивості полікристалітної мережі міозинових фібрил м'язового шару міометрію.

На рис. 1 представлені Мюллер-матричні зображення елемента m_{44} гістологічних зрізів міометрія А і Б типів і сітки їхніх характеристичних значень.

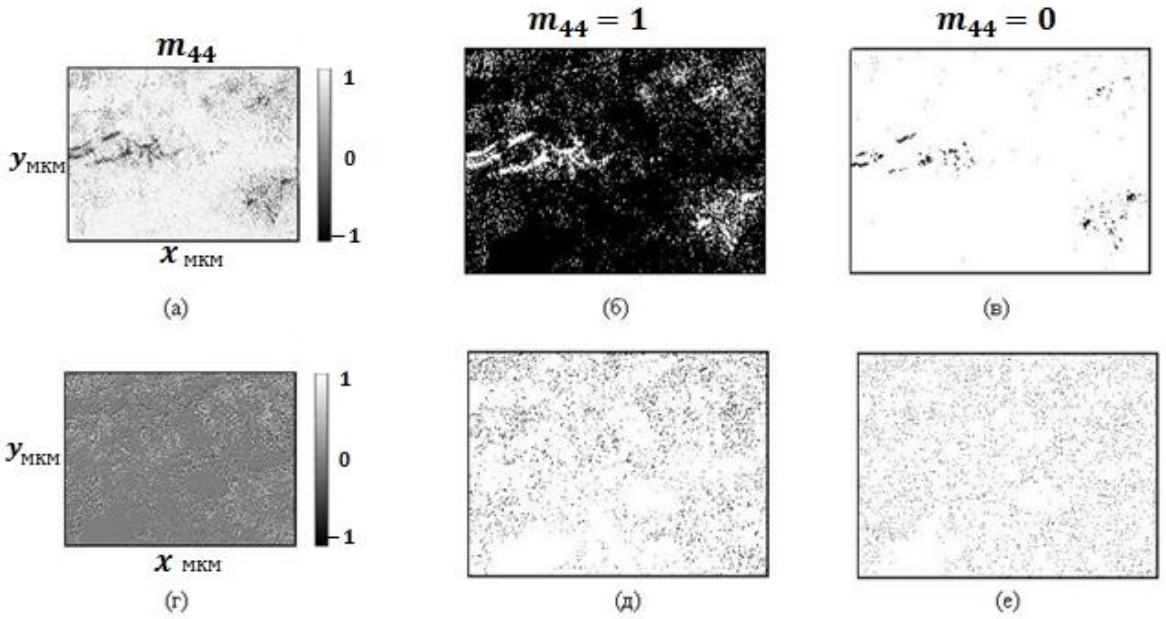

Рис. 1. Координатні розподіли величини елемента m_{44} у площині гістологічних зрізів біопсії тканини міометрія А (а) і Б (б) типів

Порівняльний аналіз одержаних даних про структуру.Мюллер-матричних зображень показує, що діапазон зміни величини значень фазового елементу матриці Мюллера практично однаковий для зразків обох типів. Такий факт указує на те, що двопроменезаломлення ансамблю міозионових фібрил у обох випадках достатньо близький. Виходячи з цього, актуальним постає завдання визначення додаткових критеріїв, за якими можна диференціювати поляризаційні властивості оптично-анізотропної компоненти здорової та патологічно зміненої тканини міометрія.

Зіставлення топографічної побудови координатних розподілів фазового матричного елементу, який характеризує фазовозсуваючу здатність гістологічних зрізів обох типів, показує, що у випадку формування паростків фіброміоми (міометрій – тип Б) зростає ймовірність формування характеристичних значень $m_{44} = 0$. Такі значення зумовлені ростом анізотропії міозинових волокон.

З оптичного погляду, зазначена побудова Мюллер-матричного зображення зумовлена зростанням концентрації амінокислот у двопроменезаломлюючих міозинових фібрилах, які утворюють паростки пухлини фіброміоми. Іншими словами, у даній ситуації актуальним стає використання додаткової інформації про топографічний розподіл характеристичних значень фазового матричного елемента $m_{44}(x,y) = 0$ у площині гістологічного зрізу.

Розглянемо даний підхід детальніше. Методика визначення розподілів кількості характеристичних значень мюллер-матричного зображення $m_{44}(x,y)$ досліджуваного гістологічного зрізу полягала у такій послідовності дій:

- дискретизація Мюллер-матричного зображення у площині біологічної тканин у напрямку x з кроком в 1 піксель;

- підрахунку кількості $N^{(0)}$ точок характеристичних значень $m_{44}(x,y) = 0$ у межах сукупності стовпчиків ($1_{pix} \times m_{pix}$) площини гістологічного зрізу;

- побудова залежності кількості характеристичних значень $N^{(0)}(x) = (N^{(1)},N^{(2)},\ldots,N^{(m)})$ координатного розподілу фазового елемента матриці Мюллера;

- підрахунку кількості $N^{(1)}$ точок характеристичних значень $m_{44}(x,y) = 1$ у межах сукупності стовпчиків $(1_{pix} \times m_{pix})$ площини гістологічного зрізу;

- побудова залежності кількості характеристичних значень $N^{(1)}(x) = (N^{(1)},N^{(2)},\ldots,N^{(m)})$ координатного розподілу фазового елемента матриці Мюллера;

На рис. 2 і рис. 3 наведені розподіли $N^{(0)}(x) = (N^{(1)},N^{(2)},\ldots,N^{(m)})$ і $N^{(1)}(x) = (N^{(1)},N^{(2)},\ldots,N^{(m)})$ фазових мюллер-матричних зображень $m_{44}(x,y)$ гістологічних зрізів біопсії міометрію А та Б типів.

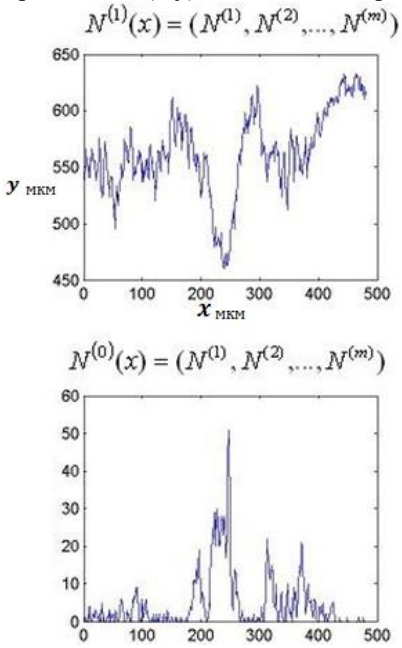

Рис. 2. Залежності $N^{(0)}(x) = (N^{(1)},N^{(2)},\ldots,N^{(m)})$ і $N^{(1)}(x) = (N^{(1)},N^{(2)},\ldots,N^{(m)})$ фазового мюллер-матричного зображення гістологічного зрізу тканини міометрія А типу

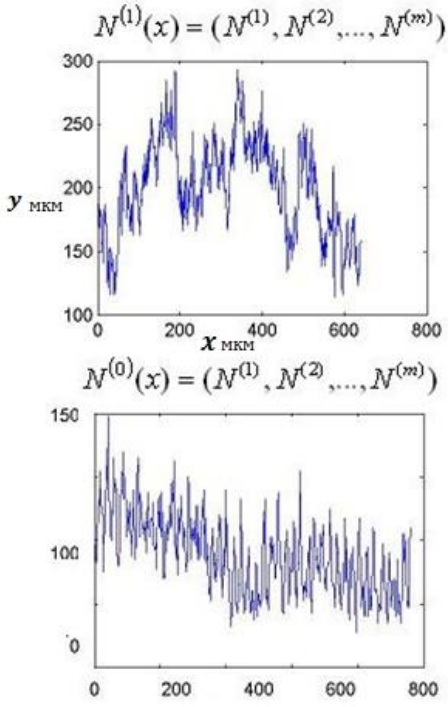

Рис. 3. Залежності $N^{(0)}(x) = (N^{(1)},N^{(2)},\ldots,N^{(m)})$ і $N^{(1)}(x) = (N^{(1)},N^{(2)},\ldots,N^{(m)})$ фазового мюллер-матричного зображення гістологічного зрізу тканини міометрія Б типу

Порівняльний аналіз даних виявив, що для Мюллер-матричного зображення фазового елементу гістологічного зрізу тканини міометрія з патологічними змінами має місце зростання кількості характеристичних значень розподілу $N^{(0)}(x) = (N^{(1)},N^{(2)},\ldots,N^{(m)})$ за рахунок збільшення двопроменезаломлення речовини новоутворених двопроменезаломлюючих паростків пухлини (рис. 3).

Статистично відмінності у розподілах характеристичних значень $N^{(0)}(x) = (N^{(1)},N^{(2)},\ldots,N^{(m)})$ і $N^{(1)}(x) = (N^{(1)},N^{(2)},\ldots,N^{(m)})$ Мюллер-матричних зображень гістологічних зрізів обох типів характеризують середні значення величини статистичних моментів 1-го – 4-го порядків і стандартні відхилення у межах груп , які наведені у таблиці 1.

Таблиця 1

Статистичні моменти 1-го – 4-го порядків, які характеризують розподіли значень $N^{(0)}(x) = (N^{(1)},N^{(2)},\ldots,N^{(m)})$ і $N^{(1)}(x) = (N^{(1)},N^{(2)},\ldots,N^{(m)})$ Мюллер-матричних зображень $m_{44}(x,y)$

$Z_{i=1,2,3,4}$	$N^{(1)}(x) = (N^{(1)}, N^{(2)}, \ldots, N^{(m)})$		$N^{(0)}(x) = (N^{(1)}, N^{(2)}, \ldots, N^{(m)})$	
	Норма (16 зразків)	**Пухлина** (14 зразків)	**Норма** (16 зразків)	**Пухлина** (14 зразків)
Z_1	$0{,}73 \pm 0{,}11$	$0{,}09 \pm 0{,}01$	$0{,}075 \pm 0{,}0088$	$0{,}31 \pm 0{,}047$
Z_2	$0{,}12 \pm 0{,}019$	$0{,}23 \pm 0{,}033$	$0{,}37 \pm 0{,}054$	$0{,}19 \pm 0{,}028$
Z_3	$0{,}16 \pm 0{,}017$	$0{,}29 \pm 0{,}044$	$0{,}098 \pm 0{,}011$	$0{,}58 \pm 0{,}077$
Z_4	$0{,}24 \pm 0{,}031$	$0{,}68 \pm 0{,}098$	$0{,}17 \pm 0{,}025$	$0{,}89 \pm 0{,}14$

ВИСНОВКИ

Аналіз даних, наведених у таблиці 1, приводять до таких висновків:

1. Статистичні моменти всіх порядків, які характеризують розподіли характеристичних значень $N^{(0)}(x) = (N^{(1)},N^{(2)},\ldots,N^{(m)})$ і $N^{(1)}(x) = (N^{(1)},N^{(2)},\ldots,N^{(m)})$ мюллер-матричних зображень $m_{44}(x,y)$ гістологічних зрізів здорової та патологічно зміненої тканини міометрію відмітні від нуля, що вказує на складну координатну топографічну структуру фазової анізотропії;
2. Найбільш чутливими до зміни оптичної анізотропії міозинових мереж м'язового шару тканини міометрія виявилися статистичний момент 1-го порядку, а також значення статистичних моментів вищих порядків (асиметрія й ексцес);
3. Відмінності між зазначеними статистичними параметрами, які характеризують топографічну структуру характеристичних значень фазових мюллер-матричних зображень тканин обох типів, складають 2 (Z_3) і 5 (Z_1, Z_4) разу відповідно.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Wang L.-H. Propagation of polarized light in birefringent turbid media: a Monte Carlo study / X. Wang, L. - H. Wang // J. Biomed. Opt. – 2002. – Vol. 7. – P. 279-290.
2. Тучин В. В. Лазеры и волоконная техника в биомедицинских исследованиях / Тучин В. В. – Саратов: Изд-тво Сарат. ун-та, 1998. – 384с.
3. Angelsky O. V. Polarization visualization and selection of biotissue image two-layer scattering medium / O. V. Angelsky, A. G. Ushenko, D. N. Burcovets, Yu. A. Ushenko // J. Biomed. Opt. – 2005. – Vol. 10, No.1. – P. 014010.
4. Nye J. F. Dislocations in wave trains. / J. F.Nye, M. Berry // Proc. R. Soc. Lond. – 1974. – Vol. A 336. – P. 165-190.
5. Berry M. V. Umbilic points on Gaussian random surfaces / M. V. Berry, J. H. Hannay // J. Phys. A: Math. Gen. – 1977. – Vol. 10. – P. 1809-1821.
6. Soskin M. Topological networks of paraxial ellipse speckle-fields / M. Soskin, V. Denisenko, R. Egorov // J. Opt. A: Pure Appl. Opt. – 2004. – Vol. 6. – P. S281-S287.

7. Gori F. Beam coherence-polarization matrix / F. Gori, M. Santarsiero, S. Vicalvi, R. Borghi, G. Guattari // Pure Appl. Opt. – 1998. – Vol. 7. – P. 941-951.
8. Tervo J. Degree of coherence for electromagnetic fields / J. Tervo, T. Setala, A. Friberg. // Opt. Express. – 2003. – Vol. 11. – P. 1137-1143.
9. Ellis J. Complex degree of mutual polarization / J. Ellis and A. Dogariu // Opt. Lett. – 2004. – Vol. 29. – P. 536-538.
10. Ushenko Yu. A. Complex degree of mutual anisotropy of extracellular matrix of biological tissues / Yu.A. Ushenko, Yu.Ya. Tomka and A.V. Dubolazov // Optics and Spectroscopy – 2011. – Vol. 110(5). – P 814-819

Надійшла до редакції: 28.01.2019

ОЛЬГА ЮРІЇВНА НОВАКОВСЬКА - к. ф.-м. н., асистент кафедри оптики і видавничо-поліграфічної справи, Чернівецький національний університет, Чернівці, Україна.

ОЛЕКСАНДР ВОЛОДИМИРОВИЧ ДУБОЛАЗОВ - к. ф.-м. н., доцент кафедри оптики і видавничо-поліграфічної справи, Чернівецький національний університет, Чернівці, Україна.

ОЛЕКСАНДР ВАЛЕРІУВИЧ ОЛАР - аспірант кафедри оптики і видавничо-поліграфічної справи, Чернівецький національний університет, Чернівці, Україна.

ЮРІЙ ОЛЕКСАНДРОВИЧ УШЕНКО - д. ф.-м. н., професор кафедри комп'ютерних наук, Чернівецький національний університет, Чернівці, Україна.

ЛЕОНІД ЙОСИПОВИЧ ПІДКАМІНЬ - к. ф.-м. н., доцент кафедри оптики і видавничо-поліграфічної справи, Чернівецький національний університет, Чернівці, Україна.

ЮРІЙ ЯРОСЛАВОВИЧ ТОМКА - к. ф.-м. н., доцент кафедри комп'ютерних наук, Чернівецький національний університет, Чернівці, Україна.