



УДК 618.145-007.415-076

DOI: [https://doi.org/10.24144/1998-6475.2024.4.\(66\).32-41](https://doi.org/10.24144/1998-6475.2024.4.(66).32-41)

ДІАГНОСТИКА ЕНДОМЕТРІОЗУ МЕТОДАМИ ДИFUЗНОЇ ІНТРОСКОПІЇ ГІСТОЛОГІЧНИХ ЗРІЗІВ БІОПСІЇ ЕНДОМЕТРІЮ

Бакун О. В.

*Буковинський державний медичний університет, кафедра акушерства та гінекології,
м. Чернівці*

Резюме. *Вступ.* Враховуючи високу точність отриманих результатів при поляриметрії у прозорих середовищах, розпочато пошук модифікацій методу з отриманням якісних результатів у тканинах і біологічних рідинах із різною густиною. У даній статті представлено результати досліджень діагностики ендометріозу гістологічних зрізів біопсії ендометрію методами дифузної Мюллер-матричної інтроскопії.

Мета дослідження. Оцінити ефективність диференційної діагностики ендометріозу з використанням дифузної Мюллер-матричної інтроскопії гістологічних зрізів біопсії ендометрію.

Матеріали та методи. Досліджувалися дві групи зразків:

- біопсія «здорової» тканини матки, одержаної при діагностичній гістероскопії – контрольна група 11–68 зразків;

- біопсія ендометріодної тканини із ендометріозом – дослідна група 2–59 зразків.

Результати досліджень. Виявлено високий рівень параметрів діагностичної сили детектування ендометріозу шляхом використання набору статистичних маркерів методу поляризаційно-фазової Мюллер-матричної інтроскопії тезіограм лінійного двопронезаломлення нативних гістологічних зрізів біопсії ендометрія:

- дуже хороша точність діагностики з використанням статистичних маркерів 1-го і 2-го порядків (SM_1 ; SM_2 – 92,1% - 93,7%);

- відмінна точність діагностики з використанням статистичних маркерів 3-го і 4-го порядків (SM_3 ; SM_4 – 97,1% - 98,4%).

Діагностичними маркерами даного патологічного процесу є зростання статистично достовірне ($p_{i=1,2,3,4} < 0,05$) величини середнього і дисперсії тезіограм координатних розподілів випадкових значень величини флуктацій циркулярного двопронезаломлення. Значення асиметрії та ексцесу, навпаки, зменшуються.

Висновки. Застосування методу поляризаційно-фазової Мюллер-матричної інтроскопії лінійного двопронезаломлення фібрилярних протеїнових сіток виявило відмінний рівень діагностики ендометріозу.

Ключові слова: ендометріоз, Мюллер-матрична інтроскопія, гістологічні зрізи ендометрію.

Diagnosis of endometriosis by methods of diffuse introscopy of histological sections of endometrium biopsy

Bakun O.V.

Abstract. *Introduction.* The method to obtain high-quality results in tissues and biological fluids with different densities has been initiated taking into account high accuracy of the results by polarimetry in transparent media.

The aim of the study. To evaluate the effectiveness of differential diagnosis of endometriosis using diffuse Muller-matrix endoscopy of histological sections of endometrial biopsy.

Material and methods. This article contains the following results of endometriosis diagnosis of endometriosis histological sections of endometrial biopsy using the methods of diffuse Muller-matrix endoscopy. Two groups of samples were studied:

- biopsy of «healthy» uterine tissue obtained during diagnostic hysteroscopy - control group 1 - 68 samples;
- biopsy of endometrioid tissue with endometriosis - research group 2 - 59 samples.

Research results. A high level of parameters of the diagnostic power of detecting endometriosis was revealed by using a set of statistical markers of the method of polarization-phase Müller-matrix introscopy of linear birefringence thesiograms of native histological sections of endometrial biopsy:



- very good diagnostic accuracy using statistical markers of the 1st and 2nd orders (-92,1% - 93,7%); $SM_1; SM_2$;

- excellent diagnostic accuracy using statistical markers of the 3rd and 4th orders (-97,1% - 98,4%); $SM_3; SM_4$

Diagnostic markers of this pathological process are a statistically significant increase ($p_{i=1,2,3,4} < 0,05$) in the value of the average and variance of theziograms of the coordinate distributions of the random values of the fluctuations of the circular birefringence. The values of asymmetry and kurtosis, on the contrary, decrease ($p_{i=1,2,3,4} < 0,05$).

Conclusions. The application of the method of polarization-phase Müller-matrix introscopy of linear birefringence of fibrillar protein nets revealed an excellent level of diagnosis of endometriosis.

Key words: endometriosis, Müller-matrix endoscopy, histological sections of the endometrium.

Вступ

Враховуючи високу точність отриманих результатів при поляриметрії у прозорих середовищах, розпочато пошук модифікацій методу з отриманням якісних результатів у тканинах і біологічних рідинах із різною густиною. Для підвищення контрасту і покращення можливості візуалізації тканин використано оптичну візуалізацію із застосуванням багаторазово розсіюючої (деполяризуючої) складової світлового променя, що дало позитивний результат і можливість оцінити різноманітні біологічні середовища [1–9]. При цьому результати залежать від стану поляризації падаючого пучка світла. Таким чином розроблено ряд модифікацій, зокрема лінійна або циркулярна поляризація, Стокс поляриметрія або Мюллер-матрична поляриметрія, геометрія виявлення (пропускання порівняно з відбиванням), спектроскопічні методи дослідження світла, такі як точкова спектроскопія і спектральна візуалізація (при цьому використовують різної довжини хвилі, дифузне відбивання, флуоресценцію, раманівське розсіювання) [10–13], інтерферометричні методи, поляризаційнокерована візуалізація, оптична поляризація, лазерна поляриметрія. Кожний метод має свої особливості. При застосування різних методик, враховується анізотропія біологічних об'єктів, оскільки майже всі біологічні тканини володіють оптичною анізотропією [14–17]. Двопроменезаломлення біологічних тканин обумовлено в основному лінійною анізотропією волокнистих структур, які утворюють позаклітинні середовища. Показник заломлення має більше значення вздовж волокон, ніж поперек. При цьому ми маємо паралельні циліндри, що утворюють одноосьове двопроменезаломлююче середовище з оптичною віссю, яка є паралельною до осі циліндрів (двопроменезаломлення форми), і є характерним для багатьох біотканин, таких як рогівка ока, хрящі, сухожилля, склера, тверда мозкова оболонка, м'язи, нерви, сітківка ока, кістка, зуби та інші біотканини

з одновісними і / або двовісними двопроменезаломлюючими структурами [5–8].

Мета дослідження

Оцінити ефективність диференційної діагностики ендометріозу з використанням дифузної Мюллер-матричної інтроскопії гістологічних зрізів біопсії ендометрію.

Матеріали та методи

Досліджувалися дві групи зразків: біопсія «здорової» тканини матки, одержаної при діагностичній гістероскопії – контрольна група 1–68 зразків; біопсія ендометріюїдної тканини із ендометріозом – дослідна група 2–59 зразків.

Для включення в основну групу керувалась такими критеріями:

- безпліддя тривалістю не менше 2 років;
- інформована згода;
- наявність верифікованого ендометріозу;
- прохідність маткових труб.

Для включення в контрольну групу керувалась такими критеріями:

- трубне безпліддя;
- відсутності ознак гострого гідросальпінксу;
- добровільна інформована згода на обстеження;

У дослідження не входили жінки з: загостренням супутніх захворювань, за наявності інфекційного процесу, прийому гормональних контрацептивів, опастистістю, позитивним тестом на Covid-19. Також, зважаючи на вироблення мезотеліну клітинами мезотелію перикарду та плеври, проведено усім пацієнткам дослідження ЕКГ серця та флюорографію органів грудної клітини.

Для дослідження було забрано тканину ендометрію, периферичну кров, перитонеальну рідину в жінок основної групи, для контрольної групи, бралися ендометріюїдні



гетеротопії при лапароскопії), а кров – перед проведенням операцій на 7–14 день менструального циклу. Гістологічні зрізи виготовлялися за стандартною методикою на мікротомі із швидким заморожуванням.

Дослідження виконували з дотриманням основних положень GCP (1996 рік), Конвенції Ради Європи про права людини та біомедицину (від 4 квітня 1997 р.), Гельсінської декларації Всесвітньої медичної асоціації про етичні принципи проведення наукових медичних досліджень за участі людини (1964 – 2008 рр.), наказу МОЗ України № 690 від 23.09.2009 р. (із змінами, внесеними згідно з Наказом Міністерства охорони здоров'я України № 523 від 12.07.2012 р.). Протокол дослідження схвалено Комісією з питань біомедичної етики Буковинського державного медичного університету (протокол № 3 від 17.10.2024 року).

Результати досліджень

Проведений цикл досліджень діагностичної ефективності нового у біомедичній практиці методу поляризаційно-фазової Мюллер-матричної інтроскопії полікристалічної складової біологічних препаратів виявив високий рівень точності ранньої діагностики ендометрію та контролю ефективності його лікування.

Разом із тим слабо вивченим на інформативність даної Мюллер-матричної методики впливу багатократного розсіювання лазерного випромінювання в об'ємі біологічних препаратів. Тому актуальним є розроблення і апробація нового методу дифузної Мюллер-матричної інтроскопії полікристалічної складової біологічних препаратів.

Даний підрозділ містить результати апробації методів дифузної Мюллер-матричної інтроскопії у визначенні ефективності детектування змін флуктуацій параметрів морфологічної полікристалічної структури тканини ендометрію хворих на ендометріоз.

Тезіограми координатних розподілів випадкових значень величини флуктуацій лінійного двопронезаломлення гістологічних зрізів біопсії ендометрію

На рисунку 1 представлено алгоритмічно відтворені тезіограми координатних розподілів випадкових значень та 3D розподіли величини флуктуацій лінійного двопронезаломлення зразків гістологічних зрізів біопсії ендометрію пацієнтів з контрольної групи 1.1 (фрагменти (1),(2)) і дослідної групи (фрагменти (3),(4)).

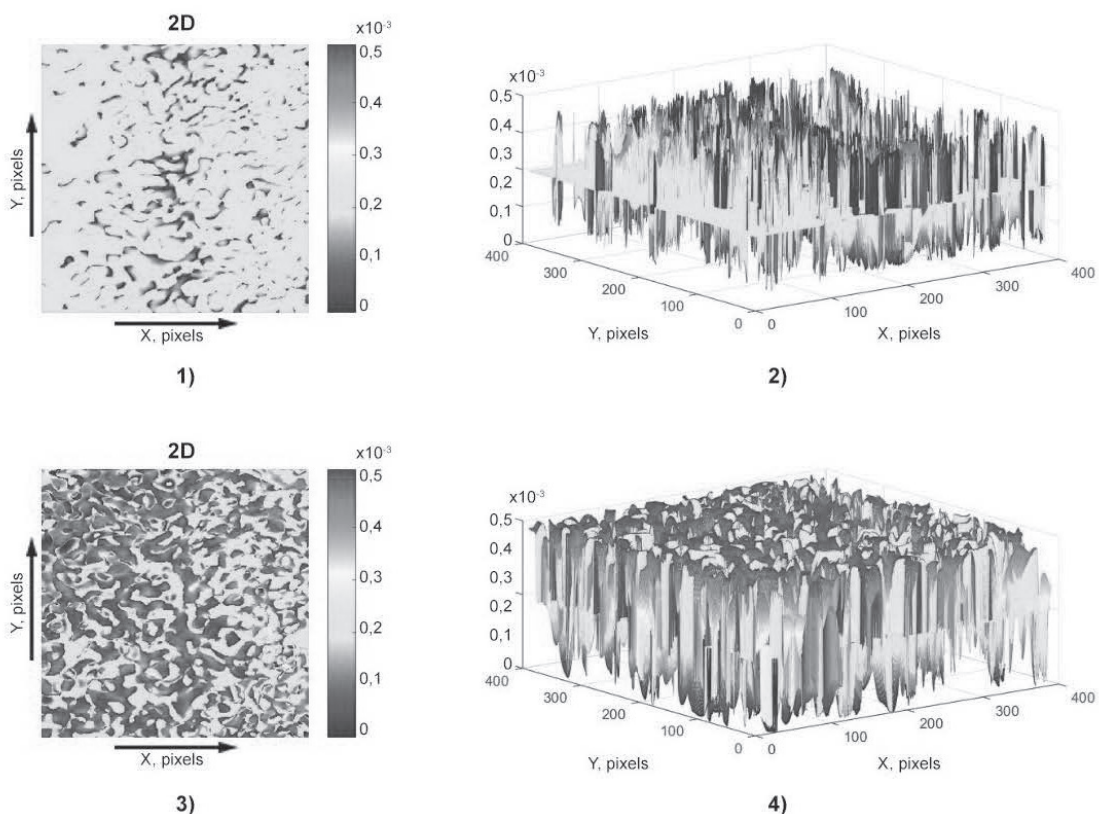


Рис. 1. Тезіограми координатних розподілів випадкових значень величини флуктуацій ((1), (3)) і 3D ((2), (4)) розподіли величини флуктуацій лінійного двопронезаломлення гістологічних зрізів біопсії ендометрію пацієнтів з групи 1 ((1), (2)) і групи 1.2 ((3), (4)).



Аналіз одержаних даних виявив:

- наявність флуктуацій величини лінійного двопронезаломлення протеїнових фібрилярних мереж гістологічних зрізів біопсії ендометрію пацієнтів зі всіх груп (рис. 1, фрагменти (1), (3));
- значне зростання величини флуктуацій лінійного двопронезаломлення фібрилярних сіток зразків гістологічних зрізів хворих пацієнтів із ендометріозом – 3D розподіли величини флуктуацій лінійного двопронезаломлення зразків гістологічних зрізів ендометрію з дослідної групи 2 володіють меншим середнім значенням і діапазоном зміни випадкових значень (рис. 1, фрагменти (2), (4)).

Результати порівняльного статистичного аналізу сукупності алгоритмічно відтворених ФФТЛД зразків усіх груп гістологічних зрізів наведені у таблиці 1.

Результати порівняльного статистичного аналізу сукупності алгоритмічно відтворених ФФТЛД зразків усіх груп гістологічних зрізів наведені у таблиці 1.

Таблиця 1

Центральні статистичні моменти 1–4-го порядків, які характеризують тезіограми координатних розподілів випадкових значень величини флуктуацій лінійного двопронезаломлення гістологічних зрізів біопсії ендометрію

Параметри	Група 1	Група 2
$SM_{1x} \cdot 10^{-3}$	0,29±016	0,41±023
p_1	p≤0,001	
$SM_{2x} \cdot 10^{-3}$	0,18±0,011	0,31±0,17
p_1	p≤0,001	
SM_3	1,09±0,058	0,62±036
p_1	p≤0,001	
SM_4	1,87±099	1,23±071
p_1	p≤0,001	

Аналіз одержаних даних статистичного аналізу сукупності алгоритмічно відтворених флуктуаційних тезіограм координатних розподілів випадкових значень величини флуктуацій виявив значне зростання лінійного двопронезаломлення полікристалічної структури гістологічних зрізів біопсії ендометрію хворих на ендометріоз. Кількісно даний процес (діагностичні маркери) характеризує зростання величини середнього і дисперсії тезіограм координатних розподілів випадкових значень величини флуктуацій лінійного двопронезаломлення. Зна-

чення асиметрії та ексцесу, навпаки, зменшуються.

Операційні характеристики діагностичної сили методу тезіограм координатних розподілів випадкових значень величини флуктуацій лінійного двопронезаломлення гістологічних зрізів біопсії ендометрію

У таблиці 2 представлені величини чутливості, специфічності та збалансованої точності методу дифузної Мюллер-матричної інтроскопії у детектуванні патологічних змін фібрилярних протеїнових мереж зразків гістологічних зрізів біопсії ендометрію.

Таблиця 2

Специфічність, чутливість, точність методу статистичного аналізу тезіограм координатних розподілів випадкових значень величини флуктуацій лінійного двопронезаломлення гістологічних зрізів ендометрію

Групи «1 – 2»			
Параметри	Чутливість, Se, % N=59	Специфічність, Sp, % H=68	Точність, Ac, % N+H=127
SM_1	A=57	B=66	A+B=123
	96,6	97	96,9



Продовження табл. 2

SM ₂	A=58	B=66	A+B=124
	98,3	97	97,6
SM ₃	A=58	B=67	A+B=125
	98,3	98,5	98,4
SM ₄	A=59	B=67	A+B=126
	100	98,5	99,2

Установлено такі показники діагностичних маркерів:

- відмінна точність діагностики з використанням статистичних маркерів 1-4-го порядків (SM₁; SM₂; SM₃; SM₄ – 96,9% – 99,2%).

Отже, застосування методу дифузної Мюллер-матричної інтроскопії флуктуацій величини лінійного двопронезаломлення фібрилярних протеїнових сіток деполаризуючих зразків виявило нові маркери, які забезпечують відмінний рівень діагностики ендометріозу.

Тезіограми координатних розподілів випадкових значень величини флуктуацій циркулярного двопронезаломлення гістологічних зрізів біопсії ендометрію

Експериментально одержані тезіограми координатних розподілів випадкових значень величини флуктуацій та 3D розподіли величини флуктуацій циркулярного двопронезаломлення хіральных протеїнових комплексів дифузних зразків гістологічних зрізів біопсії ендометрію пацієнтів з контрольної групи 1 (фрагменти (1), (2)) та дослідної групи (фрагменти (3), (4)) приведені на серії фрагментів (рис. 2).

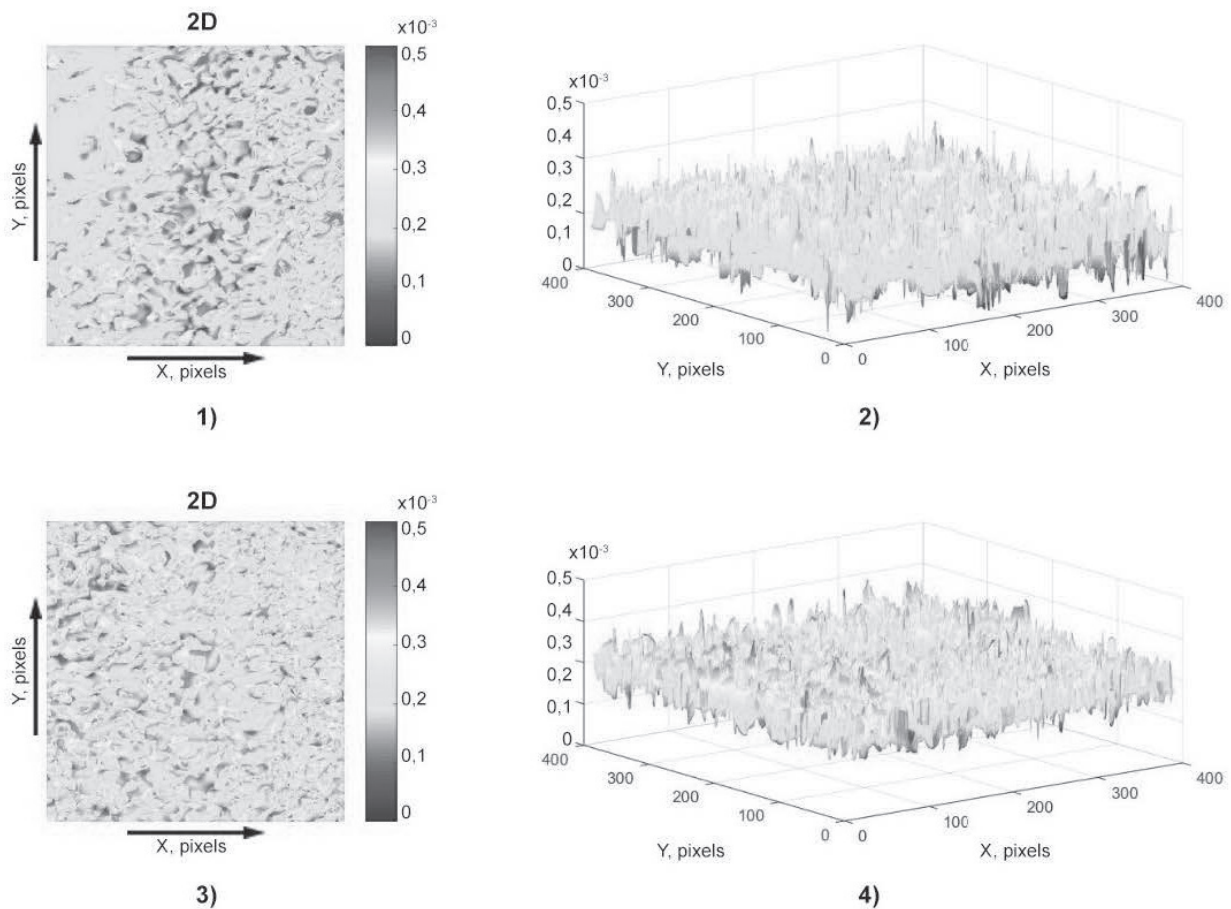


Рис. 2. Тезіограми координатних розподілів ((1), (3)) і 3D ((2), (4)) розподіли величини флуктуацій циркулярного двопронезаломлення хіральных протеїнових комплексів дифузних гістологічних зрізів біопсії ендометрію пацієнтів з групи 1 ((1), (2)) і групи 2 ((3), (4)).



З отриманих даних встановлено незначне зростання рівня флуктуацій величини циркулярного двопронезаломлення оптично активних молекулярних структур дифузних зразків гістологічних зрізів пацієнтів із ендометріозом.

Об'єктивно відмінності між тезіограмами координатних розподілів випадкових

значень величини флуктуацій та величини циркулярного двопронезаломлення у межах групи 1 і групи 2 ілюструють величини набору центральних статистичних моментів 1–4-го порядків, які наведені у таблиці 3.

Таблиця 3

Центральні статистичні моменти 1–4-го порядків, які характеризують координатні розподіли величини флуктуацій циркулярного двопронезаломлення хіральних протеїнових комплексів дифузних гістологічних зрізів біопсії ендометрію

Параметри	Група 1	Група 2
$SM_{1 \times} 10^{-3}$	0,18±0,011	0,34±0,018
p_1	p≤0,001	
$SM_{2 \times} 10^{-3}$	0,11±0,007	0,22±0,012
p_1	p≤0,001	
SM_3	1,55±0,079	1,16±0,063
p_1	p≤0,001	
SM_4	2,38±0,14	1,63±0,087
p_1	p≤0,001	

У результаті статистичного аналізу виявлено значне зростання флуктуацій величини циркулярного двопронезаломлення при наявності ендометріозу.

Діагностичними маркерами даного патологічного процесу є зростання статистично достовірне ($p_{i=1;2;3;4} < 0,05$) величини середнього і дисперсії тезіограм координатних розподілів випадкових значень величини флуктуацій циркулярного двопронезаломлення. Значення асиметрії та ексцесу, навпаки, зменшуються.

Операційні характеристики діагностичної сили методу тезіограм флуктуацій циркулярного двопронезаломлення гістологічних зрізів біопсії ендометрію

Діагностичні можливості використання статистичних маркерів, які характеризують

тезіограми флуктуацій циркулярного двопронезаломлення у детектуванні патологічних змін хіральних молекулярних комплексів зразків гістологічних зрізів біопсії ендометрію ілюструють обчислені величини операційних характеристик (табл. 4).

Для статистичних маркерів, які характеризують розподіли величини флуктуацій циркулярного двопронезаломлення встановлено:

- відмінний рівень діагностики з використанням статистичних маркерів 1-го і 2-го порядків ($SM_1; SM_2$ – 97,9 % – 98,7 %);
- дуже хороший рівень діагностики з використанням статистичних маркерів 3-го і 4-го порядків ($SM_3; SM_4$ – 93,4 % – 94,2 %).

Таблиця 4

Специфічність, чутливість, точність методу статистичного аналізу мап флуктуацій величини циркулярного двопронезаломлення

Групи «1 – 2»			
Параметри	Чутливість, Se, % N=59	Специфічність, Sp, % H=68	Точність, Ac, % N+H=127
SM_1	A=57	B=66	A+B=123
	99,1	98,3	98,7



Продовження табл. 4

SM ₂	A=57	B=66	A+B=123
	98,3	97,5	97,9
SM ₃	A=57	B=66	A+B=123
	95	93,4	94,2
SM ₄	A=57	B=66	A+B=123
	94,2	92,6	93,4

Тезіограми координатних розподілів величини флуктуацій лінійного дихроїзму гістологічних зрізів біопсії ендометрію

На серії фрагментів рис. 3 приведено аналітично відтворені мапи тезіограм координатних розподілів величини флуктуацій та 3D флуктуацій лінійного дихроїзму фібрилярних протеїнових сіток зразків гістологічних зрізів біопсії ендометрію пацієнтів з контрольної групи 1 (фрагменти (1), (2)) та дослідної групи (фрагменти (3), (4)).

Аналіз одержаних експериментальних результатів виявив:

- наявність флуктуацій параметрів оптично-анізотропного поглинання – коор-

динатну неоднорідність топографічної структури тезіограм координатних розподілів випадкових значень величини флуктуацій лінійного дихроїзму оптично анізотропних протеїнових фібрилярних мереж дифузних гістологічних зрізів біопсії ендометрію пацієнтів усіх груп (рис. 3, фрагменти (1), (3));

- зростання величини флуктуацій лінійного дихроїзму просторово структурованих фібрилярних сіток зразків гістологічних зрізів пацієнтів із ендометріозом, а також діапазону їх розкиду (рис. 3, фрагменти (2), (4)).

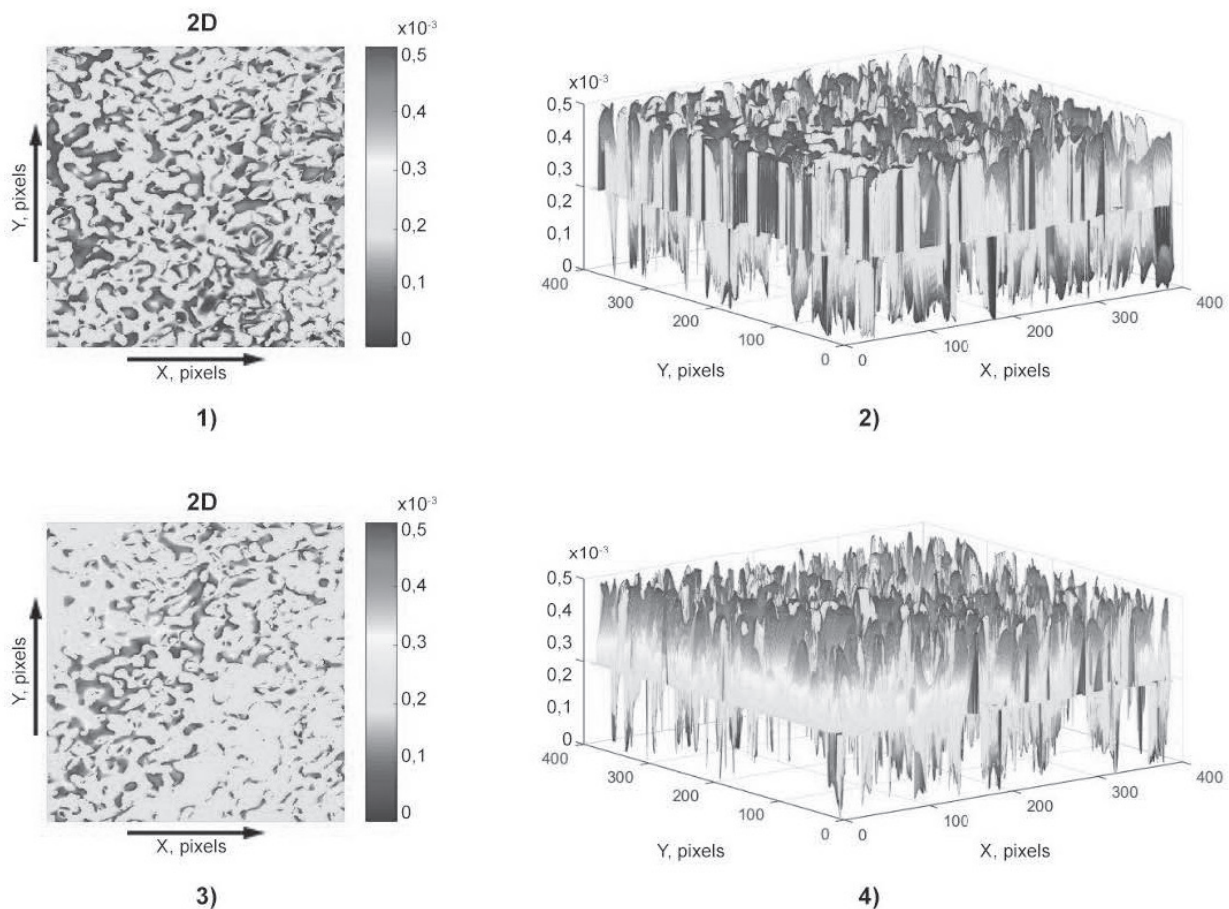


Рис. 3. Тезіограми координатних розподілів випадкових значень величини флуктуацій ((1), (3)) і 3D ((2), (4)) розподіли флуктуацій лінійного дихроїзму фібрилярних сіток гістологічних зрізів біопсії ендометрію пацієнтів із групи 1 ((1), (2)) і групи 2 ((3), (4)).



Статистичні відмінності між алгоритмічно відтвореними тезіограмами координатних розподілів величини флуктуацій лінійного

дихроїзму ілюструють обчислені у межах групи 1 і групи 2 значення ($SM_{i=1-4}$) та їх середні похибки ($\pm\Omega$) (табл. 5).

Таблиця 5

Центральні статистичні моменти 1–4-го порядків, які характеризують координатні розподіли величини флуктуацій лінійного дихроїзму дифузних гістологічних зрізів біопсії ендометрію

Параметри	Група 1	Група 2
$SM_{1x} \cdot 10^{-3}$	0,22±0,011	0,36±0,018
p_1	p≤0,001	
$SM_{2x} \cdot 10^{-3}$	0,14±0,008	0,23±0,012
p_1	p≤0,001	
SM_3	1,27±0,065	0,86±0,047
p_1	p≤0,001	
SM_4	2,08±0,11	1,43±0,078
p_1	p≤0,001	

У результаті статистичного аналізу експериментальних даних дифузної Мюллер-матричної інтроскопії полікристалічної структури гістологічних зрізів біопсії ендометрію виявлено, що діагностичними маркерами патологічного процесу формування ендометріозу, як і у випадку статистичного аналізу алгоритмічно відтворених тезіограм флуктуацій величини лінійного двопроектного незаломлення, є статистично достовірне ($p_{i=1;2;3;4} < 0,001$) зростання величини середнього і дисперсії. Значення статистичних моментів вищих порядків, які характеризують асиметрію та ексцес координатних розподілів таких флуктуаційних тезіограм, навпаки, зменшуються в рамках статистично достовірної різниці для випадків умовної норми

(контрольна група 1) і ендометріозу (дослідна група 2).

Операційні характеристики діагностичної сили методу статистичного аналізу тезіограм флуктуацій лінійного дихроїзму гістологічних зрізів біопсії ендометрію

Параметри операційних характеристик, які визначають клінічну ефективність диференційної діагностики ендометріозу шляхом використання набору експериментально визначених статистичних маркерів тезіограм координатних розподілів випадкових значень величини флуктуацій лінійного дихроїзму фібрилярних протеїнових мереж зразків гістологічних зрізів біопсії ендометрію, ілюструють чутливість, специфічність та збалансовану точність, величини яких наведені в таблиці 6.

Таблиця 6

Специфічність, чутливість, точність статистичного аналізу тезіограм флуктуацій лінійного дихроїзму

Групи «1-2»			
Параметри	Чутливість, Se, % N=59	Специфічність, Sp, % H=68	Точність, Ac, % N+H=127
SM_1	A=56	B=64	A+B=120
	94,9	94,1	94,5
SM_2	A=56	B=63	A+B=119
	94,9	92,6	91,3
SM_3	A=57	B=66	A+B=123
	96,6	97,1	96,9



Продовження табл. 6

SM ₄	A=58	B=66	A+B=124
	98,3	97,1	97,6

Установлено:

- дуже хороша точність диференціальної діагностики з використанням статистичних маркерів 1-го і 2-го порядків ($SM_1; SM_2$ – 91,3 % – 94,5 %);
- відмінна точність диференціальної діагностики з використанням статистичних маркерів 3-го і 4-го порядків ($SM_3; SM_4$ – 96,9 % – 97,6 %).

Висновки

Проведений комплекс досліджень із використанням поляризаційно-фазової Мюллер-матричної інтроскопії 2D і 3D розподілів лінійного і циркулярного двопротенезаломлення і дихроїзму оптично анізотропної складової гістологічних зрізів біопсії ендометрію виявив високу ефективність диференційної діагностики ендометріозу.

REFERENCES

1. Trifonyuk L, Sdobnov A, Baranowski W, Ushenko V, Olar O, Dubolazov A, et al. Differential Mueller matrix imaging of partially depolarizing optically anisotropic biological tissues. *Lasers Med Sci*. 2020;35(4):877-91. doi: 10.1007/s10103-019-02878-2
2. Ushenko VA, Sdobnov AY, Mishalov WD, Dubolazov AV, Olar OV, Bachinskyi VT, et al. Biomedical applications of Jones-matrix tomography to polycrystalline films of biological fluids. *Journal of Innovative Optical Health Sciences* [Internet]. 2019[cited 2024 Aug 03];12(6):1950017. Available from: <https://www.worldscientific.com/doi/epdf/10.1142/S1793545819500172> doi: 10.1142/S1793545819500172
3. Borovkova M, Trifonyuk L, Ushenko V, Dubolazov O, Vanchulyak O, Bodnar G, et al. Mueller-matrix-based polarization imaging and quantitative assessment of optically anisotropic polycrystalline networks. *PLoS One* [Internet]. 2019[cited 2024 Jul 03];14(5):e0214494. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6522018/pdf/pone.0214494.pdf> doi: 10.1371/journal.pone.0214494
4. Ushenko A, Sdobnov A, Dubolazov A, Grytsiuk M, Ushenko Y, Bykov A, et al. Stokes-Correlometry Analysis of Biological Tissues with Polycrystalline Structure. *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*. 2019;25(1):8438957. doi: 10.1109/JSTQE.2018.2865443
5. Le Gratiet A, Lanzano L, Bendandi A, Marongiu R, Bianchini P, Sheppard C, et al. Phasor approach of Mueller matrix optical scanning microscopy for biological tissue imaging. *Biophysical Journal*. 2021;120(15):3112-25. doi: 10.1016/j.bpj.2021.06.008
6. Sdobnov A, Ushenko VA, Trifonyuk L, Bakun O, Garazdyuk M, Soltys IV, et al. Mueller-matrix imaging polarimetry elevated by wavelet decomposition and polarization-singular processing for analysis of specific cancerous tissue pathology. *J Biomed Opt* [Internet]. 2023[cited 2024 Jun 21];28(10):102903. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10329407/pdf/JBO-028-102903.pdf> doi: 10.1117/1.jbo.28.10.102903
7. Sarkisova Yu, Bachinskyi VT, Garazdyuk M, Vanchulyak OY, Litvinenko OY, Ushenko OG, et al. Differential muller-matrix microscopy of protein fractions of vitreous preparations in diagnostics of the pressure of death. *IFMBE Proceedings*. 2020;77:503-6. doi: 10.1007/978-3-030-31866-6_90
8. Trifonyuk L, Soltys I V, Ushenko AG, Ushenko YuA, Dubolazov AV, Zheng J. Methods and Systems of Polarization Mueller-Matrix Microscopy of Biological Samples. In: Şeker UÖŞ, Kehribar ES. *Optical Anisotropy of Biological Polycrystalline Networks*. Springer Nature Singapore; 2023, p. 13-24. doi: 10.1007/978-981-99-1087-8_2
9. Savka I, Tomka Y, Soltys I, Dubolazov A, Olar O, Kovalchuk M, et al. Mueller-matrix differentiation of necrotic changes in polycrystalline structure of partially depolarizing layers of biological tissues. *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*. 2020;11718:117181E. doi: 10.1117/12.2571205
10. Dubolazov A, Ushenko V, Litvinenko O, Bachinskyi V, Petrushak A, Karachevtsev A, et al. Polarization-interference mapping of the distributions of the parameters of the Stokes vector of the object field of a biological optically anisotropic layer. *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*. 2020;11369:113691N. doi: 10.1117/12.2553953



11. Ushenko OG, Syvokorovskaya N, Bachinskiy V, Vanchulyak O, Dubolazov AV, Ushenko YO, et al. Laser autofluorescent microscopy of histological sections of parenchymatous biological tissues of the dead. *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*. 2020;11369:113691V. doi: 10.1117/12.2553973
12. Ushenko AG, Dubolazov AV, Ushenko YA, Tomka YY, Karachevtsev AO, Sidor MI, et al. Differential diagnosis of the limitation of the formation of hemorrhages of traumatic origin, cerebral infarction, ischemic and hemorrhagic genesis by polarization-phase tomography. *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*. 2020;11369:113691Q. doi: 10.1117/12.2553989
13. Sivokorovskaya N, Bachinsky V, Vanchulyak O, Ushenko A, Dubolazov A, Ushenko Yu, et al. Polarization-phase diagnostics of volume of blood loss. *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*. 2020;11510:115102T. doi: 10.1117/12.2568474
14. Ivashkevich Ya, Vanchulyak O, Bachinsky V, Ushenko O, Gorsky M, Ushenko V, et al. Multichannel polarization sensing of polycrystalline blood films in the diagnosis of the causes of poisoning. *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*. 2020;11510:115102R. doi: 10.1117/12.2568445
15. Ushenko AG, Dubolazov AV, Litvinenko OYu, Bachinskiy VT, Bin L, Bin G, et al. 3D polarization correlative of object fields of networks of biological crystals. *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*. 2020;11369:113691M. doi: 10.1117/12.2553942
16. Ivashkevich Ya, Wanchulyak O, Bachinskiy V, Tomka Yu, Soltys I, Dubolazov O, et al. Phase reconstruction of the polycrystalline structure of internal organs tissues in the differentiation of alcohol and carbon monoxide poisoning. *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*. 2020;11718:117181D. doi: 10.1117/12.2571204
17. Pei FL, Jia JJ, Lin SH, Chen XX, Wu LZ, Lin ZX, et al. Construction and evaluation of endometriosis diagnostic prediction model and immune infiltration based on efferocytosis-related genes. *Front Mol Biosci*. 2024;10:1298457. doi: 10.3389/fmolb.2023.1298457

Отримано 06.11.2024 р.