

УДК 535.361; 535.555

В.М. СКЛЯРЧУК, М.С. ГАРАЗДЮК, М.О. ОГІРКО, І.І. СЕМЕНЮК

## СИСТЕМА І АЛГОРИТМИ ДИФФЕРЕНЦІАЦІЇ МАП ДЕПОЛЯРИЗАЦІЇ БІОЛОГІЧНИХ ТКАНИН ЗАГИБЛИХ З РІЗНИМ СТУПЕНЕМ КРОВОВТРАТИ

<sup>1</sup>Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича,  
Коцюбинського, 2, м. Чернівці, Україна

<sup>2</sup>Буковинський державний медичний університет,  
Театральна площа, 3, м. Чернівці, Україна

**Анотація.** У роботі представлено результати дослідження координатних розподілів мап ступеня деполаризації (МСД) полікристалічних структур гістологічних зрізів біологічних тканин (прямий м'яз живота, шкіра, нирка, мозок) померлих з різним рівнем крововтрати. На основі розрахунку статистичних моментів 1-го – 4-го порядків проаналізовано величини та діапазони зміни показників МСД. Доведено високу ефективність та точність методу дифузної Мюллер-матричної поляриметрії у визначенні ступеня крововтрати, що відкриває нові можливості для об'єктивізації судово-медичної експертизи. Досліджено методом диференціального Мюллер-матричного картографування набір мап і гістограм розподілів випадкових значень ступеня деполаризації лазерного випромінювання форменими елементами крові полікристалічної складової гістологічних зрізів фібрилярних біологічних тканин померлих з різним ступенем крововтрати.

**Ключові слова:** Мюллер-матрична поляриметрія, ступінь деполаризації, біологічні тканини, статистичні моменти, діагностика крововтрати.

**Abstract.** The paper presents the research results on the coordinate distributions of maps of the degree of depolarization (MDD) of polycrystalline structures in histological sections of biological tissues (rectus abdominis muscle, skin, kidney, brain) from deceased individuals with different levels of blood loss. Based on the calculation of 1st–4th order statistical moments, the values and ranges of changes in MDD indicators were analyzed. The high efficiency and accuracy of the diffuse Mueller-matrix polarimetry method in determining the degree of blood loss were demonstrated, providing new opportunities for objective forensic medical examination. A set of maps and histograms of distributions of random values of the degree of depolarization of laser radiation by blood formed elements of the polycrystalline component of histological sections of fibrillar biological tissues of deceased persons with varying degrees of blood loss were studied using the method of differential Muller matrix mapping.

**Keywords:** Mueller-matrix polarimetry, degree of depolarization, biological tissues, statistical moments, blood loss diagnostics.

**DOI: 10.31649/1681-7893-2026-51-1-189-196**

### ВСТУП

Сучасна судова медицина потребує впровадження нових високоефективних та об'єктивних методів діагностики причин смерті, серед яких гостра крововтрата посідає одне з чільних місць. Традиційні морфологічні та гістологічні методи дослідження тканин померлих, попри їхню значущість, часто мають суб'єктивний характер і не завжди дозволяють точно диференціювати ступінь крововтрати, особливо у випадках швидкої смерті. У зв'язку з цим актуальним завданням є розробка та впровадження фізико-оптичних методів аналізу, які базуються на кількісному оцінюванні структурних змін біологічних тканин на мікроскопічному рівні [1-4].

Одним із найбільш перспективних напрямів у цій сфері є лазерна поляриметрія, зокрема метод дифузної Мюллер-матричної поляриметрії. Біологічні тканини, такі як м'язи, шкіра та внутрішні органи, мають складну полікристалічну архітектоніку. При крововтраті відбуваються системні патоморфологічні зміни, що впливають на оптичну активність та анізотропні властивості фібрилярних структур.

---

---

## БІОМЕДИЧНІ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННІ СИСТЕМИ ТА ПРИЛАДИ

---

---

Найбільш інформативним параметром у цьому контексті є ступінь деполаризації, який безпосередньо корелює зі станом архітекtonіки позаклітинного матриксу та щільністю розсіювальних центрів у гістологічних зрізах [5-8].

Дана робота присвячена вивченню координатних розподілів мап ступеня деполаризації (МСД) полікристалічних структур широкого спектра тканин: прямого м'яза живота, шкіри, нирки та мозку. Використання статистичного аналізу вищого порядку (статистичних моментів 1-го – 4-го порядків) дозволяє вийти за межі простого візуального огляду та отримати точні кількісні критерії оцінки ступеня крововтрати. Такий підхід забезпечує високу точність діагностики та створює надійне підґрунтя для об'єктивізації висновків судово-медичної експертизи, що є критично важливим для встановлення обставин і причин смерті.

### 1. ФУНКЦІОНАЛЬНА СХЕМА БАГАТОПАРАМЕТРИЧНОЇ ПОЛЯРИЗАЦІЙНОЇ МІКРОСКОПІЇ БІОЛОГІЧНИХ ПРЕПАРАТІВ

На рис. 1 представлена функціональна блок-схема поляризаційної мікроскопії [1-9] гістологічних зрізів біологічних тканин, яка працює у режимі Стокс-поляриметрії [10-12]

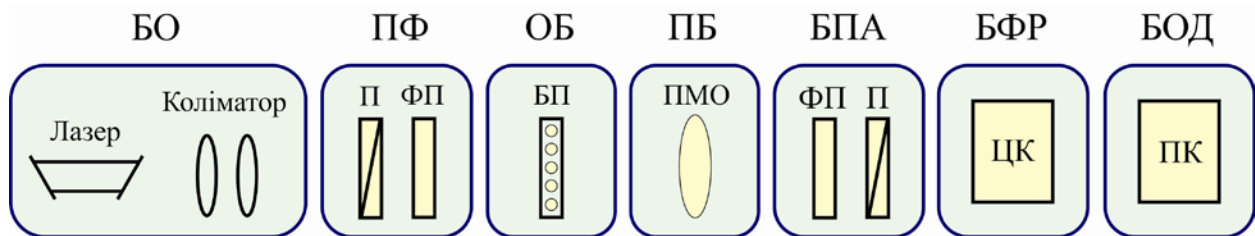


Рисунок 1 – Функціональна блок-схема поляризаційної мікроскопії

Тут:

1 – блок освітлення біологічних препаратів, який забезпечує формування паралельного з діаметром 2 мм поляризованого лазерного пучка з довжиною хвилі 0,63 мкм;

2 – поляризаційний фільтр, який за допомогою поляризатора і чвертьхвильової фазової пластинки забезпечує формування азимутально-інваріантної циркулярної поляризації;

3 – об'єктний блок – мікроскопічний столик з двохкоординатним переміщенням, на якому закріплюється біологічний препарат ;

4 – проекційний блок, який за допомогою поляризаційного мікрооб'єктива ПМО (4X) забезпечує формування мікроскопічного зображення біологічного препарату БП в площині цифрової камери ЦК;

5 – блок поляризаційного аналізу, що складається з ФП і П та забезпечує вимірювання інтенсивності лінійно поляризованих з азимутами  $\pm 45^0$  і право- та ліво- циркулярно поляризованих лазерних пучків;

6 – блок фотоелектронної реєстрації БФР мікроскопічних зображень біологічних препаратів БП, який включає ЦК та забезпечує формування координатного цифрового розподілу величини інтенсивності в інтерфейсі комп'ютера;

7 – блок обробки даних БОД, який за допомогою персонального комп'ютера ПК забезпечує розрахунок величини параметрів вектора Стокса біологічних препаратів та статистичний аналіз розподілів їх величини за відомими методиками, які детально представлені в [9-11].

### 2. ДИФУЗНА ПОЛЯРИМЕТРІЯ ГІСТОЛОГІЧНИХ ЗРІЗІВ СТРУКТУРОВАНИХ БІОЛОГІЧНИХ ТКАНИН ПОМЕРЛИХ З РІЗНИМ СТУПЕНЕМ КРОВОВТРАТИ

В залежності від рівня крововтрати ( $V$ ) розглядалися наступні групи зразків гістологічних зрізів ПМЖ, шкіри та мозку:  $V = 0\text{мл}^3$  - група 1 (20 зразків);  $V = 500\text{мл}^3 \pm 100\text{мл}^3$  - група 2 (20 зразків);  $V = 1000\text{мл}^3 \pm 100\text{мл}^3$  - група 3 (20 зразків);  $V = 1500\text{мл}^3 \pm 100\text{мл}^3$  - група 4 (20 зразків);  $V = 2000\text{мл}^3 \pm 100\text{мл}^3$  - група 5 (20 зразків);  $V = 2500\text{мл}^3 \pm 100\text{мл}^3$  - група 6 (20 зразків).

#### 2.1. Прямий м'яз живота (ПМЖ).

На рис. 2 приведені результати дифузної поляриметрії [10-12] - мапи (фрагменти (1),(3)) і гістограми (фрагменти (2),(4)) розподілів величини ступеня деполаризації полікристалічних фібрилярних мереж гістологічних зрізів ПМЖ померлих з групи 1 (фрагменти (1),(2)) і групи 3 (фрагменти (3),(4)).

## БІОМЕДИЧНІ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННІ СИСТЕМИ ТА ПРИЛАДИ

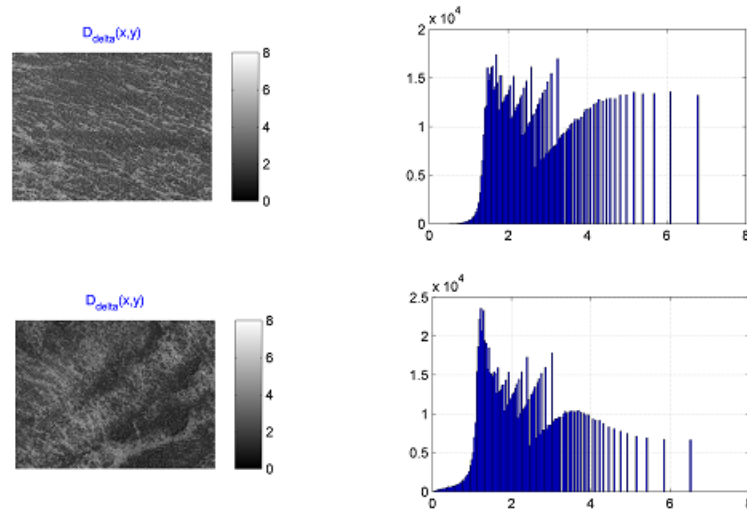


Рисунок 2 – Мапи ((1),(3)) і гістограми ((2),(4)) розподілів величини СД гістологічних зрізів ПМЖ контрольної ((1),(2)) та дослідної ((3),(4)) груп померлих

Одержані результати диференціального Мюллер-матричного картографування ілюструють наявність відмінностей між координатними розподілами ступеня деполаризації лазерного випромінювання фібрилярними мережами гістологічних зрізів ПМЖ померлих з різним ступенем крововтрати. Установлено, що гістограми розподілів величини СД (рис. 2, фрагмент (4)) гістологічних зрізів тканини ПМЖ з рівнем крововтрати ( $V = 1000 \text{ мм}^3 \pm 100 \text{ мм}^3$ ) характеризуються меншим середнім значенням і діапазоном розкиду випадкових значень у порівнянні з аналогічними розподілами МСД, які визначені для зразків аналогічної тканини померлого без крововтрати (рис. 2, фрагмент (2)).

Таблиця 1 – Статистична структура мап деполаризації гістологічних зрізів ПМЖ померлих з різним ступенем крововтрати

Крововтрата, мм <sup>3</sup>	0	500мм <sup>3</sup> ± 100мм <sup>3</sup>	1000мм <sup>3</sup> ± 100мм <sup>3</sup>
Середнє, $SM_1$	2.95 ± 0.13	2.44 ± 0.11	1.92 ± 0.09
Критерії, $t, p$	$p < 0.05$	$p < 0.05$	$p < 0.05$
Дисперсія, $SM_2$	1.31 ± 0.06	1.16 ± 0.05	1.02 ± 0.045
Критерії, $t, p$	$p < 0.05$	$p < 0.05$	$p < 0.05$
Асиметрія, $SM_3$	1.53 ± 0.07	1.66 ± 0.08	1.81 ± 0.08
Критерії, $t, p$	$p < 0.05$	$p < 0.05$	$p < 0.05$
Експес, $SM_4$	4.22 ± 0.19	4.63 ± 0.21	5.08 ± 0.23
Критерії, $t, p$	$p < 0.05$	$p < 0.05$	$p < 0.05$
Крововтрата, мм <sup>3</sup>	1500мм <sup>3</sup> ± 100мм <sup>3</sup>	2000мм <sup>3</sup> ± 100мм <sup>3</sup>	2500мм <sup>3</sup> ± 100мм <sup>3</sup>
Середнє, $SM_1$	1.44 ± 0.06	0.93 ± 0.041	0.88 ± 0.052
Критерії, $t, p$	$p < 0.05$	$p < 0.05$	$p > 0.05$
Дисперсія, $SM_2$	0.76 ± 0.039	0.62 ± 0.034	0.67 ± 0.032
Критерії, $t, p$	$p < 0.05$	$p < 0.05$	$p > 0.05$
Асиметрія, $SM_3$	1.95 ± 0.092	2.11 ± 0.104	2.14 ± 0.106
Критерії, $t, p$	$p < 0.05$	$p < 0.05$	$p > 0.05$
Експес, $SM_4$	5.43 ± 0.25	5.93 ± 0.27	6.08 ± 0.31
Критерії, $t, p$	$p < 0.05$	$p < 0.05$	$p > 0.05$

Виявлений факт різної деполаризуючої здатності зразків ПМЖ можна пояснити із залученням даних диференціального Мюллер-матричного картографування гістологічних зрізів біологічних тканин

## БІОМЕДИЧНІ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННІ СИСТЕМИ ТА ПРИЛАДИ

різних органів людини [10-12]. Тут показано, що головним чинником формування координатної структури МСД є багатократне розсіяння (деполяризація) лазерного випромінювання ансамблями формених елементів крові. Величина деполяризації прямо пропорційна концентрації таких оптично анізотропних структур гістологічного зрізу ПМЖ (рис. 2, фрагменти (1),(3)). Тому із збільшенням ступеня крововтрати (зменшенням концентрації формених елементів крові) знижується рівень деполяризації на тлі добре вивченого у межах традиційної поляриметрії перетворення азимута та еліптичності поляризації лазерного випромінювання оптично анізотропними структурами біологічної тканини [1-9]. У межах статистичного підходу до поляризаційного аналізу зростання крововтрати супроводжується протилежними тенденціями – зменшенням середнього і дисперсії, які характеризують розподіли МСД (рис. 2, фрагменти (2),(4)). Навпаки, асиметрія та ексцес розподілів випадкових значень ступеня деполяризації зразками ПМЖ померлих зростають.

Кількісно даний сценарій зміни деполяризуючої здатності оптично анізотропних фібрилярних мереж сукупності зразків гістологічних зрізів тканини ПМЖ померлих з різним ступенем крововтрати ілюструють статистичні моменти 1-го – 4-го порядків, величини яких систематизовані в таблиці 1.

Установлено:

- діапазон зміни величини статистичних моментів 1-го – 4-го порядків, які характеризують розподіли МСД гістологічних зрізів ПМЖ, за рівнем крововтрати складає  $0\text{млл}^3 \div 2000\text{млл}^3$ ;
- $SM_1$  змінюється у межах діапазону зміни середніх значень від 2,95 до 0,93;
- $SM_2$  змінюється у межах діапазону зміни середніх значень від 1,31 до 0,62;
- $SM_3$  змінюється у межах діапазону зміни середніх значень від 1,53 до 2,11;
- $SM_4$  змінюється у межах діапазону зміни середніх значень від 4,22 до 5,93.

Рис. 3 кількісно ілюструє діаграми динаміки зміни набору статистичних моментів  $SM_{1;2;3;4}$ , які характеризують розподіли величини СД зразків гістологічних зрізів ПМЖ усіх груп померлих.

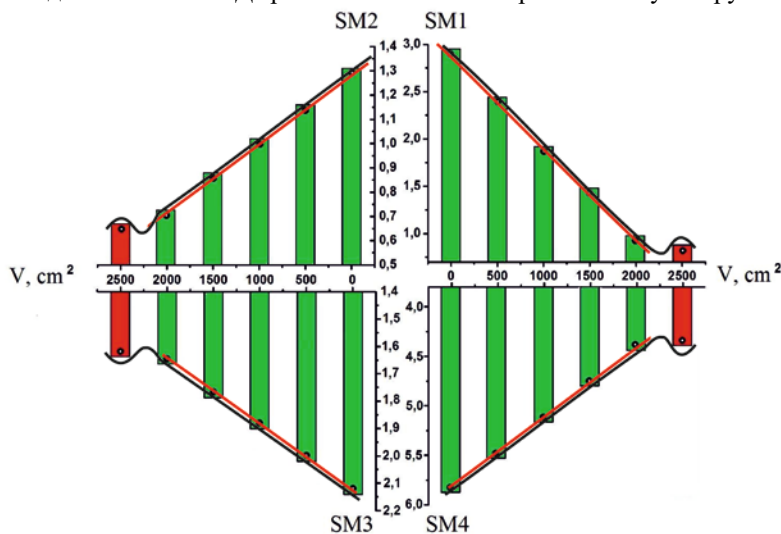


Рисунок 3 – Залежності величини середнього (1), дисперсії (2), асиметрії (3) та ексцесу (4), які характеризують мапи деполяризації гістологічних зрізів ПМЖ померлих з різним ступенем крововтрати

З одержаних даних про динаміку зміни статистичних параметрів розподілів МСД (рис. 3) видно, що величини середнього (1), дисперсії (2), асиметрії (3) та ексцесу (4), які характеризують ступень деполяризації лазерного випромінювання гістологічними зрізами ПМЖ померлих, змінюються у межах об'єму крововтрати  $0\text{млл}^3 \div 2000\text{млл}^3$ . Найбільш чутливим до змін деполяризуючої здатності полікристалічних сіток з різним ступенем кровонасичення ПМЖ померлих виявилися – статистичні моменти 1-го і 2-го порядків.

### 2.2. Шкіра.

Результати дифузної поляриметрії гістологічних зрізів шкіри представлені на фрагментах рис. 4 - мапи (фрагменти (1),(3)) і гістограми (фрагменти (2),(4)) розподілів величини СД оптично анізотропних колагенових сіток зразків шкіри померлих з групи 1 (фрагменти (1),(2)) і групи 3 (фрагменти (3),(4)).

## БІОМЕДИЧНІ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННІ СИСТЕМИ ТА ПРИЛАДИ

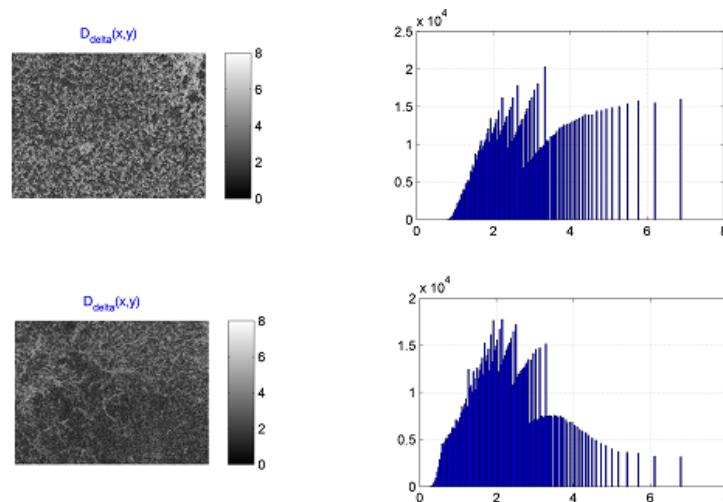


Рисунок 4 – Мапи ((1),(3)) і гістограми ((2),(4)) розподілів величини СД гістологічних зрізів шкіри контрольної ((1),(2)) та дослідної ((3),(4)) груп померлих.

Експериментальні дані диференціального Мюллер-матричного картографування деполаризуючої здатності оптично анізотропних мереж гістологічних зрізів шкіри померлих виявили зменшення середнього значення і діапазону розкиду випадкових значень величини МСД (рис. 4, фрагмент (4)) гістологічних зрізів шкіри на дещо меншому ніж для зразків ПМЖ інтервалі об'єму крововтрати до  $V = 1500 \text{ мл}^3 \pm 100 \text{ мл}^3$ .

Кількісно специфіку таких змін процесів деполаризації лазерного випромінювання гістологічними зрізами шкіри померлих з різним ступенем крововтрати ілюструють статистичні параметри 1-го – 4-го порядків - таблиця 2.

Таблиця 2 – Статистична структура мап деполаризації гістологічних зрізів шкіри померлих з різним ступенем крововтрати

Крововтрата, $\text{мм}^3$	<b>0</b>	<b><math>500 \text{ мл}^3 \pm 100 \text{ мл}^3</math></b>	<b><math>1000 \text{ мл}^3 \pm 100 \text{ мл}^3</math></b>
Середнє, $SM_1$	$3.12 \pm 0.14$	$2.77 \pm 0.12$	$2.38 \pm 0.11$
Критерії, $t, p$	$p < 0.05$	$p < 0.05$	$p < 0.05$
Дисперсія, $SM_2$	$1.32 \pm 0.059$	$1.16 \pm 0.051$	$1.07 \pm 0.044$
Критерії, $t, p$	$p < 0.05$	$p < 0.05$	$p < 0.05$
Асиметрія, $SM_3$	$1.11 \pm 0.046$	$1.29 \pm 0.057$	$1.51 \pm 0.071$
Критерії, $t, p$	$p < 0.05$	$p < 0.05$	$p < 0.05$
Експес, $SM_4$	$3.73 \pm 0.16$	$3.99 \pm 0.17$	$4.24 \pm 0.19$
Критерії, $t, p$	$p < 0.05$	$p < 0.05$	$p < 0.05$
Крововтрата, $\text{мм}^3$	<b><math>1500 \text{ мл}^3 \pm 100 \text{ мл}^3</math></b>	<b><math>2000 \text{ мл}^3 \pm 100 \text{ мл}^3</math></b>	<b><math>2500 \text{ мл}^3 \pm 100 \text{ мл}^3</math></b>
Середнє, $SM_1$	$1.95 \pm 0.093$	$1.84 \pm 0.088$	$1.91 \pm 0.092$
Критерії, $t, p$	$p < 0.05$	$p < 0.05$	$p > 0.05$
Дисперсія, $SM_2$	$0.82 \pm 0.037$	$0.67 \pm 0.032$	$0.64 \pm 0.031$
Критерії, $t, p$	$p < 0.05$	$p < 0.05$	$p > 0.05$
Асиметрія, $SM_3$	$1.69 \pm 0.077$	$1.73 \pm 0.081$	$1.77 \pm 0.082$
Критерії, $t, p$	$p < 0.05$	$p < 0.05$	$p > 0.05$
Експес, $SM_4$	$4.49 \pm 0.21$	$4.53 \pm 0.22$	$4.61 \pm 0.22$
Критерії, $t, p$	$p < 0.05$	$p < 0.05$	$p > 0.05$

Установлено:

- діапазон зміни величини статистичних моментів 1-го – 4-го порядків, які характеризують розподіли МСД анізотропних колагенових сіток гістологічних зрізів шкіри, за рівнем крововтрати менший ніж для ПМЖ (таблиця 1) і складає  $0 \text{ мл}^3 \div 1500 \text{ мл}^3$ ;

## БІОМЕДИЧНІ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННІ СИСТЕМИ ТА ПРИЛАДИ

- середнє  $SM_1$  МСД змінюється у межах діапазону зміни середніх значень від 3,12 до 0,84;
- дисперсія  $SM_2$  МСД змінюється у межах діапазону зміни середніх значень від 1,32 до 0,67;
- асиметрія  $SM_3$  МСД змінюється у межах діапазону зміни середніх значень від 1,11 до 1,73;
- ексцес  $SM_4$  МСД змінюється у межах діапазону зміни середніх значень від 3,73 до 4,53.

Динаміка зміни статистичної структури МСД зразків шкіри померлих представлена на рис. 5, який ілюструє діаграми зміни набору відповідних статистичних моментів  $SM_{1,2,3,4}$

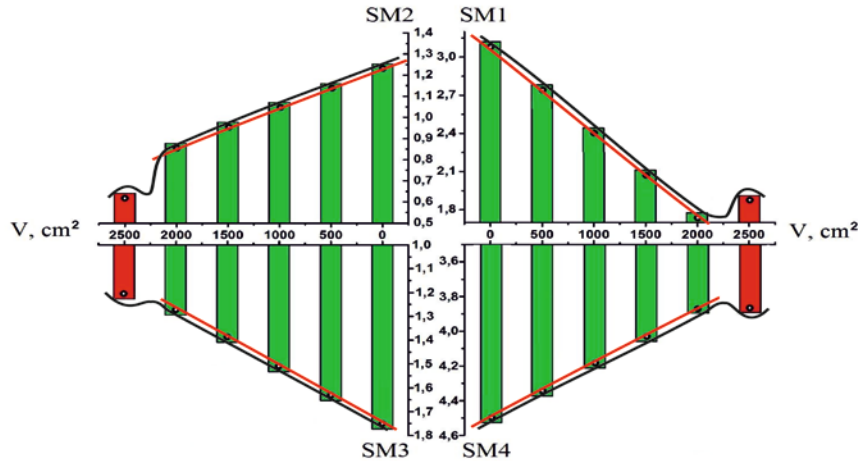


Рисунок 5 – Залежності величини середнього (1), дисперсії (2), асиметрії (3) та ексцесу (4), які характеризують мапи деполаризації гістологічних зрізів шкіри померлих з різним ступенем крововтрати

Моніторинг змін деполаризуючої здатності колагенових сіток шкіри методом дифузної поляриметрії (рис. 5) продемонстрував, що величини середнього (1), дисперсії (2), асиметрії (3) та ексцесу (4), які характеризують гістограми розподілів випадкових значень МСД набору гістологічних зрізів шкіри померлих, змінюються у межах об'єму крововтрати  $0 \text{ мм}^3 \div 1500 \text{ мм}^3$ . При цьому найбільш чутливими до таких посмертних змін виявилися - статистичні моменти 1-го і 2-го порядків.

### 3. ЕФЕКТИВНІСТЬ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНОЇ ДІАГНОСТИКИ СТУПЕНЯ КРОВОВТРАТИ МЕТОДОМ ДИФУЗНОЇ ПОЛЯРИМЕТРІЇ

Для кожного статистичного моменту, який характеризує розподіли мап деполаризації біологічних препаратів з різних груп померлих, знаходилась точність визначення ступеня крововтрати на основі експериментально одержаних номограм (рис. 6).

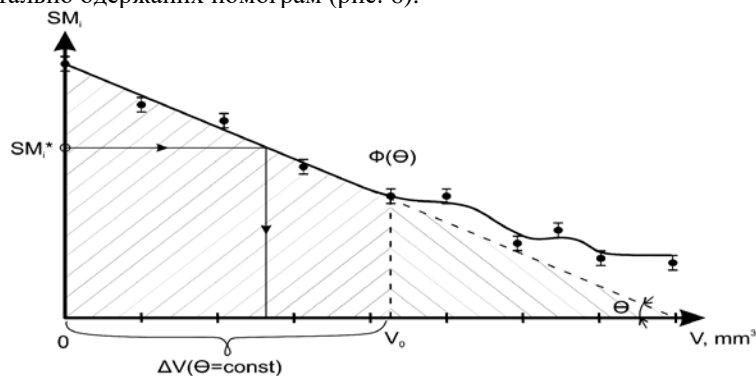


Рисунок 6 – Аналітична схема визначення об'єму крововтрати померлих методу поляризаційної мікроскопії

Аналіз одержаних даних виявив наступні параметри діагностичної ефективності статистичного аналізу результатів методу дифузної поляризаційної мікроскопії гістологічних зрізів фібрилярних біологічних тканин:

1. Для всіх досліджених біологічних препаратів діапазон чутливості методу дифузної поляриметрії до зміни об'єму крововтрати померлих складає  $0 \text{ мм}^3 \div 2000 \text{ мм}^3$ . Виключення має місце для гістологічних зрізів шкіри -  $0 \text{ мм}^3 \div 1500 \text{ мм}^3$ .

## БІОМЕДИЧНІ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННІ СИСТЕМИ ТА ПРИЛАДИ

Таблиця 4 –Точність визначення об'єму крововтрати ПМЖ

Крововтрата, мм <sup>3</sup>	500.мм <sup>3</sup> ± ±100.мм <sup>3</sup>	1000.мм <sup>3</sup> ± ±100.мм <sup>3</sup>	1500.мм <sup>3</sup> ± ±100.мм <sup>3</sup>	2000.мм <sup>3</sup> ± ±100.мм <sup>3</sup>	2500.мм <sup>3</sup> ± ±100.мм <sup>3</sup>
Середнє, $SM_1$	94	92	92	90	76
Дисперсія, $SM_2$	92	90	88	88	78
Асиметрія, $SM_3$	84	84	82	80	72
Екссес, $SM_4$	82	82	80	76	70

Таблиця 5 –Точність визначення об'єму крововтрати шкіри

Крововтрата, мм <sup>3</sup>	500.мм <sup>3</sup> ± ±100.мм <sup>3</sup>	1000.мм <sup>3</sup> ± ±100.мм <sup>3</sup>	1500.мм <sup>3</sup> ± ±100.мм <sup>3</sup>	2000.мм <sup>3</sup> ± ±100.мм <sup>3</sup>	2500.мм <sup>3</sup> ± ±100.мм <sup>3</sup>
Середнє, $SM_1$	90	88	86	84	68
Дисперсія, $SM_2$	86	84	84	82	68
Асиметрія, $SM_3$	84	84	82	80	66
Екссес, $SM_4$	82	82	80	76	64

Таблиця 6 –Точність визначення об'єму крововтрати мозку

Крововтрата, мм <sup>3</sup>	500.мм <sup>3</sup> ± ±100.мм <sup>3</sup>	1000.мм <sup>3</sup> ± ±100.мм <sup>3</sup>	1500.мм <sup>3</sup> ± ±100.мм <sup>3</sup>	2000.мм <sup>3</sup> ± ±100.мм <sup>3</sup>	2500.мм <sup>3</sup> ± ±100.мм <sup>3</sup>
Середнє, $SM_1$	88	86	86	84	72
Дисперсія, $SM_2$	72	70	68	68	56
Асиметрія, $SM_3$	78	74	74	72	62
Екссес, $SM_4$	80	78	76	72	64

2. Величина точності методу диференціального Мюллер-матричного картографування деполяризуючої здатності полікристалічної структури біологічних зразків коливається в межах:

- $\Delta V = 0\text{мм}^3 \div 2000\text{мм}^3 \Leftrightarrow 86\% - 92\%$ ;
- $\Delta V = 2500\text{мм}^3 \Leftrightarrow 56\% - 68\%$ .

3. Максимальний рівень досягається для нижченаведених статистичних параметрів, які характеризують мапи ступеня деполяризації наступних біологічних препаратів:

- ПМЖ -  $\begin{cases} SM_1 \Leftrightarrow 90\% - 94\%; \\ SM_2 \Leftrightarrow 88\% - 92\%; \end{cases}$
- шкіра -  $\begin{cases} SM_1 \Leftrightarrow 84\% - 90\%; \\ SM_2 \Leftrightarrow 82\% - 86\%; \end{cases}$
- мозок -  $SM_1 \Leftrightarrow 84\% - 88\%$ .

### ВИСНОВКИ

1. Досліджено методом диференціального Мюллер-матричного картографування набір мап і гістограм розподілів випадкових значень ступеня деполяризації лазерного випромінювання форменими елементами крові полікристалічної складової гістологічних зрізів фібрилярних біологічних тканин померлих з різним ступенем крововтрати.

2. Досліджено динаміку зміни величини статистичних моментів 1-го – 4-го порядків, які характеризують розподіли МСД гістологічних зрізів фібрилярних (ПМЖ, шкіра, мозок) тканин померлих з різним об'ємом крововтрати -  $\Delta V = 0\text{мм}^3 \div 2500\text{мм}^3$ .

4. Показано, що максимальний рівень досягається для статистичних моментів, які характеризують ММІ мапи: гістологічні зрізи ПМЖ -  $SM_1 \Leftrightarrow 90\% - 94\%$ .

### ПОДЯКИ

Дослідження виконано за підтримки гранту Національного фонду досліджень України №2023.03/0174.

---

---

## БІОМЕДИЧНІ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННІ СИСТЕМИ ТА ПРИЛАДИ

---

---

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ / REFERENCES

1. Yao G, Wang LV. Two-dimensional depth-resolved Mueller matrix characterization of biological tissue by optical coherence tomography. *Opt Lett*. 1999;24:537-539.
2. Tower TT, Tranquillo RT. Alignment Maps of Tissues: I. Microscopic Elliptical Polarimetry. *Biophys J*. 2001;81:2954-2963.
3. Lu S, Chipman RA. Interpretation of Mueller matrices based on polar decomposition. *J Opt Soc Am A*. 1996;13:1106-1113.
4. Alfano RR, Tata DB, Tomashefsky P, et al. Laser Induced Fluorescence Spectroscopy from Native Cancerous and Normal Tissue. *IEEE J Quantum Electron*. 1984;20:1502.
5. Jianan YQ. Real time calibrated fluorescence imaging of tissue in vivo by using the combination of fluorescence and cross-polarized reflection. *Biomed Top Meet*. 2002;71:485-487.
6. Cheong W-F, Prah SA, Welch AJ. A review of the optical properties of biological tissues. *IEEE J Quantum Electron*. 1990;26:2166-2185.
7. Kienle A, Forster FK, Diebold R, Hibst R. Light propagation in dentin: influence of microstructure on anisotropy. *Phys Med Biol*. 2003;48:7-14.
8. Arteaga O. Mueller matrix polarimetry of anisotropic chiral media [dissertation]. University of Barcelona; 2010.
9. Ushenko AG, Pishak VP. Laser Polarimetry of Biological Tissue. Principles and Applications. In: Tuchin VV, editor. *Biomedical Diagnostics, Environmental and Material Science*. Kluwer Academic Publishers; 2004. p. 93-136.
10. Angelsky OV, Ushenko AG, Ushenko YA, Pishak VP, Peresunko AP. Statistical, Correlation and Topological Approaches in Diagnostics of the Structure and Physiological State of Birefringent Biological Tissues. In: Tuchin VV, editor. *Handbook of Photonics for Biomedical Science*. London: CRC Press; 2010. p. 283-322.
11. Ushenko YA, Boychuk TM, Bachynsky VT, Mincer OP. Diagnostics of Structure and Physiological State of Birefringent Biological Tissues: Statistical, Correlation and Topological Approaches. In: *Handbook of Coherent-Domain Optical Methods*. New York: Springer Science+Business Media; 2013. p. 107-148.

*Дата надходження: 15.02.2026*

*Дата прийняття до друку після рецензування: 8.03.2026*

*Дата публікації: 18.06.2026*

*Ця робота ліцензується відповідно до  
Creative Commons Attribution 4.0 International License*

**СКЛЯРЧУК ВАЛЕРІЙ МИХАЙЛОВИЧ** – доктор фізико-математичних наук, доцент кафедри поліграфічних, мультимедійних та оптичних технологій, Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича, Чернівці, Україна, *e-mail: [v.skliarchuk@chnu.edu.ua](mailto:v.skliarchuk@chnu.edu.ua), <https://orcid.org/0000-0001-8211-4391>*

**ГАРАЗДІУК МАРТА СЛАВІВНА** – доктор медичних наук, доцент кафедри судової медицини та медичного правознавства, Буковинський державний медичний університет, Чернівці, Україна.  
*e-mail: [garazdiuk.marta@bsmu.edu.ua](mailto:garazdiuk.marta@bsmu.edu.ua), <https://orcid.org/0000-0002-7811-3211>*

**ОГІРКО МИХАЙЛО ОЛЕГОВИЧ** – кандидат фізико-математичних наук, асистент кафедри поліграфічних, мультимедійних та оптичних технологій, Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича, Чернівці, Україна *e-mail: [m.ohirko@chnu.edu.ua](mailto:m.ohirko@chnu.edu.ua), <https://orcid.org/0009-0007-4444-0189>*

**СЕМЕНЮК ІГОР ІВАНОВИЧ** – фахівець науково-дослідної частини, Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича, Чернівці, Україна, *e-mail: [i.semeniuk@chnu.edu.ua](mailto:i.semeniuk@chnu.edu.ua), <https://orcid.org/0009-0007-2620-5185>*

**Valerii SKLIARCHUK, Marta GARAZDIUK, Myhaylo OHIRKO, Ihor SEMENYUK**

### SYSTEM AND ALGORITHMS FOR DIFFERENTIATION OF DEPOLARIZATION MAPS OF BIOLOGICAL TISSUES OF DECEASED VEGETABLES WITH VARIOUS DEGREES OF BLOOD LOSS

Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University  
Bukovina State Medical University