

## СУДОВО-МЕДИЧНІ КРИТЕРІЇ ДИФЕРЕНЦІАЦІЇ ОБ'ЄМУ КРОВОВТРАТИ ШЛЯХОМ АНАЛІЗУ МАП ЛІНІЙНОГО ДИХРОЇЗМУ БІОЛОГІЧНИХ ТКАНИН І РІДИН ЛЮДИНИ

К.В. Шилан

Буковинський державний медичний університет, м. Чернівці, Україна

**Ключові слова:** судова медицина, крововтрата, Мюллер-матрична томографія, діагностика, лазерна поляриметрія.

Буковинський медичний вісник. 2025. Т. 29, № 1 (113). С. 111-117.

DOI: 10.24061/2413-0737.29.1.113.2025.17

E-mail:  
kob\_sme\_kir@ukr.net



**Резюме.** Наша стаття спрямована на дослідження діагностичної ефективності застосування методу Мюллер-матричного відтворення мап лінійного дихроїзму полікристалічної складової біологічних тканин і крові людини у завданні об'єктивного визначення об'єму крововтрати.

**Мета дослідження** – оцінити ефективність методу Мюллер-матричного відтворення мап лінійного дихроїзму полікристалічної складової біологічних тканин і крові людини у диференціальній діагностиці ступеня крововтрати.

**Матеріал і методи.** У дослідженні проведено аналіз біологічних тканин померлих із різним ступенем крововтрати: зразки шкіри, мозку та крові ( $n=156$ ) осіб віком від 18 до 60 років. Усі зразки розподілені на контрольну ( $n=10$ ;  $0 \text{ мм}^3$ ) та п'ять дослідних груп відповідно до об'єму крововтрати (від  $500 \pm 100 \text{ мм}^3$  до  $2500 \pm 100 \text{ мм}^3$ ). Статистичну обробку даних проводили за допомогою програмного забезпечення MS® Excel® 2010™ та Statistica®. Оцінку об'єму крововтрати здійснювали шляхом аналізу змін фазової та амплітудної анізотропії тканин із використанням алгоритму розрахунку питомого значення крововтрати.

**Результати дослідження.** На основі аналізу розподілів випадкових значень полікристалічної складової гістологічних зрізів біологічних тканин і плівки крові померлих з різним ступенем крововтрати встановлено динаміку зміни величини статистичних показників для кожної дослідної групи, залежно від об'єму крововтрати. Оцінка точності запропонованого методу показала високий рівень достовірності у визначенні об'єму крововтрати для зразків шкіри, мозку та крові. Найвищі показники точності (92-94%) зафіксовані при використанні асиметрії та ексцесу розподілів лінійного дихроїзму плівок крові, що підтверджує ефективність методу для судово-медичної практики.

**Висновки.** 1. Установлено діапазон чутливості методу диференціального Мюллер-матричного картографування мап лінійного дихроїзму до зміни рівня крововтрати померлих для всіх досліджуваних зразків –  $\Delta V=0 \text{ мм}^3 \div 2000 \text{ мм}^3$ .

2. Визначено величини і діапазони зміни точності методу диференціального Мюллер-матричного картографування з алгоритмічним відтворенням мап лінійного дихроїзму біологічних препаратів –  $\Delta V=0 \text{ мм}^3 \div 2000 \text{ мм}^3 \leftrightarrow 86-92\%$ ;  $\Delta V=2000 \text{ мм}^3 \div 2500 \text{ мм}^3 \leftrightarrow 56-68\%$ .

3. Найвища точність була зафіксована при аналізі крові (ексцес  $SM_4 \leftrightarrow 90-94\%$ ), що вказує на перспективність цього методу для об'єктивної оцінки крововтрати. Водночас для тканини мозку та шкіри точність методу була децю нижчою, проте все ще на високому рівні (80-90%).

4. Отримані результати підтверджують високу ефективність методу Мюллер-матричної томографії у визначенні ступеня крововтрати. Метод забезпечує точну оцінку змін оптичних характеристик біологічних тканин у відповідь на крововтрату, що може бути використано в судово-медичній практиці для встановлення причин смерті та реконструкції механізму травмування.

## FORENSIC MEDICAL CRITERIA FOR DIFFERENTIATION OF THE VOLUME OF BLOOD LOSS THROUGH ANALYSIS OF LINEAR DICHROISM MAPS OF HUMAN BIOLOGICAL TISSUES AND FLUIDS

K.V. Shylan

**Key words:** forensic medicine, **Resume.** Our article is aimed at investigating the diagnostic effectiveness of using

## Оригінальні дослідження

blood loss, Mueller matrix tomography, diagnostics, laser polarimetry.

Bukovinian Medical Herald. 2025. V. 29, № 1 (113). P. 111-117.

method of Mueller matrix reproduction of linear dichroism maps of the polycrystalline component of biological tissues and human blood in the task of objectively determining the volume of blood loss.

**The aim of the study.** To assess the effectiveness of the method of Mueller matrix reproduction of linear dichroism maps of the polycrystalline component of biological tissues and human blood in the differential diagnosis of the degree of blood loss.

**Material and Methods.** The study analyzed biological tissues of deceased individuals with varying degrees of blood loss: skin, brain, and blood samples ( $n=156$ ) aged from 18 to 60. All samples were divided into a control ( $n=10$ ;  $0\text{ mm}^3$ ) and five experimental groups according to the amount of blood loss (from  $500\pm 100\text{mm}^3$  to  $2500\pm 100\text{mm}^3$ ). Statistical data processing was performed using MS® Excel® 2010™ and Statistica® software. Blood loss volume was estimated by analyzing changes in phase and amplitude anisotropy of tissues using an algorithm for calculating the specific value of blood loss.

**Results.** Based on the analysis of the distributions of random values of the polycrystalline component of biological tissues and blood of deceased persons with different degrees of blood loss, the dynamics of changes in the value of statistical indicators for each experimental group, depending on the volume of blood loss, was established. The assessment of the accuracy of the proposed method showed a high level of reliability in determining the volume of blood loss for skin, brain and blood samples. The highest accuracy rates (92-94%) were recorded when using the asymmetry and excess of the linear dichroism distributions of blood films, which confirms the effectiveness of the method for forensic practice.

**Conclusions.** 1. The sensitivity range of the differential Mueller matrix mapping method of linear dichroism to changes in the level of blood loss of for all studied samples was established –  $\Delta V=0\text{mm}^3\div 2000\text{mm}^3$ .

2. The magnitudes and ranges of changes in the accuracy of the differential Mueller matrix mapping method with algorithmic reproduction of linear dichroism maps of biological samples have been determined –  $\Delta V=0\text{mm}^3\div 2000\text{mm}^3 \leftrightarrow 86\text{-}92\%$ ;  $\Delta V=2000\text{mm}^3\div 2500\text{mm}^3 \leftrightarrow 56\text{-}68\%$ .

3. The highest accuracy was recorded in blood analysis (excess  $SM_4 \leftrightarrow 90\text{-}94\%$ ), which indicates the potential of this method for objective assessment of blood loss. At the same time, for brain and skin tissue, the accuracy of the method was lower, but still at a high level (80-90%).

4. The results obtained confirm the high efficiency of the Mueller matrix tomography method in determining the degree of blood loss. The method provides an accurate assessment of changes in the optical characteristics of biological tissues in response to blood loss, which can be used in forensic practice to establish the causes of death and reconstruct the mechanism of injury.

**Вступ.** Визначення об'єму крововтрати (ОК) є критично важливим аспектом судово-медичної експертизи, оскільки значна втрата крові може бути як прямою причиною смерті, так і супутнім фактором, що ускладнює перебіг клінічної картини травматичних ушкоджень. Точна оцінка ОК є необхідною для правильного встановлення механізмів ушкодження та послідовності подій, що призвели до летального наслідку [1].

Традиційні методи оцінки ОК, такі як візуальний огляд або біохімічні аналізи, часто не забезпечують достатньої точності та об'єктивності. Це пов'язано із суб'єктивністю оцінок, впливом посмертних змін та складнощами, що виникають при зовнішніх кровотечах, де визначити точний ОК особливо проблематично [1-3].

Існує декілька сучасних методів оцінки ОК, кожен з яких має свої переваги та недоліки. До прямих методів відносять колориметричний, що базується на вилученні крові з досліджуваного матеріалу та

визначенні концентрації її компонентів. Недоліками є складність повного вилучення крові з матеріалів та необхідність використання розчинів для калібрування [1, 4]. Гравіметричний метод передбачає зважування матеріалів, просочених кров'ю, для оцінки ОК. Цей метод може бути неточним через неможливість врахування всіх джерел крововтрати та впливу інших рідин [2]. Також використовують радіонуклідні дослідження для оцінки об'єму циркулюючої крові. Однак дані методи є досить дорогими, потребують спеціального обладнання та не завжди доступні для використання, особливо в судово-медичній практиці [5, 6].

У цьому контексті впровадження новітніх оптичних методів, зокрема Мюллер-матричного відтворення мап лінійного дихроїзму, відкриває нові перспективи для судово-медичної практики [7-9]. Цей метод дозволяє детально аналізувати поляризаційні властивості біологічних тканин (БТ), їхню структуру та виявляти зміни, пов'язані із крововтратою.

Мікроскопічні прояви морфологічної структури БТ являють собою суперпозицію оптично-анізотропних властивостей фібрилярних і паренхіматозних структур [8,10]. Процес крововтрати призводить до зменшення рівня циркулярного дихроїзму (ЦД) і двопронезаломлення формених елементів крові на тлі поступового некротичного зменшення лінійного дихроїзму (ЛД) і двопронезаломлення оптичної анізотропії фібрилярних і паренхіматозних структур. Визначення ОК базується на встановленні взаємозв'язків між змінами розподілів мап фазової та амплітудної анізотропії і рівнем крововтрати померлих. Це забезпечує більш точну та об'єктивну оцінку ОК, що є надзвичайно важливим для встановлення причин смерті та реконструкції передсмертних подій.

Таким чином, впровадження Мюллер-матричної поляриметрії в судово-медичну практику може значно підвищити точність та об'єктивність експертних висновків, що, у свою чергу, сприятиме забезпеченню справедливості та достовірності судових рішень.

**Мета дослідження** - оцінити ефективність методу Мюллер-матричного відтворення мап ЛД полікристалічної складової БТ і крові людини у диференціальній діагностиці ступеня крововтрати.

**Матеріал і методи.** Дослідження БТ методом Мюллер-матричного відтворення мап лінійного дихроїзму розпочинали з їх відбору та підготовки. Проводили дослідження зразків шкіри, мозку та крові (n=156) померлих віком від 18 до 60 років із встановленим об'ємом крововтрати. Всі зразки розподілені на контрольну (n=10; 0мм<sup>3</sup>) та п'ять дослідних груп (№1 – n=23, 500±100мм<sup>3</sup>; №2 – n=41, 1000±100мм<sup>3</sup>; №3 – n=18, 1500±100мм<sup>3</sup>; №4 – n=31, 2000±100мм<sup>3</sup>; №5 – n=33, 2500±100мм<sup>3</sup>). Для контрольної групи відібрані БТ померлих від серцево-судинної патології без ознак крововтрати. Гістологічні зрізи БТ виготовляли на мікромомі зі швидким замороженням. Дослідні зразки крові одержували шляхом її нанесення у вигляді краплі на предметне скло з подальшим просушуванням при кімнатній температурі.

Біологічні препарати (БП) закріплювали на мікроскопічному столику об'єктного блоку (ОБ), який дозволяє їх точне двокоординатне позиціонування (рис. 1). Спочатку блок освітлення (БО) генерує паралельний поляризований лазерний пучок ( $\lambda = 0,63$  мкм), який проходить через поляризаційний фільтр (ПФ). Завдяки поляризатору (П) та фазовій пластинці (ФП) формується азимутально-інваріантне циркулярне поляризоване світло, яке взаємодіє із досліджуваним БП. Далі проводили аналіз поляризаційних змін у проєкційному блоці (ПБ), де за допомогою поляризаційного мікрооб'єктива (ПМО, 4×) формується мікроскопічне зображення БП. Це зображення проєктується на цифрову камеру (ЦК), що входить до блоку фотоелектронної реєстрації (БФР). Наступним кроком є поляризаційний аналіз (БПА). У цьому блоці зображення піддається фільтрації та реєстрації інтенсивності лінійно поляризованих пучків

(з азимутами  $\pm 45^\circ$ ), а також право- та лівоциркулярно поляризованого світла. Отримані дані передаються до блоку обробки даних (БОД). На останньому етапі персональний комп'ютер (ПК) здійснює обчислення фазової та амплітудної анізотропії тканин, а також статистичний аналіз отриманих мап розподілу цих параметрів [8, 10]. Це дозволяє зробити висновки про структуру полікристалічних компонентів досліджуваних тканин та оцінити ступінь крововтрати за характером змін їхніх оптичних властивостей.

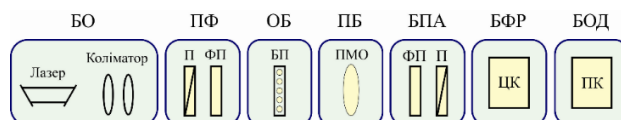


Рис. 1. Функціональна блок-схема багатопараметричної диференціальної Мюллер-матричної томографії біологічних препаратів

Таким чином, лазерний поляриметр дає змогу отримати детальну інформацію про зміни оптичних характеристик БТ, що використовується для об'єктивної оцінки ОК у судово-медичних дослідженнях.

Підрахунок статистичних параметрів ( $SM_{i=1,2,3,4}$ ) проводили за допомогою програмного забезпечення MS® Excel® 2010™ та Statistica®. Визначення ОК здійснювали за представленим алгоритмом:

$$V_x = \left( SM_*^i(V_*) - SM_1^i(V_1) \right) \times \left( (V_2 - V_1) / \left( SM_2^i(V_2) - SM_1^i(V_1) \right) \right) \quad (1)$$

Тут:

$SM_1^i$  - один із набору статистичних параметрів;

$\Delta V = (V_2 - V_1)$  - діагностично-актуальний діапазон зміни об'єму крововтрати  $V$ ;

$SM_*^i$  - значення статистичного параметра зображення  $Q$  гістологічного зрізу тканини або зразка крові померлого з невідомим об'ємом крововтрати;

$V_*$  - питоме значення крововтрати.

**Результати дослідження та їх результати.** На першому етапі нашого дослідження вивчалися гістологічні зрізи шкіри. Результати багатоканальної Мюллер-матричної поляриметрії ЛД полікристалічних колагенових мереж гістологічних зрізів шкіри представлені на рис. 2.

Експериментальні дані диференціального Мюллер-матричного картографування з алгоритмічним відтворенням ЛД оптично анізотропних мереж гістологічних зрізів шкіри померлих виявили зменшення середнього та дисперсії значень ЛД на інтервалі ОК до  $2000 \pm 100$  мм<sup>3</sup> (табл. 1).

Динаміка зміни статистичної структури ЛД колагенових сіток зрізів шкіри померлих представлена на рис. 3, який описує графічні залежності статистичних моментів  $SM_{i=1,2,3,4}$  та ОК.

Моніторинг змін здатності методу Мюллер-

Оригінальні дослідження

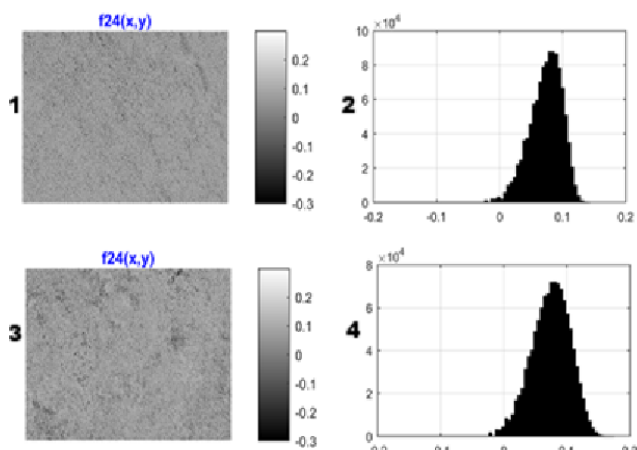


Рис. 2. Мапи (1, 3) та гістограми (2, 4) розподілів ЛД гістологічних зрізів шкіри контрольної (1, 2) та дослідної №3 (3, 4) груп померлих.

матричного відтворення ЛД колагенових сіток шкіри (рис. 3) продемонстрував, що величини  $SM_{i=1;2;3;4}$ , які характеризують гістограми розподілів випадкових і значень репрезентативних вибірок набору зразків гістологічних зрізів шкіри померлих, змінюються в межах ОК  $0\text{мм}^3 \div 2000\text{мм}^3$ . При цьому найбільш чутливими до таких посмертних змін виявилися - статистичні моменти 3-го і 4-го порядків, які демонстрували значне відхилення від контрольних значень при збільшенні ОК. Це свідчить про поступову зміну оптичної анізотропії колагенових волокон шкіри внаслідок порушення гемодинамічної рівноваги в організмі при крововтраті.

Аналогічні дослідження проводили на зразках тканини мозку, де також простежили зниження середнього значення ЛД із збільшенням ОК (табл. 3). Одержані результати багатопараметричної поляризаційної Мюллер-матричної томографії зрізів

Таблиця 1

Статистична структура мап лінійного дихроїзму гістологічних зрізів шкіри померлих із різним ступенем крововтрати

Крововтрата, $\text{мм}^3$	0 $\text{мм}^3$	500± 100 $\text{мм}^3$	1000± 100 $\text{мм}^3$	1500± 100 $\text{мм}^3$	2000± 100 $\text{мм}^3$	2500± 100 $\text{мм}^3$
Середнє, $SM_1$	0.22± 0.09	0.19± 0.008	0.16± 0.007	0.13± 0.006	0.102± 0.005	1.09± 0.005
$p$	$p<0.05$	$p<0.05$	$p<0.05$	$p<0.05$	$p<0.05$	$p>0.05$
Дисперсія, $SM_2$	0.18± 0.008	0.16± 0.007	0.14± 0.006	0.12± 0.005	0.103± 0.004	0.11± 0.005
$p$	$p<0.05$	$p<0.05$	$p<0.05$	$p<0.05$	$p<0.05$	$p>0.05$
Асиметрія, $SM_3$	0.41± 0.016	0.66± 0.027	0.92± 0.044	0.12± 0.005	0.103± 0.004	0.11± 0.005
$p$	$p<0.05$	$p<0.05$	$p<0.05$	$p<0.05$	$p<0.05$	$p>0.05$
Ексцес, $SM_4$	0.55± 0.025	0.87± 0.039	1.16± 0.073	1.48± 0.065	1.73± 0.074	1.55± 0.065
$p$	$p<0.05$	$p<0.05$	$p<0.05$	$p<0.05$	$p<0.05$	$p>0.05$

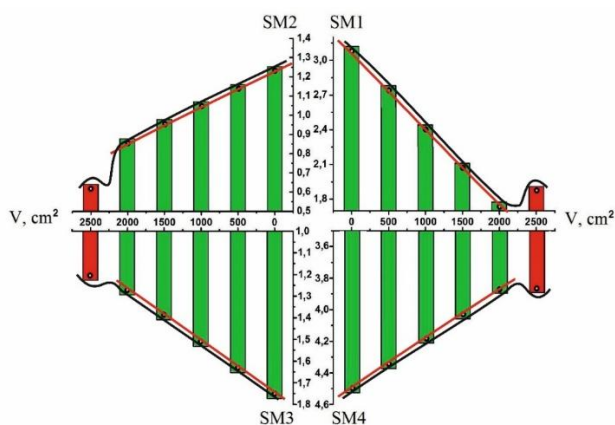


Рис. 3. Залежності величин значень середнього ( $SM_1$ ), дисперсії ( $SM_2$ ), асиметрії ( $SM_3$ ) та ексцесу ( $SM_4$ ), які характеризують мапи лінійного дихроїзму гістологічних зрізів шкіри померлих з різним ступенем крововтрати

мозку виявили, що розподіли величини ЛД (рис. 4, фрагмент 4) з більшим ОК ( $V=1000\text{мм}^3 \pm 100 \text{мм}^3$ )

характеризуються меншим середнім значенням і діапазоном розкиду випадкових значень у порівнянні зі зразком із контрольної групи (рис. 4, фрагмент 2). Даний факт можна пов'язати з тим, що поглинаюча здатність ЛД у точках структури тканини мозку переважно формується за рахунок зменшення концентрації формених елементів на тлі незначного циркулярного дихроїзму.

Кількісно даний сценарій зміни розподілів величини ЛД оптично анізотропної фібрилярної структури гістологічних зрізів мозку померлих із різним ступенем крововтрати ілюструють статистичні моменти 1 – 4-го порядків, які наведені в таблиці 2.

Таким чином, встановлено, що тканина мозку виявляє більш виражену зміну оптичних властивостей порівняно зі шкірою, що пояснюється особливостями її гістологічної будови та вмістом формених елементів. Виявлено, що при крововтраті в межах  $1000\pm 100\text{мм}^3$  середні значення ЛД значно знижуються, що пов'язано зі зменшенням кількості формених елементів крові та відповідним зниженням оптичної активності тканини. Оцінка дисперсії ЛД також вказує на поступове



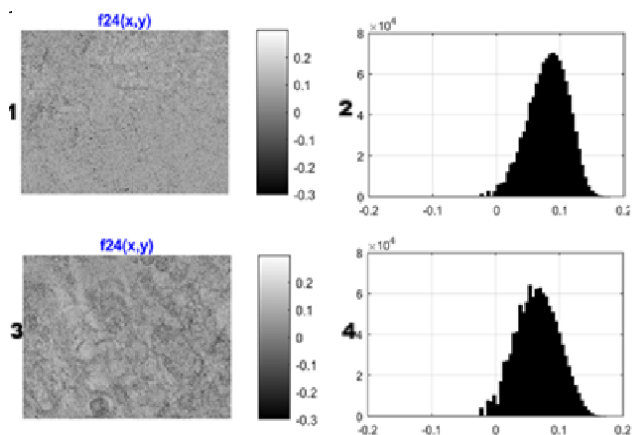


Рис. 4. Мати (1, 3) та гістограми (2, 4) розподілів ЛД гістологічних зрізів мозку контрольної (1, 2) та дослідної №3 (3, 4) груп померлих.

зменшення варіативності структурних показників при наростанні крововтрати.

Рисунок 5 ілюструє графічну динаміку зміни набору статистичних моментів  $SM_{i=1;2;3;4}$ , які характеризують розподіли величини ЛД оптично анізотропної поглинальної структури зрізів мозку з різним рівнем ОК.

Експериментально-одержані діаграми (рис. 5) зміни величини статистичних моментів  $SM_{i=1;2;3;4}$ , які характеризують розподіли ЛД репрезентативних вибірок набору гістологічних зрізів мозку різних груп померлих, змінюються в межах об'єму крововтрати  $0\text{мм}^3 \div 2000\text{мм}^3$ . Найбільш чутливим до змін фібрилярних мереж мозку внаслідок зростання рівня крововтрати виявилися асиметрія ( $SM_3$ ) та ексцес ( $SM_4$ ). Це можна пояснити особливостями гістологічної будови мозкової тканини, де втрата

Таблиця 2

Статистична структура мап лінійного дихроїзму гістологічних зрізів мозку померлих із різним ступенем крововтрати

Крово-втрата, $\text{мм}^3$	0 $\text{мм}^3$	500±100 $\text{мм}^3$	1000±100 $\text{мм}^3$	1500±100 $\text{мм}^3$	2000±100 $\text{мм}^3$	2500±100 $\text{мм}^3$
Середнє, $SM_1$	0.205±0.008	0.175±0.006	0.141±0.005	0.114±0.006	0.087±0.007	0.099±0.006
$p$	$p<0.05$	$p<0.05$	$p<0.05$	$p<0.05$	$p<0.05$	$p>0.05$
Дисперсія, $SM_2$	0.17±0.006	0.15±0.005	0.13±0.003	0.11±0.004	0.076±0.003	0.09±0.005
$p$	$p<0.05$	$p<0.05$	$p<0.05$	$p<0.05$	$p<0.05$	$p>0.05$
Асиметрія, $SM_3$	0.58±0.062	0.78±0.077	1.02±0.099	1.45±0.102	1.69±0.105	1.43±0.096
$p$	$p<0.05$	$p<0.05$	$p<0.05$	$p<0.05$	$p<0.05$	$p>0.05$
Ексцес, $SM_4$	0.65±0.081	0.95±0.102	1.21±0.12	1.48±0.11	1.82±0.107	1.61±0.105
$p$	$p<0.05$	$p<0.05$	$p<0.05$	$p<0.05$	$p<0.05$	$p>0.05$

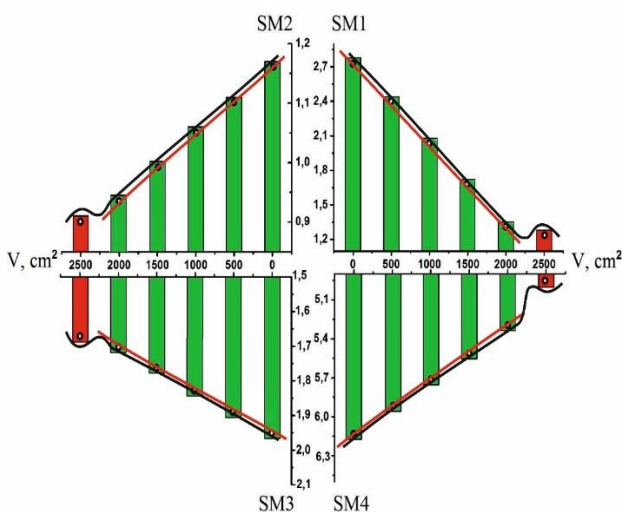


Рис. 5. Залежності величин значень середнього ( $SM_1$ ), дисперсії ( $SM_2$ ), асиметрії ( $SM_3$ ) та ексцесу ( $SM_4$ ), які характеризують мапи лінійного дихроїзму гістологічних зрізів шкіри померлих із різним ступенем крововтрати

крові безпосередньо впливає на оптичні властивості фібрилярних структур.

Третій етап дослідження передбачав аналіз поляризаційних характеристик полікристалічних плівок крові, що формувались при висушуванні дослідних зразків. Адже випаровування рідини призводить до утворення специфічної полікристалічної структури, яка демонструє характерну оптичну анізотропію, зумовлену концентрацією формених елементів. Для плівки крові головним чинником зміни координатної полікристалічної структури є оптична анізотропія формених елементів, які розсіюють (деполяризують) лазерне випромінювання на тлі незмінної структурної анізотропії полікристалічних альбумін - глобулінових мереж. Тому зі зменшенням концентрації формених елементів крові у випадках крововтрати зменшується і величина ЛД.

Результати статистичного аналізу зазначених змін оптично анізотропного ЛД полікристалічних плівок крові померлих ілюструють значення статистичних моментів 1 – 4-го порядків (табл. 3).

## Оригінальні дослідження

Таблиця 3

## Статистична структура мап лінійного дихроїзму полікристалічних плівок крові померлих із різним ступенем крововтрати

Крововтрата, мм <sup>3</sup>	0 мм <sup>3</sup>	500± 100мм <sup>3</sup>	1000± 100мм <sup>3</sup>	1500± 100 мм <sup>3</sup>	2000± 100 мм <sup>3</sup>	2500± 100 мм <sup>3</sup>
Середнє, $SM_1$	0.21± 0.009	0.183± 0.008	0.152± 0.007	0.121± 0.005	0.092± 0.005	0.063± 0.003
$p$	$p<0.05$	$p<0.05$	$p<0.05$	$p<0.05$	$p<0.05$	$p>0.05$
Дисперсія, $SM_2$	0.19± 0.008	0.17± 0.007	0.145± 0.006	0.124± 0.005	0.103± 0.004	0.084± 0.003
$p$	$p<0.05$	$p<0.05$	$p<0.05$	$p<0.05$	$p<0.05$	$p>0.05$
Асиметрія, $SM_3$	0.36± 0.014	0.66± 0.027	0.94± 0.043	1.24± 0.065	1.57± 0.077	1.85± 0.084
$p$	$p<0.05$	$p<0.05$	$p<0.05$	$p<0.05$	$p<0.05$	$p>0.05$
Ексцес, $SM_4$	0.57± 0.023	0.78± 0.032	0.99± 0.045	1.19± 0.052	1.47± 0.064	1.72± 0.075
$p$	$p<0.05$	$p<0.05$	$p<0.05$	$p<0.05$	$p<0.05$	$p>0.05$

На рис. 6 представлена серія діаграм зміни величини набору значень  $SM_{i=1;2;3;4}$ , що характеризують мапи ЛД лазерного випромінювання полікристалічними плівками крові померлих з різним ступенем крововтрати.

Отримані результати свідчать про чутливість методу в межах ОК 0мм<sup>3</sup> ÷ 2000мм<sup>3</sup>. Найбільш інформативними параметрами виявилися асиметрія та ексцес розподілу ЛД, що підтверджує високу чутливість методу до змін у концентрації формених елементів.

Для оцінки точності методу Мюллер-матричного відтворення мап лінійного дихроїзму БТ та крові у визначенні ОК проведено аналіз діагностичної ефективності отриманих даних. Виявлено, що найвища точність визначення ОК (92-94%) спостерігалася при аналізі полікристалічних плівок крові, особливо за показниками асиметрії та ексцесу (табл. 4).

Для кожного статистичного моменту, який характеризує розподіли ЛД набору репрезентативних вибірок зразків гістологічних зрізів БТ і крові з різних

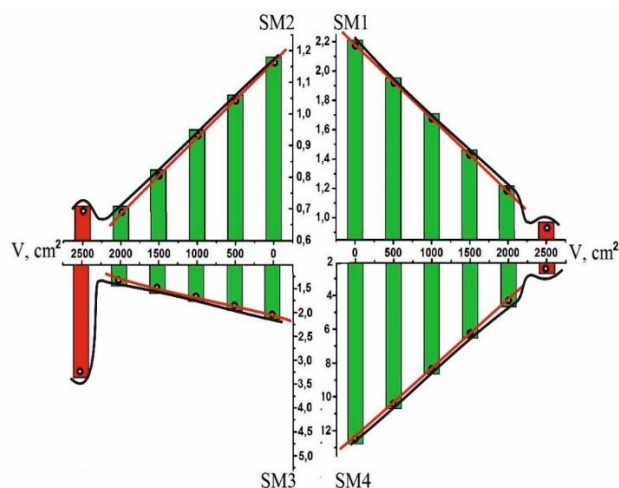


Рис. 6. Залежності величин значень середнього ( $SM_1$ ), дисперсії ( $SM_2$ ), асиметрії ( $SM_3$ ) та ексцесу ( $SM_4$ ), які характеризують мапи лінійного дихроїзму гістологічних зрізів шкіри померлих із різним ступенем крововтрати

Таблиця 4

## Точність Ас, % визначення об'єму крововтрати шкіри

Крововтрата, мм <sup>3</sup>	500± 100 мм <sup>3</sup>	1000± 100 мм <sup>3</sup>	1500± 100 мм <sup>3</sup>	2000± 100 мм <sup>3</sup>	2500± 100 мм <sup>3</sup>
шкіра					
Середнє, $SM_1$	90	88	86	84	68
Дисперсія, $SM_2$	86	84	84	82	68
Асиметрія, $SM_3$	84	84	82	80	66
Ексцес, $SM_4$	82	82	80	76	64
мозок					
Середнє, $SM_1$	88	86	86	84	72
Дисперсія, $SM_2$	72	70	68	68	56
Асиметрія, $SM_3$	78	74	74	72	62
Ексцес, $SM_4$	80	78	76	72	64
кров					
Середнє, $SM_1$	78	76	74	70	62
Дисперсія, $SM_2$	84	82	80	80	68
Асиметрія, $SM_3$	92	92	90	88	74
Ексцес, $SM_4$	94	94	92	90	76

груп померлих, знаходилась точність визначення об'єму крововтрати на основі серії номограм.

Для тканини мозку та шкіри точність методу була дещо нижчою, проте в межах 80-90%, що також свідчить про високу діагностичну цінність даного аналізу. Таким чином, отримані результати підтверджують ефективність використання диференціальної Мюллер-матричної томографії для встановлення ступеня крововтрати, що має важливе значення для судово-медичної практики.

**Висновки.** 1. Установлено діапазон чутливості методу диференціального Мюллер-матричного картографування мап лінійного дихроїзму до зміни рівня крововтрати померлих для всіх досліджуваних зразків –  $\Delta V = 0 \text{ мм}^3 \div 2000 \text{ мм}^3$ .

2. Визначено величини і діапазони зміни точності методу диференціального Мюллер-матричного картографування з алгоритмічним відтворенням мап

лінійного дихроїзму біологічних препаратів –  $\Delta V = 0 \text{ мм}^3 \div 2000 \text{ мм}^3 \leftrightarrow 86-92\%$ ;  $\Delta V = 2000 \text{ мм}^3 \div 2500 \text{ мм}^3 \leftrightarrow 56-68\%$ .

3. Найвища точність зафіксована при аналізі крові (ексцес  $SM_4 \leftrightarrow 90-94\%$ ), що вказує на перспективність цього методу для об'єктивної оцінки крововтрати. Водночас для тканини мозку та шкіри точність методу була дещо нижчою, проте все ще на високому рівні (80-90%).

4. Отримані результати підтверджують високу ефективність методу Мюллер-матричної томографії у визначенні ступеня крововтрати. Метод забезпечує точну оцінку змін оптичних характеристик біологічних тканин у відповідь на крововтрату, що може бути використано в судово-медичній практиці для встановлення причин смерті та реконструкції механізму травмування.

#### References

1. Yaroshenko RA, Panasenko SI, Chorna IO, Ligonenko OV. Evolution of Blood Loss Assessment Methods. Ukrainian Journal of Medicine, Biology and Sports. 2022;7(3):43-51. DOI: 10.26693/jmbs07.03.043.
2. Kim KM, Park DY, Kang EH, Kim M, Choi BM, Noh GJ, et al. A modified method of measuring plasma volume with indocyanine green: reducing the frequency of blood sampling while maintaining accuracy. J Clin Monit Comput. 2021 Aug;35(4):779-85. DOI: 10.1007/s10877-020-00536-5.
3. Maegele M, Aletti F, Efron PA, Relja B, Orfanos SE. New insights into the pathophysiology of trauma and hemorrhage. Shock. 2023;59(3Suppl1):6-9. DOI: 10.1097/shk.0000000000001954.
4. Klygunenko OM, Krishtafor DA, Yovenko IO. Influence of qualitative and quantitative changes of blood replacement on manifestations of multiple organ dysfunction syndrome in multiple trauma. Emergency medicine. 2017;5:91-9. DOI: 10.22141/2224-0586.5.84.2017.109366.
5. Potente S, Ramsthaler F, Kettner M, Sauer P, Schmidt P. Relative blood loss in forensic medicine - do we need a change in doctrine? Int J Legal M. 2020;134(3):1123-31. DOI: 10.1007/s00414-020-02260-w.
6. Phillips R, Friberg M, Cronqvist ML, Jonson C-O, Prytz E. Visual Blood Loss Estimation Accuracy: Directions for Future Research Based on a Systematic Literature Review. Proc Hum Factors Ergon Soc Annu Meet. 2020;64(1):1411-5. DOI: 10.1177/1071181320641337.
7. Ushenko VA, Hogan BT, Dubolazov A, Grechina AV, Boronikhina TV, Gorsky M, et al. Embossed topographic depolarisation maps of biological tissues with different morphological structures. Sci Rep. 2021;11(1):3871. DOI: 10.1038/s41598-021-83017-2.
8. Pavlyukovich A, Pavlyukovich N, Sarkisova Y, Dubolazov OV. Azimuthally invariant Mueller-matrix tomography of linear dichroism of polycrystalline networks of biological tissues. Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering. 2020;11718:117181J. DOI: 10.1117/12.2571213.
9. Ushenko AG, Sarkisova Y, Bachinsky VT. Diagnostics of the prescriptions of death by a method of azimuthally-invariant Mueller-matrix microscopy. Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering. 2020;11581:115810J. DOI: 10.1117/12.2580335.
10. Dubolazov A, Ushenko V, Trifonyuk L, Stashkevich A, Soltys I, Ushenko Y, et al. Polarization-Singular Approach to Imaging Mueller-Matrix Polarimetry in the Differential Diagnosis of Histological Sections of Biopsy of Tumors of the Uterus and Prostate. Front Phys. 2021;9:711212. DOI: 10.3389/fphy.2021.711212.

#### Відомості про автора

**Шилан К.В.** – аспірант кафедри судової медицини та медичного правознавства Буковинського державного медичного університету, м. Чернівці, Україна.

#### Information about the author

**Shylan K.V.** – post-graduate student of the Department of Forensic Medicine and Medical Law, Bukovinian State Medical University, Chernivtsi, Ukraine.

Надійшла до редакції 11.12.24

© К.В. Шилан, 2025