

# СУДОВА МЕДИЦИНА

УДК 340.6:616-091.1:616-073.55

© М.С.ГАРАЗДЮК, 2016

*М.С.Гараздюк*

## ВИЗНАЧЕННЯ ДАВНОСТІ НАСТАННЯ СМЕРТІ ЗА МЕТОДОМ ПРОСТОРОВО-ЧАСТОТНОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ ПОЛЯРИЗАЦІЙНО-НЕОДНОРІДНИХ ЗОБРАЖЕНЬ ПОЛІКРИСТАЛІЧНИХ ПЛІВОК ЛІКВОРУ

**Вищий державний навчальний заклад України «Буковинський  
державний медичний університет», м. Чернівці**

**Вступ.** Визначення давності настання смерті (ДНС) було і залишається одним із основних проблемних питань судово-медичної практики. Перспективними в цьому напрямі є оптичні методи діагностики структури біологічних тканин (БТ) із використанням комплексу фотометричних, поляризаційних і кореляційних методик.

**Мета.** Розробити метод двомірного стокс-поляриметричного картографування біологічних шарів з метою встановлення інтервалу та точності визначення ДНС шляхом аналізу динаміки посмертних змін координатних розподілів значень еліптичності поляризації (ЕП) просторово-частотно відфільтрованих зображень полікристалічних плівок ліквору (ППЛ).

**Матеріали та методи.** Аналізували ППЛ, забрані у 69 померлих (основна група дослідження) з попередньо відомим часом настання смерті та 20-ти здорових добровольців (група контролю). Визначалися координатні розподіли значень ЕП зображення, проводилося обчислення величини статистичних моментів 1 – 4-го порядків і статистична обробка вимірної сукупності значень вказаних статистичних моментів.

**Результати та висновки.** Розроблено методику двомірного стокс-поляриметричного картографування розподілів ЕП зображень ППЛ у часовому моніторингу по-смертних змін оптичних проявів полікристалічних мереж з метою визначення ДНС. Виявлено, що найбільш чутливими є статистичні моменти 3-го і 4-го порядків, які характеризують асиметрію та ексцес розподілу значень ЕП зображень ППЛ. Таким чином, метод аналізу динамічних змін лазерних характеристик ППЛ довів свою ефективність для визначення ДНС, тому вважається доцільним продовжити дослідження з метою визначення найбільш ефективних оптичних критеріїв для впровадження методики в практику бюро судово-медичних експертів.

**Ключові слова:** давність настання смерті, ліквор, лазерна поляриметрия.

**Вступ.** Питанню визначення давності настання смерті (ДНС) завжди приділялося багато уваги, оскільки воно займає провідне місце в судово-медичній практиці [1-3]. Значні труднощі точного встановлення ДНС пов'язані з впливом на розвиток постмертних процесів великої кількості як зовнішніх, так і внутрішніх факторів, а основним методом визначення ДНС була і залишається оцінка ступеню розвитку ранніх та пізніх трупних явищ. Отримані результати дають неповну, часто суб'єктивну інформацію, з широкими часовими межами розвитку посмертних змін у біологічних

## СУДОВА МЕДИЦИНА

тканинах (БТ) різних типів, що не може належним чином задовольнити потреби слідчих органів.

Перспективними в цьому напрямі є фізичні методи дослідження БТ з використанням лазерних технологій для вивчення динаміки змін оптичних властивостей їх біокристалічної структури після настання смерті [6-9]. Опис даних властивостей здійснюється на основі таких оптичних явищ, як статичне і динамічне розсіювання, дифракція та інтерференція оптичних полів. Поляризаційні методи дають нову інформацію про морфологічну та оптико-анізотропну структуру БТ, що дає можливість встановити зв'язок між фізіологічним станом БТ і поляризаційно-фазовими параметрами зображень їх архітектоники. На основі цього відкриваються можливості об'єктивного і більш точного визначення часового проміжку, що пройшов із моменту настання смерті людини.

На даний час мало вивченими є можливості об'єктивного визначення ДНС шляхом дослідження посмертних змін структури поляризаційно-неоднорідних мікроскопічних зображень біологічних рідин людини.

**Мета.** Розробити та апробувати метод двомірного стокс-поляриметричного просторово-частотного картографування різномасштабних складових біологічних шарів з метою установлення інтервалу та точності визначення ДНС шляхом статистичного аналізу динаміки посмертних змін координатних розподілів значень еліптичності поляризації (ЕП) просторово-частотно відфільтрованих зображень полікристалічних плівок ліквору (ППЛ).

**Матеріали та методи.** Об'єктом дослідження є ППЛ, які забрані у 69 трупів обох статей (основна група дослідження) віком від 33-х до 91-го року з попередньо відомим часом настання смерті, що становив від 1 до 43 год, та 20-ти здорових добровольців (група порівняння). Відбір ліквору здійснювався методом субокципітальної пункції з великої потиличної цистерни у трупів та при спінальній анестезії при підготовці до оперативних втручань у здорових добровольців. До основної групи відбирали ліквор від трупів, що померли від серцево-судинної патології – 54 випадків (78,2%), від туберкульозу легень – 8 випадків (11,6%), від пухлин різних відділів шлунково-кишкового тракту – 6 випадків (8,7%), гострої енцефалопатії по Гайє-Верніке – 1 випадок (1,5%). За часом, що минув після смерті, розподіл наступний: 1-8 год. – 13 випадків (18,85%), 8 – 16 год. – 13 випадків (18,85%), 16 - 24 год. – 14 випадків (20,3%), 24 - 32 год. – 15 випадків (21,7%), 32 - 40 год. – 14 випадків (20,3%).

Полікристалічні плівки біологічних рідин (БР) характеризуються одночасною наявністю оптично ізотропної та анізотропної складових [6,8,9]. Відповідно до цього реалізується широкий спектр механізмів перетворення параметрів лазерного випромінювання, що проходить крізь такий біологічний шар. До механізмів першої групи можна віднести оптично ізотропне відбивання, заломлення, поглинання лазерного випромінювання без зміни стану поляризації. До механізмів другої групи відноситься місцева оптично анізотропна взаємодія - оптична активність – поворот площини поляризації лазерного випромінювання хіральними молекулами (молекули альбуміну, глобуліну, глюкози).

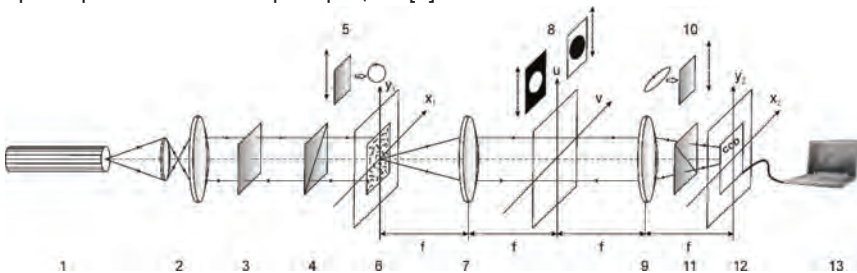
Після настання смерті у лікворі розпочинаються незворотні процеси, які ведуть до деградації білка, зміни структури білкових молекул, що, в кінцевому результаті, призводить до зниження вмісту білка в лікворі [4,5]. Так, Finehout E.J. зі співавторами [5] довели зниження рівня білків у лікворі

живих осіб та посмертні зміни їх ліквору. Було досліджено 54 типи білка різних функціональних групі, у 14 з них, було виявлено зв'язок між кількістю білка та часом, що пройшов після смерті.

Важливу роль у встановленні ДНС приділяють визначенню «середніх молекул» (молекулярна маса 500-2000 дальтон (Д)). Хімічний склад середньомолекулярних сполук дуже неоднорідний і об'єднує гетерогенну групу речовин (гліко-, нуклеопептиди, ендорфіни, похідні глюкуронових кислот та ін). А.В. Єрмаков [4] довів, що показники рівня середньомолекулярних сполук у лікворі осіб, померлих від отруєння наркотичними речовинами і від хвороб системи кровообігу поступово збільшуються залежно від часу настання смерті, що може бути використано для визначення ДНС. Щодо інших хімічних речовин статистично достовірних результатів не виявлено. Отже, посмертна динаміка біофізичних змін ліквору в значній мірі залежить від змін білків та продуктів їх розпаду, що відображається на властивості ППЛ заломлювати промені світла та лазерні промені. Відповідно, встановлення залежності лазерно-поляриметричних характеристик ППЛ від часу настання смерті може бути використаним з діагностичною метою, що і стало предметом нашого дослідження.

Плівки ліквору формувалися в ідентичних умовах шляхом нанесення краплі на оптично однорідне скло. Утворена плівка висушувалася при кімнатній температурі ( $t=22^{\circ}\text{C}$ ). Надалі проводили математичну обробку та аналіз отриманих поляризаційних зображень плівок ліквору з метою встановлення почасової динаміки посмертних змін ліквору.

На рис. 1 представлена оптична схема лазерного стокс-поляриметра з просторово-частотною фільтрацією [7].



**Рис. 1. Оптична схема стокс-поляриметра з використанням просторово-частотної фільтрації**

*Примітка:* 1 – He-Ne лазер; 2 – коліматор; 3 – стаціонарна чвертьхвильова плівка; 5, 10 – механічно рухомі чвертьхвильові плівки; 4, 11 – поляризатор та аналізатор відповідно; 6 – ППЛ; 7, 9 – поляризаційні мікрооб'єктиви; 8 – низькочастотний та високочастотний фільтри-діафрагми, 12 – CCD камера; 13 – персональний комп'ютер.

Опромінення зразка 6 проводилося паралельним ( $\varnothing = 104$  мкм) пучком світла He-Ne лазера ( $\lambda = 0,6328$  мкм, потужність  $W=5$  мВт). Поляризаційний освітлювач складається з чвертьхвильових плівок 3, 5 та поляризатора 4. Зразки ППЛ 6 розміщувалися у фокальній площині поляризаційного мікрооб'єктива 7 (Nikon CFI Achromat P, фокусна відстань – 30мм, апертюра – 0.1, збільшення – 4x). У задній фокальній площині мікрооб'єктива 7

## СУДОВА МЕДИЦИНА

розміщувався просторово-частотний (низькочастотний або високочастотний) фільтр-діафрагма 8. Поляризаційний мікрооб'єктив 9 (Nikon CFI Achromat P, фокусна відстань – 30мм, апертура – 0.1, збільшення – 4х) встановлювався на фокусній відстані від частотної площини об'єктива 7, та реалізовував зворотне фур'є-перетворення просторово-частотно відфільтрованого поля лазерного випромінювання.

Координатний розподіл інтенсивності такого поля реєструвався в площині світлочутливої CCD-камери 12 (The Imaging Source DDK 41AU02. AS, monochrome 1/2" CCD, Sony ICX205AL (progressive scan); роздільна здатність – 1280x960; розмір світлочутливої площинки–7600x6200мкм; чутливість–0.05 lx; динамічний діапазон–8 bit), яка знаходилася на фокальній відстані від поляризаційного мікрооб'єктива 9.

Отже, головними інформаційними об'єктами для сукупності оптико-фізичних методів діагностики давності настання смерті у нашій роботі є сукупність безпосередньо вимірних координатних розподілів поляризаційних параметрів  $\beta_{ik}(m \times n)$  просторово-частотно відфільтрованих поляризаційних мап  $F(\beta_{ik}(m \times n))$  полікристалічного шару ліквору:

$$F(\beta_{ik}(m \times n)) = F \left( \begin{pmatrix} (\beta_{ik})_{11} & \dots & (\beta_{ik})_{1n} \\ \dots & \dots & \dots \\ (\beta_{ik})_{m1} & \dots & (\beta_{ik})_{mn} \end{pmatrix} \right) \quad (1)$$

Як основний аналітичний інструмент для оцінювання розподілів значень ЕП різномасштабних складових зображень ППЛ (у подальшому  $q(m \times n)$ ) використовувалися статистичні моменти першого ( $Z_1$ ), другого ( $Z_2$ ), третього ( $Z_3$ ) і четвертого ( $Z_4$ ) порядків, які обчислювалися за такими алгоритмами [6-9]:

$$\begin{aligned} Z_1 &= \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N q_j; \\ Z_2 &= \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (q^2)_j}; \\ Z_3 &= \frac{1}{Z_2^3} \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (q^3)_j; \\ Z_4 &= \frac{1}{Z_2^4} \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (q^4)_j, \end{aligned} \quad (2)$$

де  $n$  - кількість пікселів світлочутливої площадки CCD-камери.

Вимірювання параметрів вектора Стокса зображення ППЛ здійснювалося наступним чином.

Світлочутлива площинка цифрової камери 10 (рис. 1) складається з  $N=m \times n$  пікселів, що дозволяє проводити одночасне вимірювання двовимірного масиву інтенсивності

$$\begin{pmatrix} I_{11} & \dots & I_{1n} \\ \dots & \dots & \dots \\ I_{m1} & \dots & I_{mn} \end{pmatrix}$$

у площині (x, y) зображення ППЛ. У межах кожного окремого jk-го пікселя зображення ППЛ можна визначити величину вектора Стокса S шляхом проведення шести вимірювань інтенсивності за таких умов поляризаційної фільтрації:

- Орієнтують площину пропускання поляризатора – аналізатора 9 (рис. 1) під кутом  $\Theta=0$  і вимірюють розподіл інтенсивності  $I_0(m \times n)$  лазерних зображень для вибірки.

- Повертаємо площину пропускання поляризатора на кут  $\Theta=90^\circ$  і вимірюємо координатний розподіл значень інтенсивності  $I_{90}(m \times n)$ .

На основі визначення вектора Стокса S [7,9] знаходимо його перший  $S_1$  і другий  $S_2$  параметри:

$$S_1 = I_0 + I_{90} \quad (3)$$

$$S_2 = I_0 - I_{90} \quad (4)$$

- Орієнтуємо площину пропускання поляризатора під кутом  $\Theta=45^\circ$  і вимірюємо координатний розподіл  $I_{45}(m \times n)$

- Повертаємо площину пропускання поляризатора на кут  $\Theta=135^\circ$  і вимірюємо координатний розподіл значень інтенсивності  $I_{135}(m \times n)$

- Обчислюємо третій  $S_3$  параметр вектора Стокса

$$S_3 = I_{45} - I_{135} \quad (5)$$

- Для вимірювання четвертого параметра вектора Стокса  $S_4$  встановлюємо чвертьхвильову пластинку 8 (рис. 1); орієнтуємо її вісь найбільшої швидкості під кутом  $0^\circ$ ; площину пропускання поляризатора 9 орієнтуємо під кутом  $\Theta=45^\circ$  та вимірюємо координатний розподіл значень інтенсивності правоциркулярно поляризованого випромінювання  $I_{\oplus}(m \times n)$

- Орієнтуємо площину пропускання поляризатора відносно напрямку осі найбільшої швидкості чвертьхвильової пластинки під кутом  $\Theta=135^\circ$  і вимірюємо розподіл значень інтенсивності лівоциркулярно поляризованого випромінювання  $I_{\ominus}(m \times n)$

- Визначаємо координатний розподіл 4-го параметра

$$S_4 = I_{\oplus} - I_{\ominus} \quad (6)$$

Одержавши двомірні розподіли значень параметрів вектора Стокса  $S_{i=1;2;3;4}(m \times n)$ , розраховуються координатні розподіли значень еліптичності  $\beta$  поляризації зображення досліджуваного шару ліквору за наступним співвідношенням:

$$\beta(m \times n) = 0,5 \arcsin \frac{S_4(m \times n)}{S_1(m \times n)} \quad (7)$$

На серії рис. 2 і рис. 3 наведено приклади результатів часового поляризаційного картографування значень еліптичності зображень ліквору за умов просторово-частотної фільтрації з метою виділення оптичних проявів великомасштабної складової двоприменезаломлюючих полікристалічних мереж.

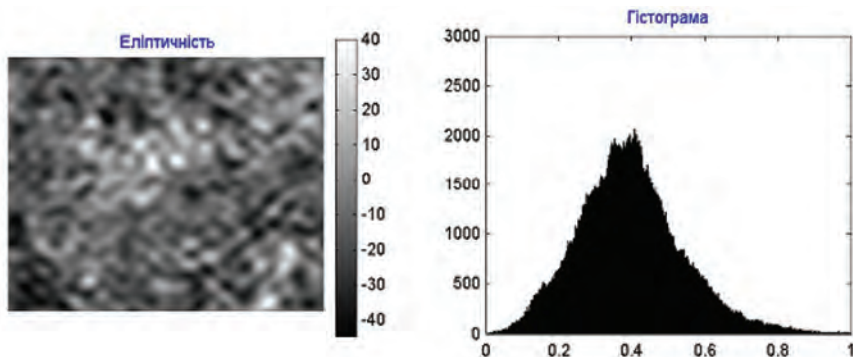


Рис. 2. Координатна структура (ліва частина) та гістограма розподілу (права частина) випадкових значень ЕП зображення великомасштабної складової ППЛ. ДНС 1 год.

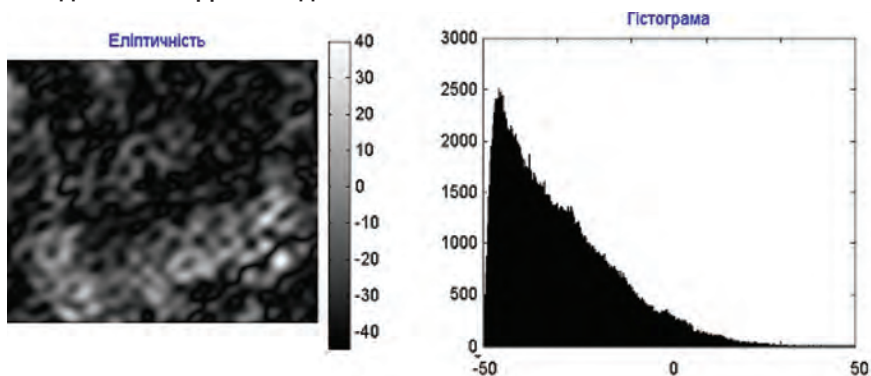


Рис. 3. Координатна структура (ліва частина) та гістограма розподілу (права частина) випадкових значень ЕП зображення великомасштабної складової ППЛ. ДНС 12 год.

Поляризаційні мапи еліптичності, одержані у розташуванні сток-поляриметра з просторово-частотною фільтрацією поляризаційно-неоднорідних зображень ППЛ являють собою сукупності просторово-орієнтованих поляризаційних доменів, сформованих голчастими мережами. У різні часи вимірювання після настання смерті кількість та розміри доменів ЕП суттєво зменшуються (рис. 2 і рис. 3, ліві частини).

Об'єктивно даний процес помертної деградації високомолекулярних полікристалічних сполук ілюструють значні зміни (зменшення у 5 разів) розкиду випадкових значень ЕП у гістограмах розподілу цього параметру (рис. 2, рис. 3, праві частини).

Описаний процес помертної деградації двопроменезаломлюючих високомолекулярних мереж у межах статистичного підходу супроводжується зменшенням середнього та дисперсії, що характеризують розподіли

випадкових значень ЕП зображень ППЛ зі збільшенням часу спостереження після настання смерті. Статистичні моменти вищих порядків (асиметрія та ексцес) таких мап еліптичності поляризаційно-неоднорідних зображень, навпаки, повинні зростати.

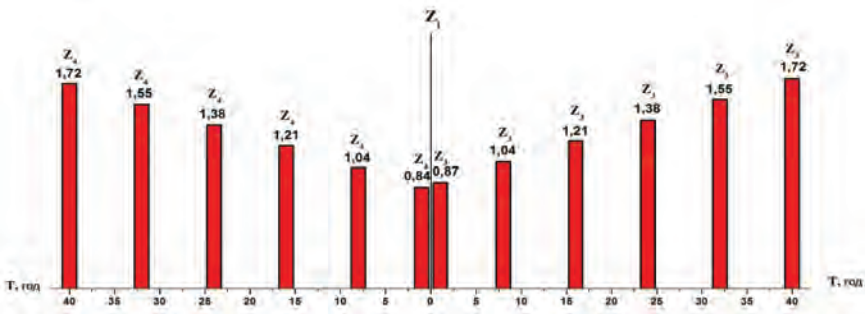
Експериментально встановлено, що найбільш динамічно змінюються значення статистичних моментів 3-го і 4-го порядків, які характеризують асиметрію та ексцес (гостроту піку) розподілу випадкових значень ЕП зображень ППЛ.

Статистична обробка даних у межах репрезентативної вибірки зразків величини статистичних моментів 1 – 4-го порядків, які характеризують координатні розподіли значень ЕП великомасштабної складової зображень полікристалічних голчастих мереж альбуміну, фібрину плівки ліквору протягом 30 годин після настання смерті представлені у таблиці 1 та рис. 4.

Таблиця 1

**Часові залежності величини статистичних моментів 3-го та 4-го порядків, які характеризують розподіли значень ЕП зображення великомасштабної складової ППЛ трупа людини**

$T, \text{ год.}$	1	8	16	24	32	40
$Z_3$	$0,87 \pm 0,06$	$1,04 \pm 0,06$	$1,21 \pm 0,07$	$1,38 \pm 0,09$	$1,55 \pm 0,12$	$1,72 \pm 0,13$
$Z_4$	$0,83 \pm 0,05$	$0,99 \pm 0,06$	$1,17 \pm 0,07$	$1,34 \pm 0,08$	$1,51 \pm 0,08$	$1,68 \pm 0,10$



**Рис. 4. Часові залежності величини статистичних моментів 3-го – 4-го порядків, які характеризують розподіли значень ЕП зображення великомасштабної складової ППЛ трупа людини**

Часовий моніторинг посмертної зміни статистичної структури розподілів значень ЕП, сформованих великомасштабними полікристалічними білковими мережами ППЛ, виявив діапазони зміни значень статистичного моменту 3-го порядку (складає 2,04 рази) і статистичного моменту 4-го порядку (складає 2,1 рази).

На серії рис. 5 і рис. 6 приведені двомірні мапи еліптичності (ліві частини) та гістограми розподілу значень даного параметру (праві частини) одержані шляхом застосування високочастотної просторово-частотної фільтрації,

## СУДОВА МЕДИЦИНА

яка забезпечує безпосередній статистичний аналіз оптичних проявів дрібномасштабних двопроменезаломлюючих молекулярних структур

Одержані дані несуть додаткову інформацію про посмертні біохімічні зміни ліквору на середньо молекулярному рівні його полікристалічної структури для пізніх часів трупних змін. Тому, виходячи з цього, чутливість визначення ДНС за таких умов повинна бути на максимально широкому інтервалі для сукупності методик двовірного стокс-поляриметричного картографування зразків ліквору.

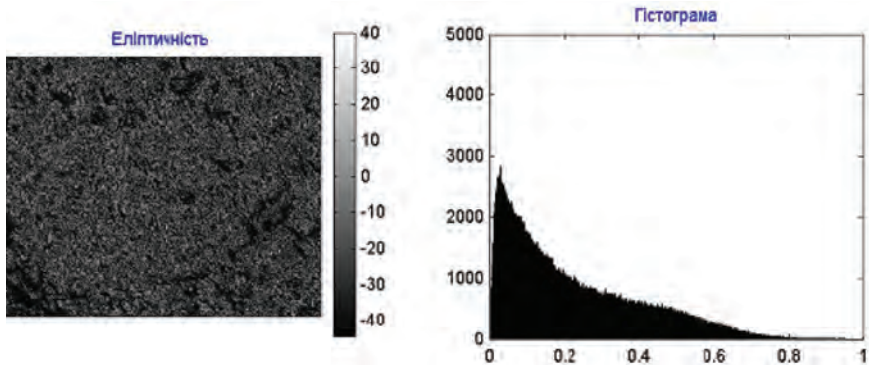


Рис. 5. Координатна структура (ліва частина) та гістограма розподілу (права частина) випадкових значень ЕП зображення дрібномасштабної складової ППЛ. ДНС 1 год.

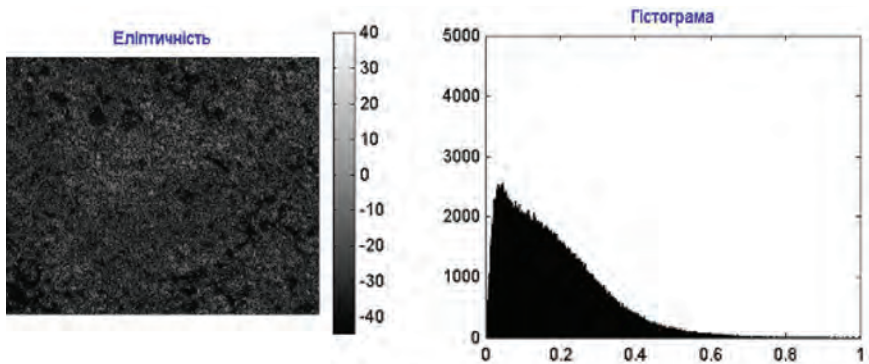


Рис. 6. Координатна структура (ліва частина) та гістограма розподілу (права частина) випадкових значень ЕП зображення дрібномасштабної складової ППЛ. ДНС 12 год.

Порівняльний аналіз даних двовірного стокс-поляриметричного картографування з високочастотною просторово-частотною фільтрацією поляризаційно-неоднорідних зображень ППЛ виявив достатньо повільні зміни двопроменезаломлення дрібномасштабних полікристалічних мереж у різні часи спостереження після настання смерті (рис. 5 і рис. 6, ліві



частини). Як видно поляризаційні мапи двопронезаломлюючих середньо молекулярних сполук суттєво не змінюються із збільшенням ДНС на протязі перших 6 годин після настання смерті.

У таблиці 2 представлені результати обчислень величини статистичних моментів 1 – 4-го порядків, які характеризують координатні розподіли значень ЕП дрібномасштабної складової зображень полікристалічних мереж альбуміну, фібрину плівок ліквору протягом 30 годин після настання смерті.

Таблиця 2

**Часові залежності величини статистичних моментів 3-го та 4-го порядків, які характеризують розподіли значень ЕП зображення дрібномасштабної складової ППЛ трупа людини**

$T, \text{ год.}$	1	4	6	8	14	20
$Z_3$	0,88±0,063	1,05±0,097	1,22±0,1	1,39±0,11	1,56±0,12	1,73±0,14
$Z_4$	0,92±0,07	1,09±0,08	1,26±0,11	1,43±0,11	1,6±0,13	1,77±0,13

Установлено, що найбільш виразно та динамічно часові зміни координатної структури високочастотних поляризаційних мап еліптичності зображень двопронезаломлюючих складових полікристалічних мереж плівок ліквору виявляються у зміни значень статистичного моменту 3-го порядку (складає 1,92 рази); діапазон зміни значень статистичного моменту 4-го порядку (складає 1,99 рази).

З аналізу модельної схеми, що наведена на рис. 7, можна одержати наступні співвідношення для визначення ДНС:

$$\text{tg}\xi = \frac{Z_1^{(1)} - Z_1^{(11)}}{T_2 - T_1} = \frac{\Delta Z_1^{(1,2)}}{\Delta T_{12}} \quad (8)$$

Використовуючи співвідношення (8), одержимо вираз для визначення ДНС:

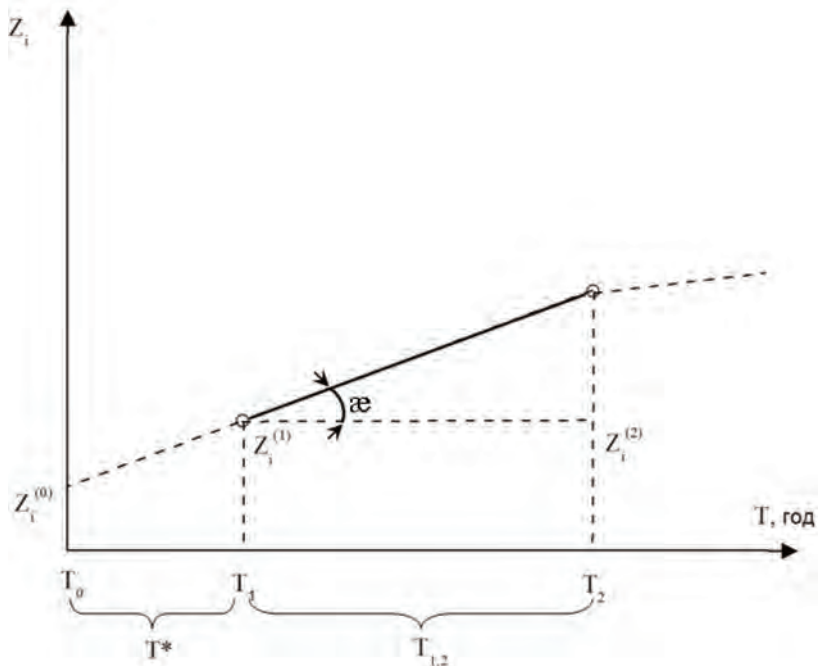
$$T^* = Z_1^{(0)} \frac{\Delta T_{12}}{\Delta Z_1^{(1,2)}} \quad (9)$$

Тут  $Z_1^{(0)}$  - значення об'єктивного параметру, визначене шляхом прижиттєвого забору ліквору у добровольця (таблиця 2).

Таблиця 3

**Статистичні моменти 3-го і 4-го порядків, які характеризують мапи ЕП зображень прижиттєво одержаних ППЛ**

$Z_1^0$	$\beta^*$	$\beta^{**}$
$Z_3^0$	0,49±0,036	0,38±0,028
$Z_4^0$	0,54±0,042	0,29±0,021



**Рис. 7.** До аналізу алгоритму аналітичного визначення ДНС

Примітка: тут:  $T_1$  - час початку вимірювань показника  $Z_i(1)$ ;  $T_2$  - час завершення вимірювань показника  $Z_i(2)$  на етапі "стабілізації" зміни його величини ( $Z_i(2)(T) \approx \text{const}$ );  $T_0$  - час настання смерті;  $\xi$  - кут нахилу інформаційної залежності  $Z_i(T)$ .

Установлені наступні інтервали і точність визначення ДНС приведені у таблиці 4.

Таблиця 4

**Інтервали та точність визначення ДНС методом картографування ЕП зображень ППЛ**

Параметри	Інтервал визначення ДНС, $T$	Точність визначення ДНС, $\Delta T$
Розподіл еліптичності поляризації великомасштабної складової мікроскопічного зображення	40 год.	90 хв.
Розподіл еліптичності поляризації дрібномасштабної складової мікроскопічного зображення	20 год.	45 хв.

**Висновки.** Апробовано методику двомірного стокс-поляриметричного картографування розподілів еліптичності поляризації з просторово-частотною фільтрацією зображень плівок ліквору у часовому моніторингу посмертних змін оптичних проявів полікристалічних мереж з метою визначення давності настання смерті. Досліджено динаміку посмертних змін величини статистичних моментів 1 – 4-го порядків, які характеризують розподіли значень еліптичності поляризації різномасштабних складових зображень полікрис-талічних плівок. Виявлено найбільш чутливі до посмертних змін оптичних проявів полікристалічних мереж ліквору – статистичні моменти 3-го і 4-го порядків, які характеризують асиметрію та ексцес (гостроту піку) розподілів значень еліптичності поляризації різномасштабних складових зображень полікристалічних плівок ліквору. Установлено інтервал  $T=40$  год. і точність визначення ДНС  $\Delta T=90$  хв. методом двомірного стокс-поляриметричного картографування розподілів еліптичності поляризації великомасштабної складової зображень плівок ліквору. Установлено інтервал  $T=20$  год. і точність визначення ДНС  $\Delta T=45$  хв. методом двомірного стокс-поляриметричного картографування розподілів еліптичності поляризації дрібномасштабної складової зображень плівок ліквору.

**Перспектива подальших досліджень.** Отримані нами в результаті проведених досліджень дані в значній мірі розширюють існуючі уявлення про динаміку посмертних змін біологічних рідин, і можуть бути використані в практиці бюро судово-медичної експертизи з метою об'єктивного визначення ДНС. Доцільними є подальші дослідження з метою підвищення точності визначення часу, що минув після смерті.

#### Література

1. Бачинський В. Т. Визначення давності настання смерті та часу утворення гематом методами лазерної спектроскопічної поляриметрії / В. Т. Бачинський, Б. В. Михайличенко, В. Д. Мішалов, О. Г. Ушенко. – Чернівці: Прут, 2011. – 325 с. : іл., табл. – Бібліогр.: С. 308-325.
2. Ванчуляк О. Я. Поляризаційно-кореляційний аналіз динаміки зміни мікроструктури м'язової тканини / О. Я. Ванчуляк, О. Г. Ушенко, В. Т. Бачинський // Клінічна та експериментальна патологія. – 2002. – Т. 1, № 1. – С. 69-74.
3. Ванчуляк О. Я. Поляризаційна візуалізація та аналіз пошкоджені архі-тектоніки біотканин / О. Я. Ванчуляк // Укр. судово-мед. вісник. -2004. -№1. – С. 36-38.
4. Ермаков А. В. Изменения уровня среднемолекулярных соединений в ликворе в зависимости от времени наступления смерти / А. В. Ермаков // Проблемы экспертизы в медицине. – 2004. – № 4(16). – Т. 4. Ижевск. – С. 25 – 26.
5. Finehout E. J. Proteomic analysis of cerebrospinal fluid changes related to postmortem interval / E. J. Finehout, Z. Franck, N. Relkin [ et al. ] // Clin Chem. - 2006. - Vol. 52. № 10. — P. 1906-1913.
6. Mueller-matrix diagnostics of optical properties inherent to polycrystalline networks of human blood plasma / Yu. A. Ushenko, A. V. Olar, A. V. Dubolazov [ et al. ] // Semicond. Physics, Quantum Electronics & Optoelectr. - 2011. - № 14(1). – С. 98-105.
7. Phase-polarizing investigation of biotissue fractal structure / A. G. Ushenko, D. M. Burkovets, S. V. Yermolenko [ et al. ] // Proc. SPIE. -1999. – Vol. 3904. – P. 549-552.
8. Statistical and Fractal Processing of Phase Images of Human Biological Fluids / Yu. O. Ushenko, Yu. Ya. Tomka, Yu. I. Marchuk, V. O. Balanetcka // Advances in Electrical and Computer Engineering. - 2010. - Vol. 10. - № 4. - P. 161-166.

9. Ushenko V.O. Polarization correlometry of polycrystalline films of human liquids in problems of forensic medicine / V. O. Ushenko, O. V. Olar, Yu. O. Ushenko, M. P. Gorsky, I. V. Soltys // Proc. SPIE 9809, Twelfth International Conference on Correlation Optics, 98091B (November 30, 2015), doi:10.1117/12.2228997.

*М.С.Гараздюк*

## **Определение давности наступления смерти по методу пространственно-частотной фильтрации поляризационно-неоднородных изображений поликристаллических пленок ликвора**

**Высшее государственное учебное заведение Украины «Буковинский государственный медицинский университет», г. Черновцы**

**Вступление.** Определение давности наступления смерти (ДНС) было и остается одним из главных проблемных вопросов судебно-медицинской практики. Перспективными в этом направлении являются оптические методы диагностики структуры биологических тканей (БТ) с использованием комплекса фотометрических, поляризационных и корреляционных методик.

**Цель.** Работа направлена на разработку и апробацию метода двумерного стокс-поляриметрического картографирования биологических слоев с целью установления интервала и точности определения ДНС путем статистического анализа динамики посмертных изменений координатных распределений значений эллиптичности поляризации (ЭП) пространственно-частотно отфильтрованных изображений поликристаллических пленок ликвора (ППЛ).

**Материал и методы.** Объектом исследования являются ППЛ, полученные у 69 трупов (основная группа исследования) с предварительно известным временем наступления смерти, причиной которой была сердечно-сосудистая патология, и 20 здоровых добровольцев (группа контроля). Для каждого образца ППЛ в оптическом расположении стокс-поляриметра по методике измерения двумерных распределений параметров вектора Стокса определялись координатные распределения значений ЭП изображения, проводилось вычисление величин статистических моментов 1 - 4-го порядков и статистическая обработка измеренной совокупности значений. Строились временные зависимости изменения величины наиболее чувствительных статистических моментов до достижения стабилизации значений.

**Результаты и выводы.** Апробирована методика двумерного стокс-поляриметрического картографирования распределений ЭП пространственно-частотно отфильтрованных изображений ППЛ во временном мониторинге посмертных изменений оптических проявлений поликристаллических сетей с целью определения ДНС. Исследована динамика посмертных изменений величины статистических моментов 1 - 4-го порядков, характеризующих распределения значений ЭП изображений ППЛ и обнаружено, что наиболее чувствительными являются статистические моменты 3-го и 4-го порядков, характеризующие асимметрию и эксцесс распределений значений ЭП изображений ППЛ. Динамические изменения лазерных характеристик ППЛ показали эффективность данного метода для диагностики ДНС, поэтому мы продолжим данные исследования с целью определения наиболее эффективных оптических критериев для внедрения метода в практику бюро судебно-медицинских экспертиз.

**Ключевые слова:** давность наступления смерти, ликвор, лазерная поляриметрия.

---

*M.S. Garazdiuk*

## **Post-mortem interval estimation using the cerebro-spinal fluid films inhomogeneous polarization images spatial-frequency filtering method**

**Higher State Educational Establishment of Ukraine “Bukovinian State Medical University”**

**Introduction.** Post-mortem interval estimation is one of the most important issues of forensic practice. Non-invasive optical diagnostic methods (photometric, polarization and correlation techniques) of biological tissue structure assessment are the most perspective in this area.

**The purpose.** Development and testing of the two-dimensional Stokes-polarimetric mapping of biological layers method to evaluate accuracy of the post-mortem interval (PMI) assessment using statistical analysis of postmortem changes dynamics of the coordinate distributions values of polycrystalline films of liquor (PFL) images polarization ellipticity (PE).

**Materials and methods.** Objects of investigation are PFL, taken in 29 corpses with accurately known time of death and 6 healthy volunteers. Coordinate distributions of PE image values were estimated for each sample of PFL in the optical arrangement of the Stokes polarimeter using the method of two-dimensional distributions of Stokes-parameters measurement. The value of statistical points of the 1 - 4 th order was performed for each two-dimensional distribution of PFL images PE values. Statistical processing of the calculated values of set of points that characterize the PE distributions within representative sampling was carry out. The depending on the time change of the most sensitive points of statistical values were built to achieve values stabilization.

**Results and conclusions.** Two-dimensional Stokes-polarimetric mapping distributions PE of PFL images may be used in estimation of the PMI. Statistical points of the 3rd and the 4th order are the most sensitive PFL optical values to evaluate postmortem changes. They characterize PFL images PE values asymmetry and kurtosis distribution. Dynamic changes of PFL laser have demonstrated the effectiveness of this method to determine PMI.

**Key words:** post – mortem interval, cerebro-spinal fluid, laser polarimetry.

### ***Відомості про авторів:***

**Гараздіук Марта Славівна** - асистент кафедри судової медицини та медичного правознавства ВДНЗ України «Буковинський державний медичний університет», судово-медичний експерт комунальної медичної установи “Чернівецьке обласне бюро судово-медичної експертизи” Департаменту охорони здоров'я Чернівецької обласної державної адміністрації. Адреса: 58000, Україна, м. Чернівці, вул. Кишинівська, 2.