

СУДОВО-МЕДИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ДАВНОСТІ УТВОРЕННЯ УШКОДЖЕНЬ ВНУТРІШНІХ ОРГАНІВ ЛЮДИНИ МЕТОДОМ РЕКОНСТРУКЦІЇ ОПТИЧНОЇ АКТИВНОСТІ ГІСТОЛОГІЧНИХ ЗРІЗІВ

О.Ю. Литвиненко, О.Я. Ванчуляк

Буковинський державний медичний університет, м. Чернівці, Україна

Ключові слова: судова медицина, давність утворення ушкодження, поляризаційно-цифрова гістологія, азимут поляризації.

Буковинський медичний вісник. 2022. Т. 26, № 3 (103). С. 52-60.

DOI: 10.24061/2413-0737.XXVI.3.103.2022.9

E-mail:
sawasawa901@gmail.com
wanchulyak@gmail.com

Резюме. Мета. Розроблення судово-медичної методики визначення давності ушкодження внутрішніх органів людини цифровими методами поляризаційної реконструкції циркулярного двоприменезаломлення молекулярних комплексів.

Матеріал і методи. Об'єктом дослідження були гістологічні зразки внутрішніх органів людини (мозок, нирка та печінка) з різною давністю ушкодження від 1-ї до 120-ї години. Для контролю використовували зразки біологічних тканин померлих від ішемічної хвороби серця з різною давністю ушкодження від 1-ї до 120-ї години. Дослідження проводили використовуючи методику поляризаційної реконструкції циркулярного двоприменезаломлення молекулярних комплексів.

Результати. Визначено набір діагностично-актуальних взаємозв'язків між часовими змінами статистичної структури топографічних мап циркулярного двоприменезаломлення оптично активних молекулярних комплексів гістологічних зрізів внутрішніх органів людини з різною давністю ушкодження та варіаціями величини середнього, дисперсії, асиметрії та ексцесу, які характеризують розподіли величини даного параметра анізотропії.

Висновки. Розроблено новий оригінальний метод томографії оптичної активності молекулярних комплексів тканин внутрішніх органів людини у цифровому гістологічному дослідженні давності ушкодження тканин мозку, печінки та нирки, а також міокарда і легеневої тканини на часовому інтервалі від 1-ї до 120-ї години.

FORENSIC DETERMINATION OF THE TIME OF FORMATION OF DAMAGE TO INTERNAL HUMAN ORGANS USING THE METHOD OF RECONSTRUCTING THE OPTICAL ACTIVITY OF HISTOLOGICAL SECTIONS

O.Y. Lytvynenko, O.Y. Vanchulyak

Key words: forensic medicine, time of damage formation, polarization-digital histology, polarization azimuth.

Bukovinian Medical Herald.

2022. V. 26, № 3 (103). P. 52-60.

Resume. Purpose of work. Development of a technique for determining the time of formation of damage to human internal organs by digital histological methods of polarization reconstruction of circular birefringence of molecular complexes.

Materials and methods. The object of the study was the histology of samples of human internal organs (brain, kidney and liver) with different duration of damage from 1 to 120 hours. For control, we used biological tissue samples of those who died from coronary heart disease with different duration of damage from 1 to 120 hours. The studies were carried out using the technique of polarization reconstruction of circular birefringence of molecular complexes.

Results. A set of diagnostically relevant relationships between temporal changes in the statistical structure of topographic maps of circular birefringence of optically active molecular complexes of histological sections of human internal organs with different duration of damage and variations in the mean value, dispersion, asymmetry and excess, characterizing the distribution of the value of this parameter of anisotropy, has been determined.

Conclusions. A new original method has been developed for tomography of the optical activity of molecular complexes of tissues of human internal organs in a digital histological study of the age of damage to the tissues of the brain, liver and kidney, as well as the myocardium and lung tissue at a time interval of 1 up to 120 hours.

Вступ. У статті наведено результати експериментальної апробації методики томографічної реконструкції мап циркулярного двопронезаломлення молекулярних комплексів у цифровому гістологічному дослідженні давності ушкодження тканин внутрішніх органів (мозку, печінки та нирки); часового моніторингу величини середнього, дисперсії, асиметрії та ексцесу, які характеризують розподіли величини оптичної активності гістологічних зрізів мозку, печінки та нирки; виявлення часової тривалості лінійної зміни статистичних параметрів і точності судово-медичного визначення давності ушкодження внутрішніх органів людини цифровими гістологічними методами поляризаційної реконструкції (томографії) циркулярного двопронезаломлення молекулярних комплексів.

Серед чисельних напрямків оптичної діагностики біологічних тканин (БТ) важливе місце посідає Мюллер-матрична поляриметрія (ММП) [1-6]. Даний метод дає виключно повну інформацію про поляризаційні прояви оптичних властивостей БТ. Новим рівнем ММП оптично-тонких, недеполяризуючих біологічних шарів стало розроблення методик

відтворення розподілів параметрів фазової та амплітудної анізотропії [8-18].

Наша стаття спрямована на судово-медичну апробацію методики поляризаційної реконструкції (томографії) полікристалічної структури гістологічних зрізів БТ у визначенні давності утворення ушкоджень внутрішніх органів людини.

Мета роботи. Актуальним є розроблення та апробація нових судово-медичних методик визначення давності ушкодження внутрішніх органів людини цифровими гістологічними методами поляризаційної реконструкції циркулярного двопронезаломлення молекулярних комплексів.

Матеріал і методи

1. Дизайн методу поляризаційної томографії полікристалічної структури гістологічних зрізів БТ внутрішніх органів людини

Дизайн поляризаційної томографії полікристалічної структури гістологічних зрізів БТ внутрішніх органів людини ілюструє структурно-логічна схема, що наведена на рисунку 1.

2. Характеристика об'єктів дослідження

Сформовано наступні групи (контрольна з

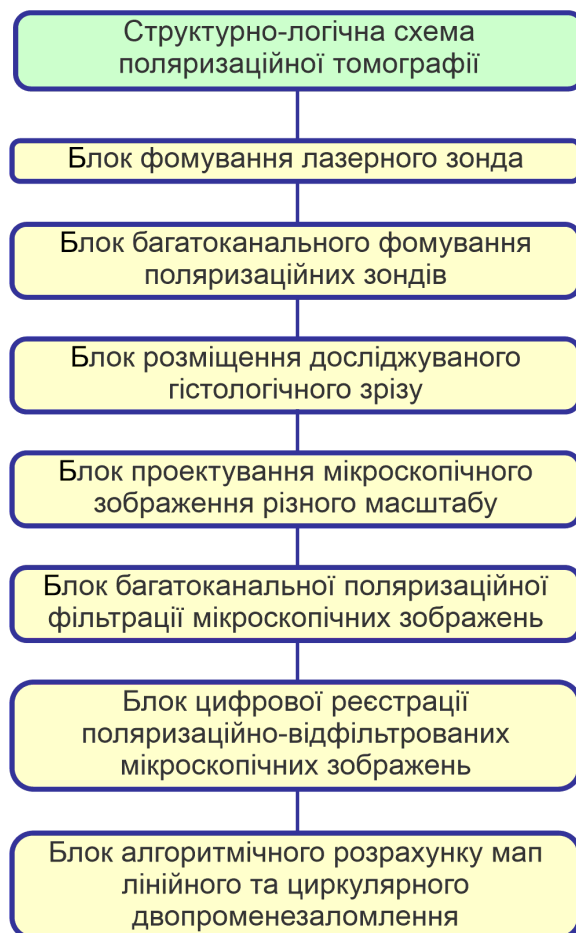


Рис. 1. Структурно-логічна схема поляризаційної реконструкції параметрів полікристалічної складової гістологічних зрізів біологічних тканин внутрішніх органів людини

Оригінальні дослідження

померлих від ішемічної хвороби серця (ІХС) і дослідні з різною давністю ушкодження) дослідних зразків гістологічних зрізів внутрішніх органів (міокарда і легеневої тканини) людини.

3. Статистичний аналіз даних цифрової поляризаційної гістології

Статистичний аналіз даних цифрової поляризаційної гістології виконувався з використанням програмного продукту MATLAB 6 за алгоритмом:

- введення масиву даних про координатні розподіли величини азимута і еліптичності;

Таблиця 1

Групи дослідних зразків гістологічних зрізів внутрішніх органів

Внутрішній орган	Групи									
	Контрольна	Дослідні з різною давністю ушкодження, год								
Мозок, нирка, печінка	Померлі від ІХС (21)	1	6	12	18	24	48	72	96	120
		21	21	21	21	21	21	21	21	21

- визначення гистограми розподілу – оператор HIST;
- розрахунок статистичних моментів 1– 4-го порядків – оператор STAT;
- середнє розподілу – характеризує середнє значення величини діагностичного параметра;
- дисперсія розподілу – характеризує середньоквадратичний розкид величини діагностичного параметра;
- асиметрія розподілу – характеризує відхилення від нормального розподілу випадкової величини;
- ексцес розподілу – характеризує ступінь гостроти “піка” розподілу випадкової величини.

4. Алгоритм визначення давності утворення ушкоджень внутрішніх органів людини

В основу розроблення алгоритму визначення давності утворення ушкоджень внутрішніх органів людини ми поклали результати по визначенню давності настання смерті (ДНС), які були одержані науковою групою під керівництвом проф. Бачинського В.Т. (Буковинський державний медичний університет) [21].

Головною парадигмою даних методик є часовий моніторинг зміни статистичних параметрів, які характеризують некротичні зміни морфологічної структури БТ у постмортальному періоді.

Критерієм виявлення інтервалу визначення ДНС є часовий інтервал неперервної лінійної зміни величини статистичних моментів 1 - 4-го моментів, які характеризують розподіли поляризаційних параметрів мікроскопічних зображень зі збільшенням 4x, що забезпечує аналіз морфологічної структури різноманітних БТ.

Розроблений підхід став базисом нашого узагальнення на випадок визначення давності ушкодження внутрішніх органів людини на різних оптичних збільшеннях від 4x до 40x, а також з використанням азимутально-стабільних поляризаційних мап гістологічних зрізів досліджуваних тканин.

Установлені такі співвідношення для визначення

давності (часу τ^*) ушкодження внутрішніх органів людини з точністю $\Delta\tau^*$

$$\tau^* = \left(SM_i^{(1)} - SM_i^{(0)} \right) \frac{\tau_2 - \tau_1}{SM_i^{(2)} - SM_i^{(1)}}; \quad (1)$$

Тут $SM_i^{(0)}$ - величина статистичного моменту, яке обчислене для поляризаційної, Мюллер-матричної або томографічної мапи гістологічного зрізу неушкодженої тканини внутрішнього органа.

τ_1 - час початку вимірювань величини статистичних моментів 1 – 4-го порядків $SM_i^{(1)}$;

τ_2 - час завершення лінійної зміни величини статистичних моментів 1 – 4-го порядків $SM_i^{(2)}$;

τ_0 - невідомий час виникнення ушкодження;

Результати дослідження та їх обговорення

1. Диференційна цифрова гістологічна діагностика давності утворення ушкоджень мозку людини методом томографії циркулярного двопронезаломлення

Подальше розширення функціональних можливостей та довготривалої діагностичної чутливості цифрової гістологічної методики поляризаційної томографії визначення давності ушкоджень внутрішніх органів людини забезпечило використання великомасштабного (40x) поляризаційно-томографічного відтворення оптичної активності зразків тканини мозку контрольної та сукупності дослідних вибірок зразків (рис. 2, табл. 2). Установлено наступні характеристики цифрового гістологічного статистичного моніторингу зміни величини середнього, дисперсії, асиметрії та ексцесу, які характеризують координатні великомасштабні мапи топографічної структури оптичної активності речовини репрезентативних вибірок зразків тканини мозку з контрольної та сукупності дослідних груп:

- статистичні моменти 1-го (середнє) і 2-го

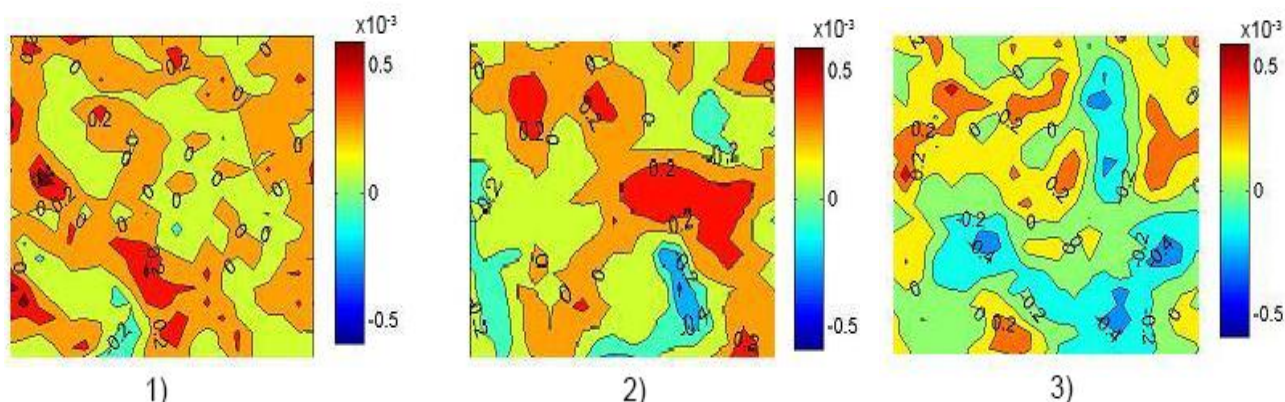


Рис. 2. Мани розподілів величини циркулярного двопронезаломлення ($\times 40$) гістологічних зрізів мозку померлих з контрольної групи (1), дослідних груп з різною давністю ушкодження (6 год - (2)) і (18 год - (3))

Таблиця 2

Часова динаміка зміни статистичних моментів 1-4-го порядків, які характеризують розподіли величини циркулярного двопронезаломлення ($40\times$) гістологічних зрізів мозку

T , год	2	4	6	12	18
$SM_1 \times 10^{-3}$	$0,97 \pm 0,041$	$0,84 \pm 0,032$	$0,71 \pm 0,029$	$0,57 \pm 0,022$	$0,43 \pm 0,019$
p	$p < 0,05$				
$SM_2 \times 10^{-3}$	$0,84 \pm 0,031$	$0,78 \pm 0,026$	$0,72 \pm 0,022$	$0,61 \pm 0,021$	$0,49 \pm 0,018$
p	$p < 0,05$				
SM_3	$0,57 \pm 0,021$	$0,73 \pm 0,031$	$0,92 \pm 0,037$	$1,31 \pm 0,052$	$1,69 \pm 0,068$
p	$p < 0,05$				
SM_4	$0,65 \pm 0,026$	$0,89 \pm 0,037$	$1,38 \pm 0,049$	$1,81 \pm 0,073$	$2,34 \pm 0,099$
p	$p < 0,05$				
T , год.	24	48	72	96	120
$SM_1 \times 10^{-3}$	$0,19 \pm 0,008$	$0,07 \pm 0,003$	$0,02 \pm 0,001$	$0,03 \pm 0,002$	$0,02 \pm 0,001$
p	$p < 0,05$			$p > 0,05$	
$SM_2 \times 10^{-3}$	$0,37 \pm 0,015$	$0,25 \pm 0,013$	$0,13 \pm 0,005$	$0,14 \pm 0,009$	$0,13 \pm 0,006$
p	$p < 0,05$			$p > 0,05$	
SM_3	$2,06 \pm 0,105$	$2,44 \pm 0,12$	$2,82 \pm 0,13$	$3,19 \pm 0,14$	$3,58 \pm 0,15$
p	$p < 0,05$				
SM_4	$2,82 \pm 0,13$	$3,36 \pm 0,16$	$3,83 \pm 0,18$	$4,39 \pm 0,21$	$4,84 \pm 0,22$
p	$p < 0,05$				

Оригінальні дослідження

(дисперсія) порядків – два лінійних інтервали 1 – 24 год та 24 – 72 год і діапазони зміни власних значень 1,03 і 0,71, відповідно;

- статистичний момент 3-го порядку (асиметрія) – два лінійних інтервали максимальної часової зміни 1– 24 год та 24 – 120 год і діапазон зміни власних значень 3,01;

- статистичний момент 4-го порядку (ексцес) – два лінійних інтервали максимальної часової зміни 1 – 24 год та 24 - 120 год і діапазон зміни власних значень 4,19.

2. Диференційна цифрова гістологічна діагностика давності утворення ушкоджень печінки людини методом томографії циркулярного двопронезаломлення

Функціональні можливості в плані розширення довготривалості діагностичної чутливості методики цифрової гістологічної поляризаційної томографії

оптичної активності молекулярних комплексів для визначення давності ушкоджень внутрішніх органів людини продемонстровано шляхом застосування великомасштабної (40x) реконструкції топографічних розподілів величини циркулярного двопронезаломлення зразків тканини печінки з контрольної та сукупності дослідних репрезентативних вибірок зразків з наступним аналізом одержаних даних у межах статистичного підходу (рис. 3, табл. 3).

Показано (табл. 3), що використання статистичного аналізу часової динаміки зміни топографічних великомасштабних поляризаційних томограм ступеня циркулярного двопронезаломлення оптично активних молекулярних комплексів зразків гістологічних зрізів печінки забезпечило максимально можливі діапазони (до 120 год) установа давності ушкодження шляхом детектування лінійних інтервалів зміни величини середнього, дисперсії, асиметрії

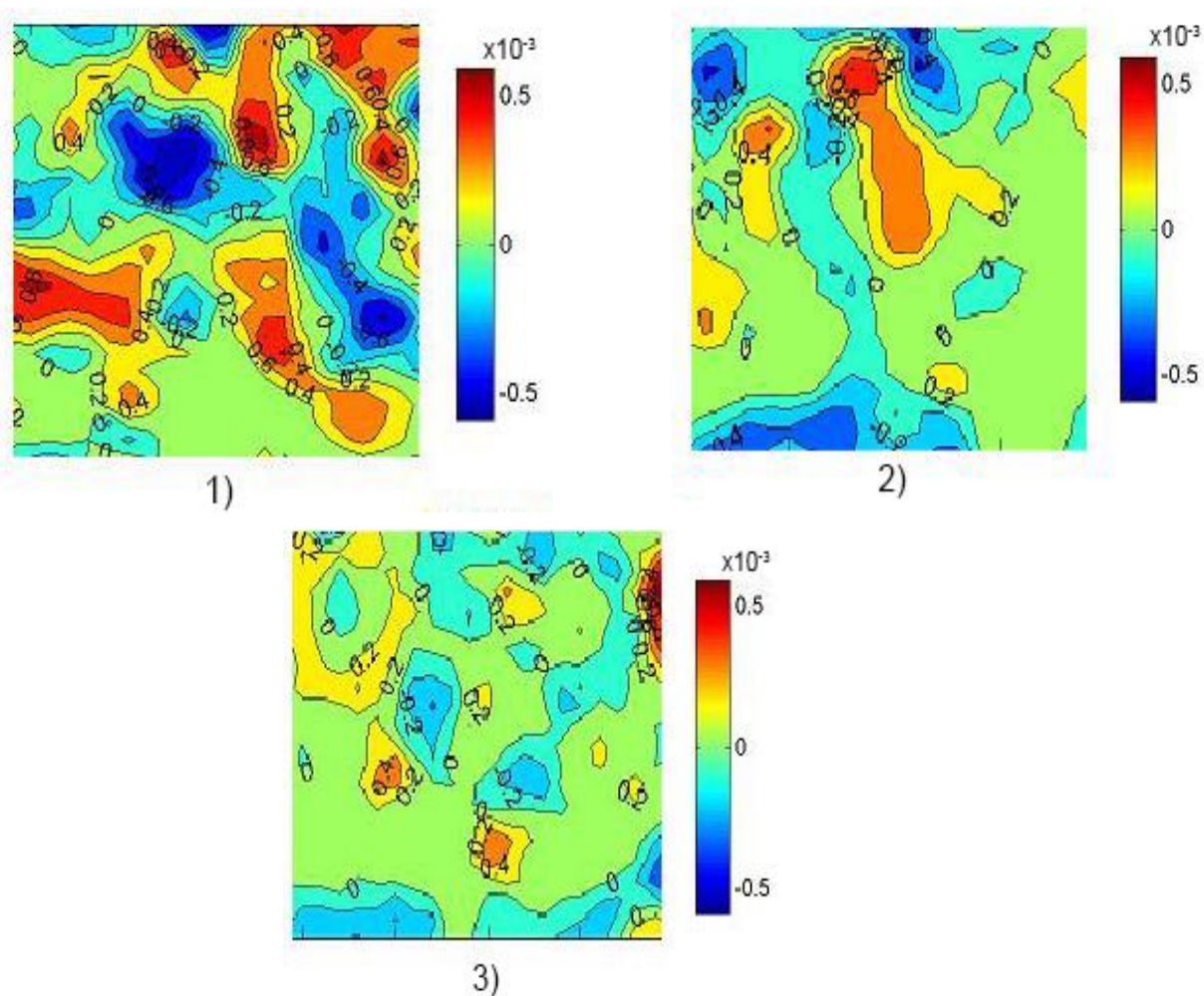


Рис. 3. Мапи розподілів величини циркулярного двопронезаломлення ($\times 40$) гістологічних зрізів печінки померлих з контрольної групи (1), дослідних груп з різною давністю ушкодження (6 год - (2)) і (18 год - (3))

та ексцесу, які характеризують розподіли величини двопронезаломлення репрезентативних вибірок зразків з контрольної та сукупності дослідних груп:

- статистичний момент 1-го порядку, що характеризує середнє розподілу величини циркулярного двопронезаломлення – два лінійних інтервали 1 – 24 год та 24 – 72 год і діапазон зміни власних значень 0,7;

- статистичний момент 2-го порядку, що характеризує дисперсію розкиду випадкової величини оптичної активності – два лінійних інтервали 1 – 24 год та 24 - 72 год і діапазон зміни власних значень 0,57;

- статистичний момент 3-го порядку, що характеризує асиметрію розподілу величини циркулярного двопронезаломлення молекулярних комплексів – два лінійних інтервали 1 – 24 год та 24 – 120 год і діапазон зміни власних значень 5,49;

- статистичний момент 4-го порядку, що характеризує ексцес розподілу величини циркулярного двопронезаломлення – два лінійних інтервали 1 – 24 год та 24 – 120 год і діапазон зміни власних значень 6,46.

3. Диференційна цифрова діагностика давності

утворення ушкоджень нирки людини методом томографії циркулярного двопронезаломлення

- Великомасштабні (40x) томограми оптичної активності гістологічних зрізів нирки з контрольної (фрагмент (1)), та дослідних (фрагменти (2),(3)) груп представлені на рисунку 4.

Статистичний аналіз часової динаміки трансформації топографічної структури великомасштабних поляризаційно-відтворених (алгоритмічно реконструйованих) томограм ступеня циркулярного двопронезаломлення оптично активних молекулярних комплексів зразків гістологічних зрізів нирки забезпечив досягнення як і у випадках цифрового гістологічного дослідження томограм тканин нирки (табл. 4) максимально можливі діапазони (до 120 год) установлення давності ушкодження:

- статистичний момент 1-го порядку (середнє) – два лінійних інтервали 1 – 24 год. та 24 – 72 год і діапазон зміни власних значень 0,7;

- статистичний момент 2-го порядку (дисперсія) – два лінійних інтервали 1 – 24 год та 24 – 72 год і діапазон зміни власних значень 0,57;

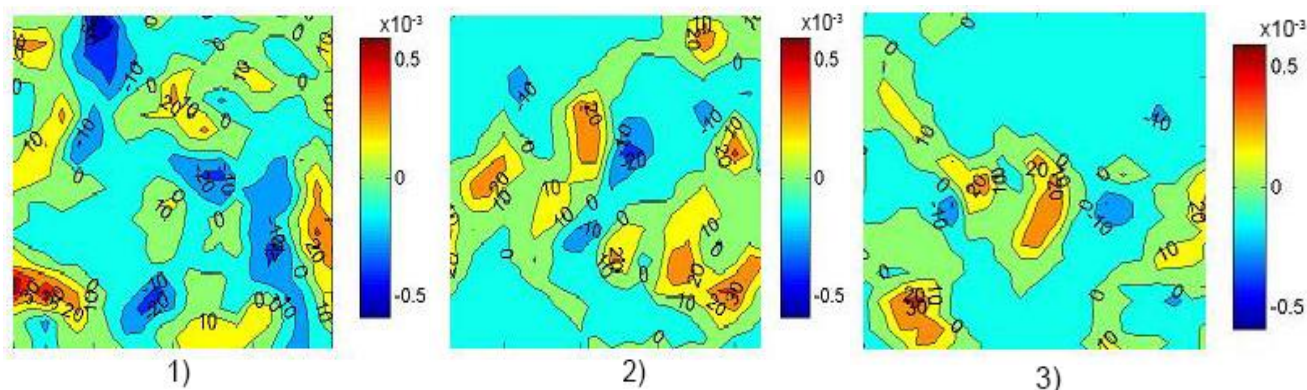
- статистичний момент 3-го порядку (асиметрія)

Таблиця 3

Часова динаміка зміни статистичних моментів 1 – 4-го порядків, які характеризують розподіли величини циркулярного двопронезаломлення (40x) гістологічних зрізів печінки

T , год	2	4	6	12	18
$SM_1 \times 10^{-3}$	$0,72 \pm 0,034$	$0,66 \pm 0,031$	$0,59 \pm 0,023$	$0,45 \pm 0,019$	$0,32 \pm 0,012$
p	$p < 0,05$				
$SM_2 \times 10^{-3}$	$0,59 \pm 0,024$	$0,53 \pm 0,031$	$0,47 \pm 0,019$	$0,35 \pm 0,013$	$0,23 \pm 0,008$
p	$p < 0,05$				
SM_3	$0,83 \pm 0,032$	$1,18 \pm 0,041$	$1,53 \pm 0,057$	$2,23 \pm 0,092$	$2,93 \pm 0,11$
p	$p < 0,05$				
SM_4	$0,95 \pm 0,035$	$1,35 \pm 0,058$	$1,78 \pm 0,067$	$2,53 \pm 0,011$	$3,34 \pm 0,15$
p	$p < 0,05$				
T , год	24	48	72	96	120
$SM_1 \times 10^{-3}$	$0,21 \pm 0,008$	$0,08 \pm 0,004$	$0,02 \pm 0,005$	$0,03 \pm 0,006$	$0,04 \pm 0,005$
p	$p < 0,05$			$p > 0,05$	
$SM_2 \times 10^{-3}$	$0,11 \pm 0,004$	$0,05 \pm 0,013$	$0,02 \pm 0,012$	$0,03 \pm 0,012$	$0,02 \pm 0,012$
p	$p < 0,05$			$p > 0,05$	
SM_3	$3,68 \pm 0,15$	$4,33 \pm 0,18$	$5,04 \pm 0,22$	$5,74 \pm 0,25$	$6,32 \pm 0,28$
p	$p < 0,05$				
SM_4	$4,16 \pm 0,16$	$4,96 \pm 0,22$	$5,76 \pm 0,26$	$6,63 \pm 0,29$	$7,41 \pm 0,34$
p	$p < 0,05$				

Оригінальні дослідження

Рис. 4. Мани розподілів величини циркулярного двопронезаломлення ($\times 40$) гістологічних зрізів нирки

– два лінійних інтервали 1 – 24 год та 24 – 120 год і діапазон зміни власних значень 5,49;

- статистичний момент 4-го порядку (ексцес) – два лінійних інтервали 1– 24 год та 24 –120 год і

діапазон зміни власних значень 6,46.

4. Часові інтервали і точність цифрової гістології методом поляризаційної реконструкції оптичної активності

Таблиця 4

Часова динаміка зміни статистичних моментів 1 – 4-го порядків, які характеризують розподіли величини циркулярного двопронезаломлення ($40\times$) гістологічних зрізів нирки

T , год	2	4	6	12	18
$SM_1 \times 10^{-3}$	$0,79 \pm 0,029$	$0,72 \pm 0,024$	$0,65 \pm 0,022$	$0,51 \pm 0,019$	$0,34 \pm 0,012$
p	$p < 0,05$				
$SM_2 \times 10^{-3}$	$0,68 \pm 0,027$	$0,605 \pm 0,023$	$0,53 \pm 0,019$	$0,39 \pm 0,014$	$0,25 \pm 0,011$
p	$p < 0,05$				
SM_3	$0,67 \pm 0,025$	$1,09 \pm 0,048$	$1,52 \pm 0,067$	$2,41 \pm 0,11$	$3,21 \pm 0,14$
p	$p < 0,05$				
SM_4	$0,77 \pm 0,028$	$1,26 \pm 0,051$	$1,72 \pm 0,073$	$2,68 \pm 0,11$	$3,51 \pm 0,15$
p	$p < 0,05$				
T , год	24	48	72	96	120
$SM_1 \times 10^{-3}$	$0,21 \pm 0,008$	$0,09 \pm 0,003$	$0,02 \pm 0,001$	$0,03 \pm 0,002$	$0,02 \pm 0,001$
p	$p < 0,05$			$p > 0,05$	
$SM_2 \times 10^{-3}$	$0,11 \pm 0,004$	$0,055 \pm 0,002$	$0,03 \pm 0,001$	$0,04 \pm 0,002$	$0,03 \pm 0,002$
p	$p < 0,05$			$p > 0,05$	
SM_3	$4,04 \pm 0,18$	$4,92 \pm 0,21$	$5,71 \pm 0,25$	$6,49 \pm 0,29$	$7,21 \pm 0,32$
p	$p < 0,05$				
SM_4	$4,22 \pm 0,19$	$5,16 \pm 0,22$	$6,03 \pm 0,27$	$6,32 \pm 0,28$	$7,11 \pm 0,31$
p	$p < 0,05$				

Висновки

1. Розроблено новий оригінальний метод томографії оптичної активності молекулярних комплексів тканин внутрішніх органів людини в

судово-медичному цифровому гістологічному дослідженні давності ушкодження тканин мозку, печінки та нирки, а також міокарда і легеневої тканини на часовому інтервалі від 1-ї до 120-ї години.

Таблиця 5
Часові інтервали і точність методу реконструкції оптичної активності гістологічних зрізів внутрішніх органів

Мозок				
Статистичні моменти	Інтервал, год		Точність, хв	
	4х	40х	4х	40х
Середнє	1-24	1-24	35	30
	24-48	24-72	45	35
Дисперсія	1-24	1-24	35	30
	24-48	24-72	45	35
Асиметрія	1-24	1-24	25	15
	24-72	24-120	35	25
Ексцес	1-24	1-24	25	15
	24-72	24-120	35	25
Печінка				
Статистичні моменти	Інтервал		Точність	
	4х	40х	4х	40х
Середнє	1-24	1-24	40	35
	24-48	24-72	50	45
Дисперсія	1-24	1-24	40	35
	24-48	24-72	50	45
Асиметрія	1-24	1-24	30	25
	24-72	24-120	40	35
Ексцес	1-24	1-24	30	25
	24-72	24-120	40	35
Нирка				
Статистичні моменти	Інтервал		Точність	
	4х	40х	4х	40х
Середнє	1-24	1-24	35	30
	24-48	24-72	45	35
Дисперсія	1-24	1-24	35	30
	24-48	24-72	45	35
Асиметрія	1-24	1-24	25	20
	24-72	24-120	35	30
Ексцес	1-24	1-24	25	20
	24-72	24-120	35	30

2. Визначено набір діагностично-актуальних взаємозв'язків між часовими змінами статистичної структури топографічних мап циркулярного двоприменезаломлення оптично активних молекулярних комплексів гістологічних зрізів внутрішніх органів людини з різною давністю ушкодження та варіаціями величини середнього, дисперсії, асиметрії та ексцесу, які характеризують розподіли величини даного параметра анізотропії.

3. Визначено сценарії зміни топографічних томограм оптичної активності залежно від давності ушкодження – зростання даного параметра супроводжується зменшенням величини статистичних моментів 1-го (середнього) і 2-го (дисперсії) порядків, статистичні моменти 3-го (асиметрія) та 4-го (ексцес)

порядків, навпаки, зростають.4.

Установлено набір часових діапазонів лінійної зміни варіацій величини статистичних моментів 1 – 4-го порядків, які характеризують розподіли даних томографічної методики оптичної активності молекулярних комплексів цифрової гістології та точність визначення давності ушкодження внутрішніх органів людини:

4.1. Дрібномасштабні томограми циркулярного двоприменезаломлення (4х):

- ❖ середнє – 48 год, точність 35 – 45 хв;
- ❖ дисперсія – 48 год, точність 35 – 45 хв;
- ❖ асиметрія – 72 год, точність 25 – 35 хв;
- ❖ ексцес – 72 год, точність 25 – 35 хв.

4.2. Великомасштабні томограми циркулярного двоприменезаломлення (40х):

- ❖ середнє – 72 год, точність 30 – 35 хв;
- ❖ дисперсія – 72 год, точність 30 – 35 хв;
- ❖ асиметрія – 120 год, точність 15 – 25 хв;
- ❖ ексцес – 120 год, точність 15 – 25 хв.

Список літератури

1. Tuchin VV. Tissue Optics: Light Scattering Methods and Instruments for Medical Diagnosis. 2nd ed, PM 166. SPIE Press, Bellingham, WA; 2007.
2. He C, He H, Chang J, Chen B, Ma H, Booth MJ. Polarisation optics for biomedical and clinical applications: a review. Light: Science & Applications. 2021;10(1):1-20. DOI: 10.1038/s41377-021-00639-x.
3. Ghosh N, Vitkin AI. Tissue polarimetry: concepts, challenges, applications, and outlook. J Biomed Opt. 2011;16(11):110801. DOI: 10.1117/1.3652896.
4. Ghosh N, Wood M, Vitkin A. Polarized light assessment of complex turbid media such as biological tissues via Mueller matrix decomposition, in Handbook of Photonics for Biomedical Science, Tuchin VV Ed., CRC Press, Taylor & Francis Group, London. 2010; 253-82.
5. Ushenko VO, Trifonyuk L, Ushenko YA, Dubolazov OV, Gorsky MP, Ushenko AG. Polarization singularity analysis of Mueller-matrix invariants of optical anisotropy of biological tissues samples in cancer diagnostics. Journal of Optics. 2021;23(6):064004.
6. 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 Handbook of Photonics for Biomedical Science. London. 2010; 319-58.
7. 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, Springer Science+Business Media, New York. 2013; 107 p.
8. Ushenko VA, Gavrylyak MS. Azimuthally invariant Mueller-matrix mapping of biological tissue in differential diagnosis of mechanisms protein molecules networks an sotropy. In Biosensing and Nanomedicine VI, SPIE. 2013;8812:76-83. DOI: 10.1117/12.2023686.
9. Ushenko VA, Gorsky MP. Complex degree of mutual anisotropy of linear birefringence and optical activity of biological tissues in diagnostics of prostate cancer. Optics and Spectroscopy. 2013;115(2):290-7.

Оригінальні дослідження

DOI: 10.1134/S0030400X13080171.

10. Ushenko VA, Dubolazov AV. Correlation and self similarity structure of polycrystalline network biological layers Mueller matrices images. In Applications of Digital Image Processing XXXVI. 2013;8856:694-9. DOI: 10.1117/12.2023602.

11. Ushenko YA, Ushenko VA, Dubolazov AV, Balanetskaya VO, Zabolotna NI. Mueller-matrix diagnostics of optical properties of polycrystalline networks of human blood plasma. Optics and Spectroscopy. 2012;112(6):884-92. DOI: 10.1134/S0030400X12050232.

12. Ushenko YA, Dubolazov AV, Balanetskaya VO, Karachevtsev AO, Ushenko VA. Wavelet-analysis of polarization maps of human blood plasma. Optics and Spectroscopy. 2012;113(3):332-43. DOI: 10.1134/S0030400X12070260.

13. Ushenko VO. Spatial-frequency polarization phasometry of biological polycrystalline networks. Optical Memory and Neural Networks. 2013;22(1):56-64. DOI: 10.3103/S1060992X13010050.

14. Ushenko VA, Pavlyukovich ND, Trifonyuk L. Spatial-frequency azimuthally stable cartography of biological

polycrystalline networks. International Journal of Optics. 2013. DOI: 10.1155/2013/683174.

15. Ungurian VP, Ivashchuk OI, Ushenko VO. Statistical analysis of polarizing maps of blood plasma laser images for the diagnostics of malignant formations. In Tenth International Conference on Correlation Optics, Proc. SPIE. 2011;8338:454-60. DOI: 10.1117/12.920592.

16. Ushenko VA, Dubolazov OV, Karachevtsev AO. Two wavelength Mueller matrix reconstruction of blood plasma films polycrystalline structure in diagnostics of breast cancer. Applied Optics. 2014;53(10):B128-B139.

17. Prisyazhnyuk VP, Ushenko YA, Dubolazov AV, Ushenko AG, Ushenko VA. Polarization-dependent laser autofluorescence of the polycrystalline networks of blood plasma films in the task of liver pathology differentiation. Applied Optics. 2016;55(12):B126-B132. DOI: 10.1364/AO.55.00B126.

18. Ushenko YA, Bachynsky VT, Vanchulyak OY, Dubolazov AV, Garazdyuk MS, Ushenko VA. Jones-matrix mapping of complex degree of mutual anisotropy of birefringent protein networks during the differentiation of myocardium necrotic changes. Applied Optics. 2016;55(12):B113-B119. DOI: 10.1364/AO.55.00B113.

Відомості про авторів

Литвиненко Олександра Юріївна – аспірант кафедри судової медицини та медичного правознавства Буковинського державного медичного університету, завідувач відділення судово-медичної гістології КМУ «Обласне бюро судово-медичної експертизи» департаменту охорони здоров'я Чернівецької ОДА, м. Чернівці, Україна.

ORCID ID: 0000-0003-3897-6765.

Ванчуляк Олег Ярославович – д-р мед. наук, професор, професор кафедри судової медицини та медичного правознавства Буковинського державного медичного університету, м. Чернівці, Україна.

ORCID ID: 0000-0003-0243-1894.

Information about the authors

Lytvynenko Oleksandra Yuriivna – PhD student of the Department of Forensic Medicine and Medical Law of the Bukovinian State Medical University, Head of the Department of Forensic Medical Histology of the CMI «Regional Bureau of Forensic Medical Examination» of the Department of Health of Chernivtsi Regional State Administration, Chernivtsi, Ukraine

ORCID ID: 0000-0003-3897-6765.

Vanchulyak Oleh Yaroslavovych – Doctor of Medical Sciences, Professor, Professor of the Department of Forensic Medicine and Medical Law of Bukovyna State Medical University.

ORCID ID: 0000-0003-0243-1894.

Надійшла до редакції 06.09.22

Рецензент – проф. Савка І.Г.

© О.Ю. Литвиненко, О.Я. Ванчуляк, 2022