

УДК: 340.66:616.831-001.31-005.1/4-005.8
DOI: 10.24061/2413-4260. XIV.2.52.2024.16

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ ДИФУЗНОЇ ТОМОГРАФІЇ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ДАВНОСТІ УТВОРЕННЯ КРОВОВИЛИВІВ У РЕЧОВИНУ ГОЛОВНОГО МОЗКУ ЛЮДИНИ

М. С. Гараздюк

Буковинський державний медичний університет
(Чернівці, Україна)

Резюме.

Так як черепно-мозкова травма (ЧМТ) серед усіх видів механічних пошкоджень спричиняє найвищий рівень смертності та інвалідизації, тому судово-слідчі органи приділяють багато уваги розслідуванню обставин її отримання. Для з'ясування обставин, що передували смерті від ЧМТ, органам слідства необхідно знати якомога точніший час утворення крововиливу, який нерідко може бути наближеним і до моменту настання смерті. Тому науковці у галузі судової медицини працюють над розробкою експрес-методів, які б дозволили швидко та об'єктивно відповісти на питання встановлення давності утворення крововиливу у речовину головного мозку людини.

Мета і завдання дослідження. Розробити в рамках статистичного аналізу мап оптичної анізотропії універсальні судово-медичні критерії визначення давності утворення крововиливів внаслідок ЧМТ, смерті внаслідок інфаркту мозку ішемічного та геморагічного генезів методом дифузної томографії полікристалічної складової нативних гістологічних зрізів мозку з алгоритмічним відтворенням флуктуацій величини лінійного двоприменезаломлення.

Матеріали та методи дослідження. Для дослідження відбиралися нативні зрізи речовини головного мозку людини зі скроневих та тім'яної ділянок від померлих із відомим часом утворення крововиливу від 1 до 7 діб, згідно даних медичних документів. Причиною смерті були крововиливи травматичного генезу (КТТ) – II група (n=100), інфаркт мозку ішемічного генезу (ІІМ) – III група (n=110), крововилив нетравматичного генезу (КНГ) – IV група (n=105), гостра коронарна недостатність – I група – контроль (n=20). У лабораторії Інституту фізико-технічних та комп'ютерних наук Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича були проведені дослідження отриманих зразків за допомогою Стокс-поляриметра методом дифузної томографії відтворення флуктуацій лінійного двоприменезаломлення (ФЛД).

Оцінка отриманих результатів проводилася шляхом статистичного (визначалися статистичні моменти 1-го – 4-го порядків) та інформаційного аналізу (визначалися операційні характеристики сили методів – чутливість, специфічність і збалансована точність).

Дослідження виконане з дотриманням основних положень GCP (1996 р.), Конвенції Ради Європи про права людини та біомедицину (від 04.04.1997 р.), Гельсінської декларації Всесвітньої медичної асоціації про етичні принципи проведення наукових медичних досліджень за участю людини (1964-2013 рр.), наказу МОЗ України № 690 від 23.09.2009 р., № 616 від 03.08.2012 р. на кафедрі судової медицини та медичного правознавства Буковинського державного медичного університету як фрагмент комплексної науково-дослідної роботи кафедри судової медицини та медичного правознавства «Використання сучасних морфологічних та фізичних методів для діагностики часу та причини настання смерті, виникнення тілесних ушкоджень, розвитку віддалених та наближених їх наслідків з метою вирішення нагальних завдань правоохоронних органів та актуальних питань судово-медичної науки та практики» 0123U101978. Автор є співвиконавцем науково-дослідної роботи.

Результати дослідження. В рамках статистичного аналізу даних методу дифузної томографії установлені універсальні для випадків ЧМТ, смерті внаслідок інфаркту мозку ішемічного та геморагічного генезів, судово-медичні критерії (маркери) визначення давності утворення крововиливів – асиметрія і ексцес, які характеризують часову трансформацію координатних розподілів випадкових значень величини параметрів оптичної анізотропії. Установлено, що дегенеративно-дистрофічні зміни і некротична руйнація полікристалічної структури, сформованої оптично активними просторово-структурованими протеїновими волокнами нервової тканини об'єктивно виявляються у статистично достовірних лінійних (на протязі 120 год.) змін величини статистичних моментів 3-го і 4-го порядків, які характеризують асиметрію та ексцес розподілів випадкових значень величини ФЛД фібрилярних сіток з часом зростання давності утворення крововиливів.

Висновки. Статистичний аналіз часової трансформації мап оптичної анізотропії нервової тканини виявив універсальні критерії (статистичні моменти 3-го і 4-го порядків) для судово-медичного оцінювання давності утворення крововиливів різного генезу. Шляхом моніторингу часової зміни величини статистичних моментів 3-го і 4-го порядків, які характеризують асиметрію та ексцес розподілів випадкових значень величини флуктуацій проявів оптичної анізотропії нервової тканини, визначено часову тривалість (120 год.) і діапазони лінійної зміни значень наступних універсальних параметрів з детектування давності утворення випадків ЧМТ ($\overline{SM}_4: 0,33 - 3,31$); інфаркту мозку ішемічного ($\overline{SM}_3: 0,33 - 2,21$; $\overline{SM}_4: 0,48 - 3,5$) та геморагічного ($\overline{SM}_3: 0,28 - 1,96$; $\overline{SM}_4: 0,39 - 2,7$) генезів. Точність діагностики становить $1,5 \text{ год} \pm 20 \text{ хв}$.

Ключові слова: черепно-мозкова травма; судова медицина; час утворення крововиливу; дифузна томографія.

Вступ

Так як черепно-мозкова травма (ЧМТ) серед усіх видів механічних пошкоджень спричиняє найвищий рівень смертності та інвалідизації, тому судово-слідчі органи приділяють багато уваги розслідуванню обставин її отримання [1,2]. Через високу летальність і умови заподіяння практично усі померлі від даного виду травми направляються у бюро судово-медичної

експертизи на розтин для уточнення механізму та причини смерті [3]. Проте іноді трапляються випадки, коли при відсутності зовнішнього ушкодження м'яких тканин голови при внутрішньому дослідженні оболонок та півкуль мозку виявляють під- чи надоболонкові гематоми і внутрішньомозкові крововиливи. Або у літературі можна знайти описи випадків, коли інфаркт розвинувся на фоні попередньо отриманої черепно-

мозкової травм, а частіше ситуація розвивається навпаки [4]. У таких випадках для з'ясування обставин, що передували смерті, органам слідства необхідно знати якомога точніший час утворення крововиливу, який нерідко може бути наближеним і до моменту настання смерті [5,6]. Тому науковці у галузі судової медицини працюють над розробкою експрес-методів, які б дозволили швидко та об'єктивно відповісти на питання встановлення давності утворення крововиливу у речовину головного мозку людини.

Довгий час вітчизняна судово-медична практика задовольнялася даними, отриманими через проведення судово-гістологічного дослідження, проте отримані результати зазвичай давали поверхневі дані щодо давності крововиливу [7,8]. Комп'ютерна томографія ефективно діагностує крововилив, проте надає мало інформації про його давність [9]. Крім того, це досить вартісне дослідження, яке не завжди є змога провести.

Свою ефективність у питаннях встановлення давності процесів у тканинах та рідинах тіла людини у судово-медичній сфері продемонстрували лазерно-оптичні методи [10-16] дослідження, що може свідчити про їх ефективність і для діагностики давності утворення крововиливів [17-19].

Мета і завдання дослідження. Розробити в рамках статистичного аналізу мап оптичної анізотропії універсальні судово-медичні критерії визначення давності утворення крововиливу внаслідок ЧМТ, смерті внаслідок інфаркту мозку ішемічного та геморагічного генезів методом дифузної томографії полікристалічної складової нативних гістологічних зрізів мозку з алгоритмічним відтворенням флуктуацій величини лінійного двопронезаломлення шляхом багатоканального лінійно і циркулярного поляризованого лазерного зондування з наступною поляризаційною фільтрацією сукупності парціальних мікроскопічних зображень нативних біологічних препаратів [17-19].

Матеріали та методи дослідження.

Для дослідження нативні зрізи речовини головного мозку людини з тім'яної ділянки від померлих із відомим часом утворення крововиливу від 6 год. до 168 год, згідно даних медичних документів. Причиною смерті були крововиливи травматичного генезу – II група (загальна кількість $n=100$), інфаркт мозку ішемічного генезу – III група ($n=110$), крововилив нетравматичного генезу – IV група ($n=105$), гостра коронарна недостатність – I група – контроль ($n=20$).

Відібрані зразки речовини головного мозку людини одразу піддавалися швидкому замороженню при температурі $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ та надалі виготовлялися гістологічні зрізи за допомогою заморожуючого мікротома. У лабораторії Інституту фізико-технічних та комп'ютерних наук ім. Юрія Федьковича були проведені дослідження отриманих зразків за допомогою Стокс-поляриметра методом дифузної томографії відтворення флуктуацій величини лінійного двопронезаломлення (ФЛД).

Для судово-медичної оцінки давності утворення травматичного крововиливу, інфаркту мозку ішемічного та геморагічного генезу розроблено та реалізовано

наступний дизайн дослідження і реконструкції флуктуацій величини параметрів оптично анізотропної полікристалічної структури гістологічних зрізів дослідних зразків з усіх груп [11-19]:

1) Мюллер-матричне картографування дослідних зразків за відомими біомедичними і оптичними техніками [17] багатоканального поляризаційного лазерного зондування та аналізу серії поляризаційно відфільтрованих мікроскопічних зображень з наступним алгоритмічним одержанням серії Мюллер-матричних – зображень їх полікристалічної структури;

2) На часовому інтервалі від 6 год. до 168 год. у межах кожної з дослідної груп II, III, IV формувалися по 10 парціальних підгруп (для наступних часів (T , год.) після настання смерті – 6; 12; 18; 24; 48; 72; 96; 120; 144 і 168) чисельністю по 10-11 зразків гістологічних зрізів у кожній.

3) У межах кожної парціальної підгрупи для кожного зразку нативного гістологічного зрізу мозку вимірювались (біофізична методика експериментальних вимірювань детально представлена у серії публікацій [17,18]) координатні розподіли елементів диференціальної матриці 2-го порядку і на цій основі алгоритмічно визначалися координатні розподіли (мапи) випадкових значень мапи ФЛД протеїнових фібрилярних мереж;

4) Для кожної мапи ФЛД у межах кожної парціальної підгрупи сукупності дослідних груп II, III, IV з відповідним значенням ДУК обчислювалися за використанням програмного продукту MATLAB R2022 центральні статистичні моменти 1-4-го порядків ($SM_{i=1,2,3,4}$), які характеризують середнє (SM_1), дисперсію (SM_2), асиметрію (SM_3) та ексцес (SM_4) розподілів випадкових значень величини ФЛД;

5) Для кожної з десяти ($j = 1, 2, \dots, 10$) «часових» парціальних підгруп 10 парціальних підгруп (T_j , год – 6; 12; 18; 24; 48; 72; 96; 120; 144 і 168) обчислювалися середні значення $\overline{SM}_{i=1,2,3,4}$ і статистичні похибки $m_{i=1,2,3,4}$ визначення кожного з чотирьох статистичних моментів $SM_{i=1,2,3,4}$ за наступними алгоритмами

$$\overline{SM}_{i=1,2,3,4} = \begin{cases} \overline{SM}_1 = \frac{\sum_{j=1}^n (SM_1)_j}{n}; \\ \overline{SM}_2 = \frac{\sum_{j=1}^n (SM_2)_j}{n}; \\ \overline{SM}_3 = \frac{\sum_{j=1}^n (SM_3)_j}{n}; \\ \overline{SM}_4 = \frac{\sum_{j=1}^n (SM_4)_j}{n}. \end{cases} \quad i m_{i=1,2,3,4} = \begin{cases} m_1 = \frac{s^2((SM_1)_j)}{\sqrt{n}}; \\ m_2 = \frac{s^2((SM_2)_j)}{\sqrt{n}}; \\ m_3 = \frac{s^2((SM_3)_j)}{\sqrt{n}}; \\ m_4 = \frac{s^2((SM_4)_j)}{\sqrt{n}}. \end{cases}$$

6) У межах кожної парціальної групи (по мірі зростання часу T , год давності утворення крововиливу) визначалася статистична достовірність відмінності визначених середніх значень $\overline{SM}_{i=1,2,3,4}$ і статистичних похибок $m_{i=1,2,3,4}$ величини кожного з сукупності центральних статистичних моментів $SM_{i=1,2,3,4}$ шляхом установлення величини – критерію Стьюдента, який відповідає статистичній мірі p не меншій ніж 0,05 - $p \leq 0,001 \div 0,05$

7) На цій основі визначалися статистично достовірні параметри (маркери $\overline{SM}_i = (p \leq 0,05)$) у межах сукупності центральних моментів 1-го – 4-го порядків $\overline{SM}_{i=1,2,3,4}$, які характеризують часові зміни координат

них розподілів випадкових значень величини ФЛД нативних гістологічних зрізів мозку.

8) Для таких параметрів визначалися часові залежності зміни їх величини $\overline{SM}_i = (T, p \leq 0,05)$.

9) В одержаних часових залежностях $\overline{SM}_i = (T, p \leq 0,05)$ статистичних маркерів визначалися лінійні ділянки, за тривалістю яких знаходилась давність утворення крововиливу та встановлювалась точність її установа.

Оцінка отриманих результатів проводилася шляхом статистичного (визначалися статистичні моменти 1-го – 4-го порядків) та інформаційного аналізу (визначалися операційні характеристики сили методів – чутливість, специфічність і збалансована точність).

Дослідження виконане з дотриманням основних положень GCP (1996 р.), Конвенції Ради Європи про права людини та біомедицину (від 04.04.1997 р.), Гельсінської декларації Всесвітньої медичної асоціації про етичні принципи проведення наукових медичних досліджень за участю людини (1964-2013 рр.), наказу МОЗ України № 690 від 23.09.2009 р., № 616 від 03.08.2012 р. на кафедрі судової медицини та медичного правознавства Буковинського державного медичного університету як фрагмент комплексної науково-дослідної роботи кафедри судової медицини та медичного пра-

вознавства «Використання сучасних морфологічних та фізичних методів для діагностики часу та причини настання смерті, виникнення тілесних ушкоджень, розвитку віддалених та наближених їх наслідків з метою вирішення нагальних завдань правоохоронних органів та актуальних питань судово-медичної науки та практики» 0123U101978. Автор є співвиконавцем науково-дослідної роботи.

Результати дослідження та їх обговорення

Фрагменти серії рис. 1-3 ілюструють мапи (фрагменти (1),(3)) і гістограми розподілів (фрагменти (2),(4)) випадкових значень величини ФЛД оптично активних протеїнових структур і мереж сукупності гістологічних зрізів нервової тканини померлих від крововиливів травматичного генезу (рис. 1), інфаркту мозку ішемічного генезу (рис. 2) та крововиливів нетравматичного генезу (рис. 3) з різною давністю утворення:

- Розмір зображення (мапи), пікселів – 1240920;
- Загальна кількість пікселів зображення (мапи) – 1140800;
- Для побудови гістограми у рамках програмного продукту MATLAB R2022 використовувалось 100 стовпців, тобто крок X/100.

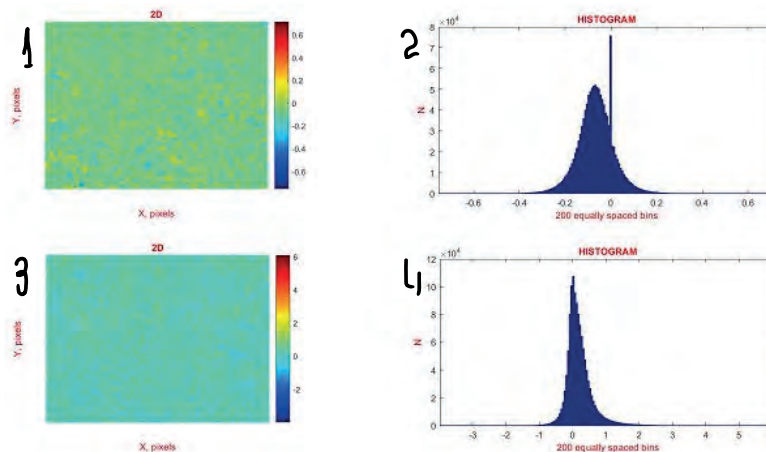


Рис. 1. Мапи ((1),(3)) і гістограми ((2),(4)) розподілу величини ФЛД гістологічних зрізів мозку померлих з групи 2 для давності утворення крововиливу 6 год ((1),(2)) і 24 год ((3),(4)).

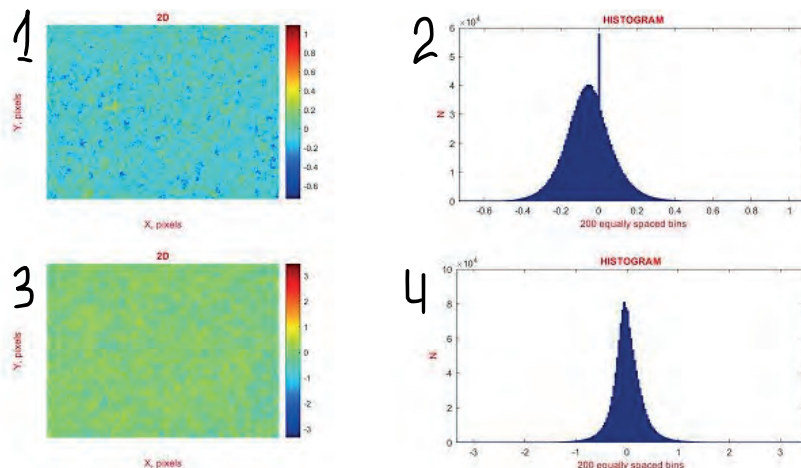


Рис. 2. Мапи ((1),(3)) і гістограми ((2),(4)) розподілу величини ФЛД гістологічних зрізів мозку померлих з групи 3 для давності утворення крововиливу 6 год ((1),(2)) і 24 год ((3),(4)).

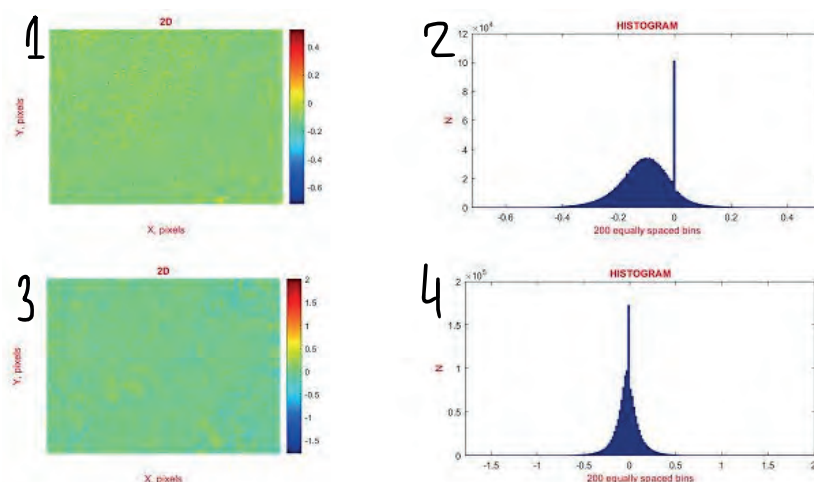


Рис. 3. Мапи ((1),(3)) і гістограми ((2),(4)) розподілу величини ФЛД гістологічних зрізів мозку померлих з групи 4 для давності утворення крововиливу 6 год ((1),(2)) і 24 год ((3),(4)).

Часові залежності величини статистично достовірних величин статистичних моментів та статистичні похибки їх визначення, які характеризують некротичні дегенеративно-дистрофічні зміни координатних розподілів випадкових значень величини ФЛД (на інтервалі

6-168 год) фібрилярних сіток зразків гістологічних зрізів нервової тканини мозку з різною давності утворення крововиливу, представлені в таблицях 1-3 – померлі у межах групи 2 (таблиця 1), групи 3 (таблиця 2) і групи 4 (таблиця 3).

Таблиця 1

Часова динаміка зміни статистичних моментів 4-го порядків, які характеризують розподіли величини ФЛД гістологічних зрізів мозку померлих з групи 2

T, год	6	12	18	24	48
$\overline{SM}_4 \pm m_4$	0,33±0,014	0,65±0,023	0,81±0,035	0,96±0,039	1,59±0,11
p		$p < 0,05$	$p < 0,05$	$p < 0,05$	$p < 0,05$
T, год	72	96	120	144	168
$\overline{SM}_4 \pm m_4$	2,22±0,14	2,86±0,16	3,31±0,23	3,39±0,25	3,14±0,21
p	$p < 0,05$	$p < 0,05$	$p < 0,05$	$p > 0,05$	

Таблиця 2

Часова динаміка зміни статистичних моментів 3-4-го порядків, які характеризують розподіли величини ФЛД гістологічних зрізів мозку померлих з групи 3

T, год	6	12	18	24	48
$\overline{SM}_3 \pm m_3$	0,33±0,013	0,53±0,018	0,64±0,024	0,73±0,029	1,15±0,088
p		$p < 0,05$	$p < 0,05$	$p < 0,05$	$p < 0,05$
$\overline{SM}_4 \pm m_4$	0,48±0,015	0,81±0,033	0,95±0,039	1,11±0,053	1,73±0,078
p		$p < 0,05$	$p < 0,05$	$p < 0,05$	$p < 0,05$
T, год	72	96	120	144	168
$\overline{SM}_3 \pm m_3$	1,54±0,081	1,93±0,092	2,21±0,12	2,29±0,13	2,11±0,11
p	$p < 0,05$	$p < 0,05$	$p < 0,05$	$p > 0,05$	
$\overline{SM}_4 \pm m_4$	2,22±0,12	2,85±0,14	3,56±0,18	3,62±0,18	3,33±0,15
p	$p < 0,05$	$p < 0,05$	$p < 0,05$	$p > 0,05$	

Таблиця 3

Часова динаміка зміни статистичних моментів 3-4-го порядків, які характеризують розподіли величини ФЛД гістологічних зрізів мозку померлих з групи 4

T , год	6	12	18	24	48
$\overline{SM}_3 \pm m_3$	0,28±0,13	0,46±0,19	0,57±0,21	0,64±0,025	0,99±0,041
p		$p < 0,05$	$p < 0,05$	$p < 0,05$	$p < 0,05$
$\overline{SM}_4 \pm m_4$	0,39±0,014	0,63±0,022	0,75±0,031	0,87±0,036	1,34±0,11
p		$p < 0,05$	$p < 0,05$	$p < 0,05$	$p < 0,05$
T , год	72	96	120	144	168
$\overline{SM}_3 \pm m_3$	1,35±0,11	1,71±0,13	1,96±0,14	2,01±0,15	1,92±0,14
p	$p < 0,05$	$p < 0,05$	$p < 0,05$	$p > 0,05$	
$\overline{SM}_4 \pm m_4$	1,84±0,11	2,31±0,18	2,72±0,22	2,81±0,23	2,66±0,22
p	$p < 0,05$	$p < 0,05$	$p < 0,05$	$p > 0,05$	

В рамках статистичного аналізу даних методу дифузної томографії, установлені універсальні для випадків ЧМТ, смерті внаслідок інфаркту мозку ішемічного та геморагічного генезів, судово-медичні критерії (маркери) визначення давності утворення крововиливу – асиметрія і ексцес, які характеризують часову трансформацію координатних розподілів випадкових значень величини параметрів оптичної анізотропії. Установлено, що дегенеративно-дистрофічні зміни і некротична руйнація полікристалічної структури, сформованої оптично активними просторово-структурованими протейновими волокнами нервової тканини об'єктивно виявляються у статистично достовірних лінійних (на протязі 120 год.) змінах величини статистичних моментів 3-го і 4-го порядків, які характеризують асиметрію та ексцес розподілів випадкових значень величини ФЛД фібрилярних сіток з часом зростання давності утворення крововиливу. Для кожного з випадків часової динаміки установлені кількісні діапазони лінійної (діагностичної) зміни діагностичних маркерів – ЧМТ (\overline{SM}_4 : 0,33 – 3,31); інфаркту мозку ішемічного (\overline{SM}_3 : 0,33 – 2,21; \overline{SM}_4 : 0,48 – 3,56) та геморагічного (\overline{SM}_3 : 0,28 – 1,96; \overline{SM}_4 : 0,39 – 2,72) генезів.

Виявлено наступні діапазони змін:

Похибка визначення давності утворення крововиливу шляхом порівняння визначених нами часових залежностей $\overline{SM}_{i=3,4} = (T, p \leq 0,05)$ і експериментальних даних з попередньо невідомим часом не перевищує 20 хв при точності 1,5 год.

Встановлені закономірності часової зміни (зростання) величини статистичних маркерів $\overline{SM}_{i=3,4} (T, p \leq 0,05)$ у рамках біофізичної теорії [19] некротичної трансформації оптичної анізотропії біологічних тканин органів людини можуть бути пов'язані з наступними об'єктивними факторами:

1. Максимальний рівень оптичної анізотропії протейнових сіток визначається ступенем узгодженості їх просторово-кутової орієнтації та розподілом поперечних геометричних розмірів фібрил [19] здорової (неушкодженої) тканини. Статистично це виявляється у індивідуальних для різних типів біологічних тканин,

але максимальних значеннях середнього \overline{SM}_1 і дисперсії \overline{SM}_2 , які характеризують розподіли флуктуації параметрів оптичної анізотропії. Статистичні моменти вищих порядків $\overline{SM}_{i=3,4}$, які є обернено пропорційними до \overline{SM}_2 ($\overline{SM}_3 \sim \frac{1}{(\overline{SM}_2)^3}$, $\overline{SM}_4 \sim \frac{1}{(\overline{SM}_2)^4}$), володіють мінімально можливими значеннями.

2. Дегенеративно-дистрофічні і некротичні зміни біологічної тканини морфологічно призводять до розпорядкування просторово-кутової орієнтації фібрил та їх геометричному витонченню. У рамках статистичного підходу такі зміни кількісно виявляються у зменшенні середнього \overline{SM}_1 і дисперсії \overline{SM}_2 . Відповідно до цього зростають величини асиметрії та ексцесу розподілів випадкових значень величини флуктуацій оптичної анізотропії фібрилярних сіток нативних гістологічних зрізів мозку.

3. Із збільшенням часу давності утворення крововиливу ступень дегенеративно-дистрофічних і некротичних змін оптично анізотропної складової тканини мозку послідовно наростає і в межі досягає певного і незмінного або флуктуючого в часі рівня її деградації. Кількісно такі процеси у наших конкретних дослідженнях детектуються у лінійному збільшенні величини статистичних моментів вищих порядків $\overline{SM}_{i=3,4}$ на певному часовому інтервалі (до 120 годин). Далі часова зміна величин $\overline{SM}_{i=3,4}(T)$ трансформується у неінформативні флуктуючі статистично недостовірні залежності.

Висновки:

1. Проведені дослідження у судово-медичній практиці ефективності методу дифузної томографії деполаризуючих гістологічних зрізів мозку і комп'ютерного відтворення топографічних розподілів (мап) флуктуацій оптичної анізотропії та їх полікристалічної структури продемонстрували високий рівень ефективності визначення давності крововиливів травматичного генезу, інфаркту мозку ішемічного і геморагічного генезу.

2. Статистичний аналіз часової трансформації мап оптичної анізотропії нервової тканини виявив універсальні критерії (статистичні моменти 3-го і 4-го поряд-

ків) для судово-медичного оцінювання ДУК різного генезу.

3. Шляхом моніторингу часової зміни величини статистичних моментів 3-го і 4-го порядків, які характеризують асиметрію та ексцес розподілів випадкових значень величини флуктуацій проявів оптичної анізотропії нервової тканини, визначено часову тривалість (120 год) і діапазони лінійної зміни значень наступних універсальних параметрів з детектування давності утворення випадків: черепно-мозкової травми (\overline{SM}_4 ; 0,33 – 3,31); інфаркту мозку ішемічного генезу (\overline{SM}_3 ; 0,33 – 2,21; \overline{SM}_4 ; 0,48 – 3,56); інфаркту мозку геморагічного генезу (\overline{SM}_3 ; 0,28 – 1,96; \overline{SM}_4 ; 0,39 – 2,72) генезів.

4. Похибка визначення давності утворення крововиливу шляхом порівняння визначених нами часових залежностей $\overline{SM}_{i=3,4}$ ($T, p \leq 0,05$) і експериментальних даних з попередньо невідомою давністю утворення

крововиливу не перевищує 20 хв із точністю визначення до 1,5 год.

Перспектива подальших досліджень. У перспективі можливе покращення інформативності традиційних, добре апробованих методів Мюллер-матричного картографування гістологічних зрізів біологічних тканин на фоні спотворюючого впливу деполяризації лазерного випромінювання.

Тому актуальним є подальше розроблення і апробація новітніх методів лазерної томографії для покращення показників судово-медичної практики та вивчення деполяризуючих лазерне випромінювання зразків мозку померлих.

Конфлікт інтересів: відсутній.

Джерело фінансування: самофінансування.

Література:

- Bertozzi G, Maglietta F, Sessa F, Scoto E, Cipolloni L, Di Mizio G, et al. Traumatic Brain Injury: A Forensic Approach: A Literature Review. *Curr Neuropharmacol*. 2020;18(6):538-50. doi: 10.2174/1570159x17666191101123145
- Asken BM, Rabinovici GD. Identifying degenerative effects of repetitive head trauma with neuroimaging: a clinically-oriented review. *Acta Neuropathol Commun* [Internet]. 2021[cited 2023 Aug 22];9(1):96. Available from: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8141132/pdf/40478_2021_Article_1197.pdf doi: 10.1186/s40478-021-01197-4
- Мішалов ВД, Гуріна ОО, Хохолева ТВ, Козань НМ, Дунаєв ОВ. Судово-медична оцінка патоморфологічних змін при внутрішньочерепних ушкодженнях. Київ; 2018. 125с.
- Bahri R, Sharma RS, Jain V. Mineralizing angiopathy with basal ganglia stroke after minor head trauma; a clinical profile and follow up study of a large series of paediatric patients from North India. *Eur J Paediatr Neurol*. 2021;33:61-7. doi: 10.1016/j.ejpn.2021.05.011
- Савка ІГ, Козань НМ, Дунаєв ОВ, Олійник ІЮ. Встановлення точних критеріїв діагностики давності настання смерті в судово-медичній практиці. Судово-медична експертиза. 2021;1:18-24. doi: 10.24061/2707-8728.1.2021.3
- Савка ІГ, Кривецький ВВ, Козань НМ. Сучасні можливості та перспективи дослідження рідин та середовищ організму людини для діагностики часу настання смерті. Буковинський медичний вісник. 2020;24(3):179-84. doi: 10.24061/2413-0737.XXIV.3.95.2020.90
- Dettmeyer RB. The role of histopathology in forensic practice: an overview. *Forensic Sci Med Pathol*. 2014;10(3):401-12. doi: 10.1007/s12024-014-9536-9
- Гараздюк М. Диференційні можливості методу забарвлення гістологічних препаратів за перлсом для встановлення давності утворення крововиливу травматичного та нетравматичного генезу в речовину головного мозку. Судово-медична експертиза. 2022;1:40-4. doi: 10.24061/2707-8728.1.2022.6
- Peng Q, Chen X, Zhang C, Li W, Liu J, Shi T, et al. Deep learning-based computed tomography image segmentation and volume measurement of intracerebral hemorrhage. *Front Neurosci*[Internet]. 2022[cited 2023 Aug 29];16:965680. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9575984/pdf/fnins-16-965680.pdf> doi: 10.3389/fnins.2022.965680
- Павлюкович О, Павлюкович Н. Дослідження часової динаміки зміни ступеня деполяризації лазерного випромінювання тканиною головного мозку. Судово-медична експертиза. 2022;1:87-93. doi: 10.24061/2707-8728.1.2022.13
- Дуболазов ОВ, Сахновський МЮ, Олар ОВ, Григоришин ПМ, Ушенко ЮО. Просторово-частотна фільтрація поляризаційних проявів лінійного та циркулярного двопротенезаломлення полікристалічної структури плівок плазми крові людини. Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. 2019;37(1):17-23. doi: 10.31649/1681-7893-2019-37-1-17-23
- Заболотна НІ, Шолота ВВ, Загоруйко ВІ. Система багато параметричного поляризаційно-фазового картографування біологічних шарів із бінарною класифікацією. Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. 2021;42(2):44-52. doi: 10.31649/1681-7893-2021-42-2-44-52
- Peuvasteh M, Dubolazov A, Popov A, Ushenko A, Ushenko Y, Meglinski I. Two-point Stokes vector diagnostic approach for characterization of optically anisotropic biological tissues. *J Phys D: Appl Phys* [Internet]. 2020[cited 2023 Aug 22];53:395401. Available from: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-6463/ab9571/pdf> doi: 10.1088/1361-6463/ab9571
- Ushenko O, Zhytaryuk V, Dvorjak V, Martsenyak IV, Dubolazov O, Bodnar BG, et al. Multifunctional polarization mapping system of networks of biological crystals in the diagnostics of pathological and necrotic changes of human organs. In: Mohseni H, Agahi MH, editors. Conference materials SPIE NANOSCIENCE + ENGINEERING Biosensing and Nanomedicine XII [Internet]; 2019 Sep 11-15; San Diego. California: San Diego; 2019[cited 2022 Jan 22];11087. Available from: <https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/11087/110870S/Multifunctional-polarization-mapping-system-of-networks-of-biological-crystals-in/10.1117/12.2529362.full> doi: 10.1117/12.2529362
- Олар ОВ, Ушенко ВО, Сахновський ЮО, Ушенко ОВ, Дуболазов ОВ, Ушенко ОГ, та ін. Методи і засоби азимутально-інваріантної Мюллер-матричної поляриметрії оптично-анізотропних біологічних шарів. Біофізичний вісник. 2019;41:52-62. doi: 10.26565/2075-3810-2019-41-04
- Гараздюк МС. Визначення давності утворення крововиливів травматичного та нетравматичного генезів у речовину головного мозку людини методом реконструкції розподілів величини флуктуацій лінійного дихроїзму. Судово-медична експертиза. 2021;1:25-35. doi: 10.24061/2707-8728.1.2021.4

17. Ushenko V, Sdobnov A, Syvokorovskaya A, Dubolazov A, Vanchulyak O, Ushenko A, et al. 3D Mueller-matrix diffusive tomography of polycrystalline blood films for cancer diagnosis. *Photonics*[Internet]. 2018[cited 2024 Jan 4];5(4):54. Available from: <https://www.mdpi.com/2304-6732/5/4/54> doi: 10.3390/photonics5040054

18. Peyvasteh M, Tryfonyuk L, Ushenko V, Syvokorovskaya A-V, Dubolazov A, Vanchulyak O, et al. 3D Mueller-matrix-based azimuthal invariant tomography of polycrystalline structure within benign and malignant soft-tissue tumours. *Laser Physics Letters*[Internet]. 2020[cited 2024 Jan 18];17(11):115606. Available from: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1612-202X/abbee0> doi:10.1088/1612-202X/abbee0

19. Ushenko AG, Dubolazov AV, Litvinenko OY, Bachinskiy VT, Bin L, Bin G, et al. 3D polarization correlometry of object fields of networks of biological crystals. In: Fourteenth International Conference on Correlation Optics; 2019 Sep 16-19; Chernivtsi. *Proc SPIE*[Internet]. 2020[cited 2023 Dec 29];11369:113691M. Available from: <https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/11369/113691M/3D-polarization-correlometry-of-object-fields-of-networks-of-biological/10.1117/12.2553942>. full doi: 10.1117/12.2553942

THE USE OF THE DIFFUSE TOMOGRAPHY METHOD FOR RESEARCHING THE TIME OF HEMORRHAGE FORMATION IN THE SUBSTANCE OF THE HUMAN BRAIN

M. S. Garazdiuk

**Bukovinian State Medical University
(Chernivtsi, Ukraine)**

Summary.

As traumatic brain injury (TBI) causes the highest level of mortality and disability among all types of mechanical injuries, forensic authorities pay a lot of attention to investigating the circumstances of its receipt. In turn, in order to reproduce the events preceded death from TBI, investigative bodies need to know as precisely as possible the time of hemorrhage formation, which can often be close to the moment of death. Therefore, scientists in the field of forensic medicine are working on the development of express methods that would allow to get a quick and objective answer to the question of establishing the age of the formation of a hemorrhage in the substance of the human brain.

The purpose and tasks of the research. To develop, within the framework of the statistical analysis of optical anisotropy maps, universal forensic medical criteria for the determination of time of haemorrhages formation due to TBI, cerebral infarction of ischemic and hemorrhagic genesis by the method of diffuse tomography of the polycrystalline component of native histological sections of the brain with algorithmic reproduction of fluctuations in the value of linear birefringence.

Research materials and methods. Native slices of human brain from the parietal area were taken for the study from the dead with a known time of hemorrhage formation from 1 to 7 days, according to medical documents. The cause of death was traumatic hemorrhage – II group (n=100), ischemic cerebral infarction – III group (n=110), non-traumatic hemorrhage – IV group (n=105), acute coronary insufficiency – I group – control (n=20). In the laboratory of the Institute of Physical, Technical and Computer Sciences of the Yuriy Fedkovich Chernivtsi National University, studies of the obtained samples were carried out using a Stokes polarimeter by the diffuse tomography method of reproduction of fluctuations of linear birefringence (FLB).

The study was carried out in compliance with the main provisions of the GCP (1996), the Council of Europe Convention on Human Rights and Biomedicine (from 04.04.1997), the Helsinki Declaration of the World Medical Association on the ethical principles of conducting scientific medical research with human participation (1964-2013), order of the Ministry of Health of Ukraine No. 690 dated 23.09.2009, No. 616 dated 03.08.2012 at the Department of Forensic Medicine and Medical Law of Bukovinian State Medical University as a fragment of the complex research work of the Department of Forensic Medicine and Medical Law «Using modern morphological and physical methods for diagnosing the time and cause of death, the occurrence of bodily injuries, the development of their remote and immediate consequences in order to solve the urgent tasks of law enforcement agencies and current issues of forensic science and practice» 0123U101978. The author is a co-performer of the research work.

The evaluation of the obtained results was carried out by means of statistical (statistical moments of the 1st – 4th orders were determined) and informational analysis (the operational characteristics of the strength of the methods were determined: sensitivity, specificity and balanced accuracy).

Research results. As part of the statistical analysis of the data of the diffuse tomography method, universal forensic criteria (markers) for determining the age of the formation of hemorrhages were established – asymmetry and excess, which characterize the temporal transformation of the coordinate distributions of the random values of the optical anisotropy parameters for cases of TBI, death due to brain infarction of ischemic and hemorrhagic genesis. It was established that degenerative-dystrophic changes and necrotic destruction of the polycrystalline structure formed by optically active spatially structured protein fibers of nervous tissue are objectively manifested in statistically reliable linear (within 120 hours) changes in the magnitude of the statistical moments of the 3rd and 4th orders, which characterize the asymmetry and excess of distributions of random values of the FLB value of fibrillar networks with the increasing age of the formation of hemorrhages.

Conclusions. Statistical analysis of temporal transformation of maps of optical anisotropy of nervous tissue revealed universal criteria (statistical moments of the 3rd and 4th orders) for forensic assessment of the age of formation of hemorrhages of various genesis. By monitoring the time change in the magnitude of statistical moments of the 3rd and 4th orders, which characterize the asymmetry and excess of distributions of random values of the magnitude of fluctuations in the manifestations of optical anisotropy of nervous tissue, were determine the duration (120 hours) and the ranges of linear changes in the values of the following universal detection parameters of occurrence of hemorrhages in case of TBI (); brain infarction of ischemic genesis () and brain infarction of hemorrhagic genesis (). Diagnostic accuracy is 1.5 ± 20 min.

Key words: Traumatic Brain Injury; Forensic Medicine; Time of Formation of Hemorrhage; Diffuse Tomography

Контактна інформація:

Гараздіук М. С. – к.мед.н., доцент кафедри судової медицини та медичного правознавства Буковинського державного медичного університету (Чернівці, Україна)

e-mail: m.garazdiuk@gmail.com

ORCID: 0000-0002-7811-3211

ResearcherID: <http://www.researcherid.com/rid/C-8134-2017>

Information about the author

Garazdiuk M. S. – PhD, Associate Professor of Department of Forensic Medicine and Medical Law of Bukovinian State Medical University (Chernivtsi, Ukraine)

e-mail: m.garazdiuk@gmail.com

ORCID: 0000-0002-7811-3211

ResearcherID: <http://www.researcherid.com/rid/C-8134-2017>



Надійшло до редакції 11.02.2024 р.
Підписано до друку 12.05.2024 р.
