

ВИЗНАЧЕННЯ ДАВНОСТІ УТВОРЕННЯ КРОВОВИЛИВІВ ТРАВМАТИЧНОГО ТА НЕТРАВМАТИЧНОГО ГЕНЕЗІВ У РЕЧОВИНУ ГОЛОВНОГО МОЗКУ ЛЮДИНИ МЕТОДОМ РЕКОНСТРУКЦІЇ РОЗПОДІЛІВ ВЕЛИЧИНИ ФЛУКТУАЦІЙ ЛІНІЙНОГО ДИХРОЇЗМУ

Гараздук М.С.

Буковинський державний медичний університет, м. Чернівці, Україна

Резюме. Для судово-медичного експерта-практика особливо важливою є об'єктивна диференційна діагностика та давність утворення крововиливу (ДУК) в речовину головного мозку людини (РГМЛ) травматичного та нетравматичного генезів, оскільки трапляються випадки, коли при проведенні зовнішнього огляду трупа на місці події тілесні ушкодження відсутні, а при внутрішньому дослідженні виявляють крововиливи в мозок. У судово-медичній практиці для верифікації причини смерті з успіхом використовуються фізико-оптичні методи, що базуються на опроміненні лазером біологічних тканин з наступною математично-статистичною обробкою отриманих даних. Попередні дослідження щодо можливості диференціації причини настання смерті традиційними поляризаційними методами дали позитивні результати, що дозволяє припустити можливість їхньої придатності й до верифікації генезу крововиливу в головний мозок. Для судово-медичного експерта-практика основними є об'єктивність, точність і швидкість отримання результату, що повною мірою могли б задовольнити методи лазерної поляриметрії у випадку визначення ДУК травматичного та нетравматичного генезів у РГМЛ. Тому слід продовжувати розробку та дослідження даних методів із цією метою.

Мета роботи. Обґрунтування можливості використання методу диференційного Мюллер-матричного картографування фазової анізотропії з визначенням часової динаміки мап лінійного двопробенезаломлення гістологічних зрізів речовини головного мозку людини у встановленні давності утворення крововиливів у речовину головного мозку людини та розробка судово-медичних критеріїв визначення давності утворення крововиливів внаслідок черепно-мозкової травми, смерті внаслідок інфаркту мозку ішемічного та геморагічного генезів.

Матеріали та методи. Для досягнення поставленої мети нами досліджувалися нативні гістологічні препарати РГМЛ від 130 трупів з відомим часом настання смерті. Причиною смерті були ЧМТ (II група (n=35)), інфаркт мозку ішемічного генезу (III група (n=32)), геморагічний інсульт (IV група (n=33)), гостра коронарна недостатність (I група – група порівняння (n=30)). Здійснювалося вимірювання значень розподілу координат параметрів поляризації в точках мікроскопічних зображень у розташуванні стандартного Стокс-поляриметра. Експериментальні вимірювання Стокс-параметричних зображень біологічних шарів проводили за методикою, представленою в роботах М. Воєвокіна та співавт., М. Grytsyuk і співавт. Надалі отримані дані піддавалися статистичній обробці та проводилася оцінка отриманих результатів. Визначалися статистичні моменти (SM) 1-4-го порядків (середнє (SM₁), дисперсія (SM₂), асиметрія (SM₃), ексцес (SM₄)) кожної мапи.

Результати. Порівняльний аналіз даних поляризаційного Мюллер-матричного картографування зображень зрізів РГМЛ з усіх груп виявив руйнацію полікристалічної структури, сформованої оптично активними протеїновими комплексами речовини головного мозку, на що вказує зменшення абсолютних значень і діапазону їхнього розкиду зі збільшенням часу утворення крововиливів. Про це свідчить координатна неоднорідність мап Мюллер-матричних інваріантів гістологічних зрізів РГМЛ всіх груп. Для гістограм, що характеризують розподіли величини Мюллер-матричних інваріантів зразків з усіх груп (групи порівняння 1 і дослідних 2-4), характерні індивідуальні та значні розкиди значень статистичних моментів. Внаслідок цього зі зростанням часу утворення крововиливів зменшуються величини середнього (SM₁) і дисперсії (SM₂). Асиметрія (SM₃) і ексцес (SM₄), навпаки,

зростають. З аналізу результатів статистичної обробки топографічної структури томограм лінійного двопронезаломлення фібрилярних мереж гістологічних зрізів РГМЛ померлих з усіх груп видна більша часова динаміка некротичної руйнації нервової тканини. Відповідно до цього, спостерігається швидше часове зменшення абсолютних значень і діапазону розкиду величини лінійного двопронезаломлення зі збільшенням часу ДНС. Тобто виявлена діагностична чутливість статистичних моментів 3-го та 4-го порядків для азимутально-інваріантної Мюллер-матричної диференціації зразків нервової тканини мозку померлих контрольної групи 1 і всіх дослідних груп 2-4 ($p < 0,05$).

Висновки. Проведений цикл досліджень ефективності нового в судово-медичній практиці методу диференціального Мюллер-матричного картографування частково деполаризуючих гістологічних зрізів речовини головного мозку людини та топографічного відтворення параметрів оптичної анізотропії їхньої полікристалічної структури виявив високий рівень точності диференціації утворення та визначення давності крововиливів травматичного генезу, інфаркту мозку ішемічного та геморагічного генезів, навіть за умов малої геометричної товщини дослідних зразків. Діапазон лінійної зміни значень статистичних моментів 1-4-го порядків, що характеризують розподіли величини лінійного двопронезаломлення фібрилярних мереж гістологічних зрізів речовини головного мозку людини померлих з усіх груп, складає 24 год. У діапазоні давності настання смерті 6-24 години точність визначення давності утворення крововиливу за допомогою статистичної обробки топографічної структури томограм лінійного двопронезаломлення фібрилярних мереж гістологічних зрізів речовини головного мозку людини складає (30 ± 5) хв.

Ключові слова: черепно-мозкова травма, крововилив у речовину головного мозку, інсульт, давність утворення крововиливу.

Вступ. Черепно-мозкова травма (ЧМТ) як одне з найпоширеніших тілесних ушкоджень посідає чільне місце в судово-медичній травматології. [1] Для судово-медичного експерта-практика особливо важливою є об'єктивна диференційна діагностика та давність утворення крововиливу (ДУК) в речовину головного мозку людини (РГМЛ) травматичного та нетравматичного генезів, оскільки трапляються випадки, коли при проведенні зовнішнього огляду трупа на місці події тілесні ушкодження відсутні, а при внутрішньому дослідженні виявляють крововиливи в мозок. Зажиттєва своєчасна експрес-діагностика причини та давності утворення крововиливів у РГМЛ є дуже важливою для нейрохірургів і терапевтів неврологічних відділень, оскільки дозволяє уникнути інвалідизації особи, а в більшості випадків просто зберегти життя людини. [2]

Згідно з даними А. Balachandran і співавт. [3], Р. Madaan і співавт. [4], ЧМТ й інсульти можуть взагалі співіснувати або виникати один на тлі іншого, що ще більше ускладнює ситуацію.

Зазвичай для диференційної діагностики всередині групи гострих порушень мозкового кровообігу (ГПМК) використовують комп'ютерну томографію (КТ) та загальноклінічну картину, проте наявно дуже мало даних стосовно диференціації ГПМК, як-от інсульти ішемічного та геморагічного генезів, крововиливів у РГМЛ травматичного походження. [5,6] Так, W. Zhang і співавт. [7] довели, що застосування КТ в поєднанні з магнітно-резонансною томографією для підтвердження діагнозу інфаркту головного мозку дає кращі результати, ніж показник проведеного тільки КТ-дослідження ($p < 0,001$).

Для діагностики ДУК в РГМЛ пропонується використовувати мас-спектрометрію, імуногістохімічні та гістохімічні методи, проте часто вони є достатньо дорогими, а тому мало доступними в реаліях судово-медичної практики України. [8-10]

У судово-медичній практиці для верифікації причини смерті з успіхом застосовуються фізико-оптичні методи, що базуються на опроміненні лазером біологічних тканин з наступною математично-статистичною обробкою отриманих даних. [11-13]

Попередні дослідження щодо можливості диференціації причини настання смерті традиційними поляризаційними методами дали позитивні результати, що дозволяє припустити можливість їхньої придатності й до верифікації генезу крововиливу в головний мозок. [14] Для судово-медичного експерта-практика основними є об'єктивність, точність і швидкість отримання результату, що повною мірою могли б задовольнити методи лазерної поляриметрії у випадку визначення ДУК травматичного та нетравматичного генезів у РГМЛ. Тому слід продовжувати розробку та дослідження даних методів із цією метою.

Мета роботи. Обґрунтування можливості використання методу диференційного Мюллер-матричного картографування фазової анізотропії з визначенням часової динаміки мап лінійного двопронезаломлення гістологічних зрізів речовини головного мозку людини у встановленні давності утворення крововиливів у речовину головного мозку людини та розробка судово-медичних критеріїв визначення давності утворення крововиливів внаслідок черепно-мозкової травми, смерті внаслідок інфаркту мозку ішемічного та геморагічного генезів.

Матеріали та методи. Для досягнення поставленої мети нами досліджувалися нативні гістологічні препарати РГМЛ від 130 трупів з відомим часом настання смерті. Причиною смерті були ЧМТ (II група (n=35)), інфаркт мозку ішемічного генезу (III група (n=32)), геморагічний інсульт (IV група (n=33)), гостра коронарна недостатність (I група – група порівняння (n=30)).

Після забору зразків ГМЛ здійснювали їх швидке замороження за температури -70°C та виготовляли гістологічні зрізи за допомогою заморожувального мікротома. У лабораторії Інституту фізико-технічних та комп'ютерних наук ім. Юрія Федьковича були проведені дослідження отриманих зразків за допомогою методу азимутально-інваріантної Мюллер-матричної мікроскопії з подальшою статистичною обробкою результатів.

Здійснювалося вимірювання значень розподілу координат параметрів поляризації в точках мікроскопічних зображень у розташуванні стандартного Стокс-поляриметра. Експериментальні вимірювання Стокс-параметричних зображень біологічних шарів проводили за методикою, представленою в роботах М. Vorokova та співавт. [15], М. Grytsyuk і співавт. [14] Надалі отримані дані піддавалися статистичній обробці та проводилася оцінка отриманих результатів. Визначалися статистичні моменти (SM) 1-4-го порядків (середнє (SM_1), дисперсія (SM_2), асиметрія (SM_3), ексцес (SM_4)) кожної мапи.

Результати. Порівняльний аналіз даних поляризаційного Мюллер-матричного картографування зображень зрізів РГМЛ з усіх груп виявив руйнацію полікристалічної структури, сформованої оптично активними протеїновими комплексами речовини головного мозку, на що вказує зменшення абсолютних значень і діапазону їхнього розкиду зі збільшенням часу утворення крововиливів. Про це свідчить координатна неоднорідність мап Мюллер-матричних інваріантів гістологічних зрізів РГМЛ всіх груп (рис. 1-3, фрагменти (1), (2)). Для гістограм, що характеризують розподіли величини Мюллер-матричних інваріантів зразків з усіх груп (групи порівняння 1 і дослідних 2-4), характерні індивідуальні та значні розкиди значень статистичних моментів (рис. 1-3, фрагменти (2), (4)).

Внаслідок цього зі зростанням часу утворення крововиливів зменшуються величини середнього (SM_1) і дисперсії (SM_2). Асиметрія (SM_3) і ексцес (SM_4), навпаки, зростають.

На рис. 1-3 показані мапи (фрагменти (1), (3)) і гістограми розподілів (фрагменти (2), (4)) величини лінійного двопронезаломлення зразків гістологічних зрізів РГМЛ померлих усіх груп з різною ДУК.

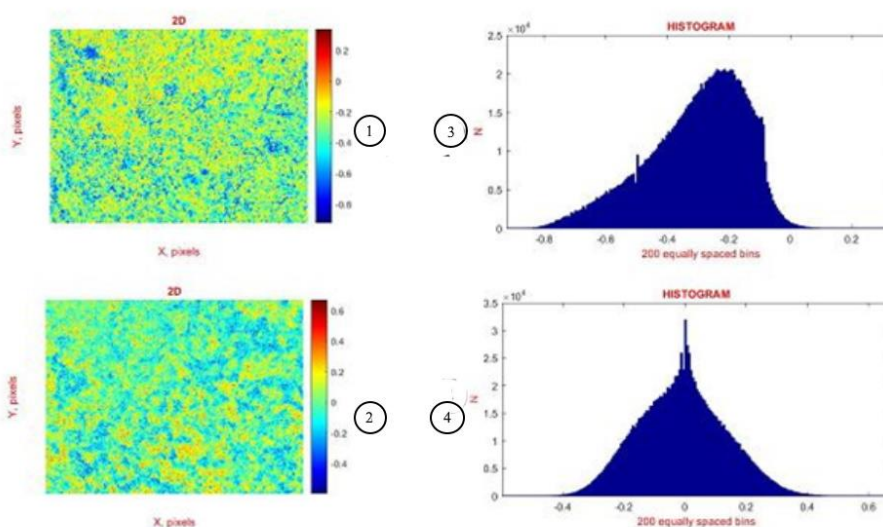


Рис. 1. Мапи ((1), (2)) та гістограми ((3), (4)) розподілу величини лінійного двопронезаломлення гістологічних зрізів речовини головного мозку людини померлих від крововиливу в тканину мозку травматичного генезу для давності утворення крововиливу 6 год ((1), (3)) та 24 год ((2), (4)).

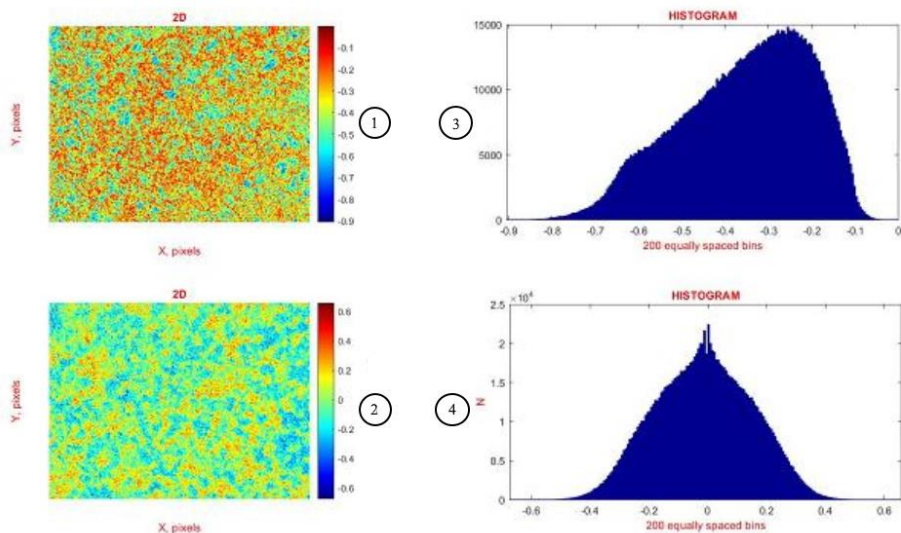


Рис. 2. Мапи ((1), (2)) та гістограми ((3), (4)) розподілу величини лінійного двоприменезаломлення гістологічних зрізів речовини головного мозку людини померлих від інфаркту мозку ішемічного генезу для давності утворення крововиливу 6 год ((1), (3)) та 24 год ((2), (4)).

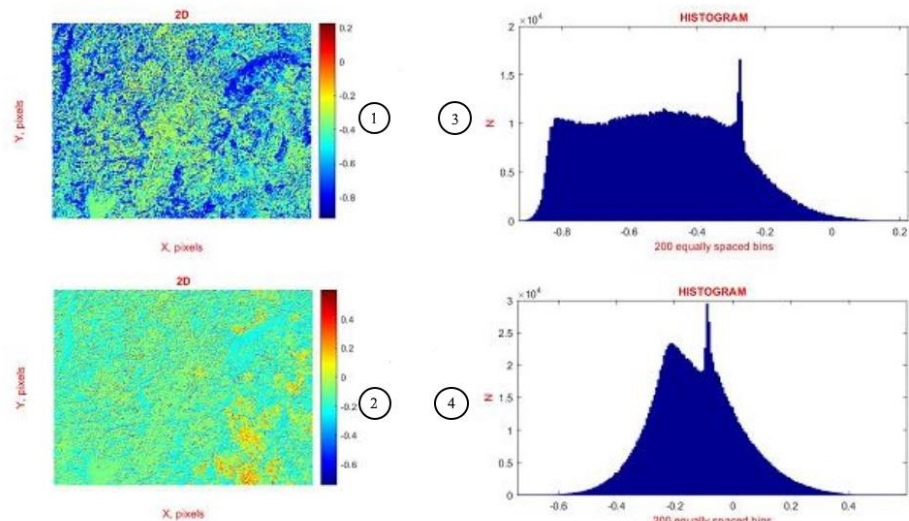


Рис. 3. Мапи ((1), (2)) та гістограми ((3), (4)) розподілу величини лінійного двоприменезаломлення гістологічних зрізів речовини головного мозку людини померлих від інфаркту мозку геморагічного генезу для давності утворення крововиливу 6 год ((1), (3)) та 24 год ((2), (4)).

У табл. 1-3 наведені результати статистичного аналізу часової зміни некротичних змін структури мап лінійного двоприменезаломлення РГМЛ в межах репрезентативних вибірок зразків груп 2 (табл. 1), 3 (табл. 2) та 4 (табл. 3) з різною ДУК.

Таблиця 1

Часова динаміка зміни статистичних моментів 1-4-го порядків, що характеризують розподіли величини лінійного двоприменезаломлення гістологічних зрізів речовини головного мозку людини померлих від крововиливів у тканину мозку травматичного генезу

Т, год.	6	12	18	24	48
SM ₁	0,24±0,008	0,22±0,007	0,205±0,006	0,19±0,005	0,16±0,005
p		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
SM ₂	0,41±0,014	0,37±0,013	0,35±0,013	0,33±0,012	0,25±0,01

p		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
SM ₃	0,91±0,034	1,39±0,054	1,63±0,072	1,87±0,088	2,83±0,11
p		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
SM ₄	0,78±0,031	1,33±0,059	1,58±0,065	2,79±0,11	2,91±0,12
p		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
T, год.	72	96	120	144	168
SM ₁	0,11±0,004	0,08±0,003	0,09±0,004	0,08±0,003	0,07±0,003
p	<0,05	<0,05	>0,05		
SM ₂	0,17±0,006	0,11±0,004	0,12±0,004	0,11±0,004	0,12±0,004
p	<0,05	<0,05	>0,05		
SM ₃	3,73±0,31	4,51±0,32	4,66±0,32	4,12±0,31	4,39±0,31
p	<0,05	<0,05	>0,05		
SM ₄	3,98±0,23	4,71±0,25	4,88±0,26	4,56±0,22	4,39±0,21
p	<0,05	<0,05	>0,05		

Таблиця 2

Часова динаміка зміни статистичних моментів 1-4-го порядків, що характеризують розподіли величини лінійного двопронезаломлення гістологічних зрізів речовини головного мозку людини від інфаркту мозку ішемічного генезу

T, год.	6	12	18	24	48
SM ₁	0,15±0,012	0,137±0,014	0,13±0,015	0,12±0,012	0,1±0,093
p		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
SM ₂	0,31±0,028	0,28±0,031	0,26±0,028	0,25±0,023	0,21±0,021
p		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
SM ₃	0,71±0,068	1,06±0,111	1,23±0,131	1,41±0,153	2,11±0,221
p		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
SM ₄	0,63±0,064	1,06±	1,27±	1,48±	2,03±
p		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
T, год.	72	96	120	144	168
SM ₁	0,07±0,067	0,05±0,048	0,06±0,087	0,05±0,007	0,04±0,005
p	<0,05	<0,05	>0,05		
SM ₂	0,13±0,014	0,08±0,078	0,09±0,011	0,08±0,009	0,07±0,009
p	<0,05	<0,05	>0,05		
SM ₃	2,79±0,291	3,35±0,298	3,44±0,431	3,13±0,354	3,27±0,342
p	<0,05	<0,05	>0,05		
SM ₄	3,19±0,331	3,81±0,390	3,99±0,432	3,73±0,441	3,88±0,423
p	<0,05	<0,05	>0,05		

Таблиця 3

Часова динаміка зміни статистичних моментів 1-4-го порядків, що характеризують розподіли величини лінійного двопронезаломлення гістологічних зрізів речовини головного мозку людини померлих від інфаркту мозку геморагічного генезу

T, год.	6	12	18	24	48
SM ₁	0,21±0,006	0,192±0,005	0,18±0,005	0,17±0,004	0,14±0,003
p		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
SM ₂	0,36±0,009	0,33±0,008	0,31±0,007	0,285±0,006	0,23±0,005
p		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
SM ₃	0,69±0,021	1,09±0,029	1,31±0,033	1,52±0,055	2,34±0,16
p		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
SM ₄	0,83±0,026	1,36±0,034	1,63±0,043	1,89±0,049	2,96±0,17
p		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05

T, год.	72	96	120	144	168
SM ₁	0,095±0,003	0,07±0,0025	0,08±0,003	0,07±0,003	0,09±0,004
p	<0,05	<0,05	>0,05		
SM ₂	0,16±0,004	0,09±0,003	0,1±0,004	0,09±0,003	0,08±0,003
p	<0,05	<0,05	>0,05		
SM ₃	3,17±0,16	3,51±0,17	3,57±0,17	3,43±0,16	3,51±0,17
p	<0,05	<0,05	>0,05		
SM ₄	4,03±0,19	4,88±0,21	4,99±0,22	4,76±0,21	4,94±0,22
p	<0,05	<0,05	>0,05		

З аналізу результатів статистичної обробки топографічної структури томограм лінійного двопронезаломлення фібрилярних мереж гістологічних зрізів РГМЛ померлих з усіх груп видна більша часова динаміка некротичної руйнації нервової тканини. Відповідно до цього, спостерігається швидше часове зменшення абсолютних значень і діапазону розкиду величини лінійного двопронезаломлення зі збільшенням часу ДНС. Тобто виявлена діагностична чутливість статистичних моментів 3-го та 4-го порядків для азимутально-інваріантної Мюллер-матричної диференціації зразків нервової тканини мозку померлих контрольної групи 1 і всіх дослідних груп 2-4 ($p < 0,05$).

Висновки.

1. Проведений цикл досліджень ефективності нового в судово-медичній практиці методу диференціального Мюллер-матричного картографування частково деполаризуючих гістологічних зрізів речовини головного мозку людини та топографічного відтворення параметрів оптичної анізотропії їхньої полікристалічної структури виявив високий рівень точності диференціації утворення та визначення давності крововиливів травматичного генезу, інфаркту мозку ішемічного та геморагічного генезів, навіть за умов малої геометричної товщини дослідних зразків.
2. Діапазон лінійної зміни значень статистичних моментів 1-4-го порядків, що характеризують розподіли величини лінійного двопронезаломлення фібрилярних мереж гістологічних зрізів речовини головного мозку людини померлих з усіх груп, складає 24 год.
3. У діапазоні давності настання смерті 6-24 години точність визначення давності утворення крововиливу за допомогою статистичної обробки топографічної структури томограм лінійного двопронезаломлення фібрилярних мереж гістологічних зрізів речовини головного мозку людини складає (30 ± 5) хв.

Література

1. 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.
2. Dharia A, Lacci JV, Gupte N, Seifi A. Multiple significant trauma with craniotomy: What impacts mortality? *Clin Neurol Neurosurg*. 2019 Nov;186:105448. doi: 10.1016/j.clineuro.2019.105448.
3. Balachandran A, Kalyanshettar S, Patil S, Shegji V. Ischemic stroke in confederation with trivial head trauma. *Case Rep Pediatr*. 2016;2016:2572958. doi: 10.1155/2016/2572958.
4. Madaan P, Swamy D, Saini L. Stroke following trivial trauma. *Pediatr Neurol*. 2019 Jul;96:83. doi: 10.1016/j.pediatrneurol.2019.03.013.
5. Panzer S, Covaliov L, Augat P, Peschel O. Traumatic brain injury: Comparison between autopsy and ante-mortem CT. *J Forensic Leg Med*. 2017 Nov;52:62-9. doi: 10.1016/j.jflm.2017.08.007.
6. Hanganu B, Stratulat TA, Hlescu AA, Manoilescu IS, Gafton B, Ioan BG. Ante mortem CT aspects versus autopsy findings in head trauma. *Rom J Leg Med*. 2019;27(2):103-8. doi: 10.4323/rjlm.2019.103.
7. Zhang W, Cheng J, Zhang Y, Wang K, Jin H. Analysis of CT and MRI combined examination for the diagnosis of acute cerebral infarction. *J Coll Physicians Surg Pak*. 2019 Sep;29(9):898-9. doi: 10.29271/jcpcsp.2019.09.898.

8. Wu Q, Huang Z, Wang Y, Zhang Z, Lu H. Absolute quantitative imaging of sphingolipids in brain tissue by exhaustive liquid microjunction surface sampling-liquid chromatography-mass spectrometry. *J Chromatogr A*. 2020 Jan 4;1609:460436. doi: 10.1016/j.chroma.2019.460436.
9. Romero Tirado MLA, Blanco Pampin JM, Gallego Gomez R. Dating of traumatic brain injury in forensic cases using immunohistochemical markers (I): neurofilaments and β -amyloid precursor protein. *Am J Forensic Med Pathol*. 2018 Sep;39(3):201-7. doi: 10.1097/PAF.0000000000000412.
10. Trautz F, Franke H, Bohnert S, Hammer N, Muller W, Stassart R, et al. Survival-time dependent increase in neuronal IL-6 and astroglial GFAP expression in fatally injured human brain tissue. *Sci Rep*. 2019 Aug 15;9(1):11771. doi: 10.1038/s41598-019-48145-w.
11. Ushenko YA, Bachynskyi 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. *Appl Opt*. 2016 Apr 20;55(12):B113-9. doi: 10.1364/AO.55.00B113.
12. Bachinskyi V, Boychuk T, Ushenko A. Laser polarimetry of biological tissues and fluids. Lap Lambert Academic publishing; 2018. 204 p.
13. Vanchulyak O, Ushenko Yu, Galochkin O, Sakhnovskiy M, Kovalchuk M, Dovgun A, et al. Azimuthal fractalography of networks of biological crystals. *Proc. of SPIE*. 2019;11105:1110517. doi: 10.1117/12.2529337.
14. Grytsyuk M, Ushenko Yu, Galochkin O, Sakhnovskiy M, Kovalchuk M, Dovgun A, et al. Mueller-matrix correlating invariants of phase and amplitude anisotropy of biological layers. *Proc. of SPIE*. 2019;11087:110870R. doi: 10.1117/12.2529358.
15. Borovkova M, Trifonyuk L, Ushenko V, Dubolazov O, Vanchulyak O, Bodnar G, et al. Mueller-matrix-based polarization imaging and quantitative assessment of optically anisotropic polycrystalline networks. *PLoS One*. 2019 May 16;14(5):e0214494. doi: 10.1371/journal.pone.0214494.

References

1. 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.
2. Dharia A, Lacci JV, Gupte N, Seifi A. Multiple significant trauma with craniotomy: What impacts mortality? *Clin Neurol Neurosurg*. 2019 Nov;186:105448. doi: 10.1016/j.clineuro.2019.105448.
3. Balachandran A, Kalyanshettar S, Patil S, Shegji V. Ischemic stroke in confederation with trivial head trauma. *Case Rep Pediatr*. 2016;2016:2572958. doi: 10.1155/2016/2572958.
4. Madaan P, Swamy D, Saini L. Stroke following trivial trauma. *Pediatr Neurol*. 2019 Jul;96:83. doi: 10.1016/j.pediatrneurol.2019.03.013.
5. Panzer S, Covaliov L, Augat P, Peschel O. Traumatic brain injury: Comparison between autopsy and ante-mortem CT. *J Forensic Leg Med*. 2017 Nov;52:62-9. doi: 10.1016/j.jflm.2017.08.007.
6. Hanganu B, Stratulat TA, Hlescu AA, Manoilescu IS, Gafton B, Ioan BG. Ante mortem CT aspects versus autopsy findings in head trauma. *Rom J Leg Med*. 2019;27(2):103-8. doi: 10.4323/rjlm.2019.103.
7. Zhang W, Cheng J, Zhang Y, Wang K, Jin H. Analysis of CT and MRI combined examination for the diagnosis of acute cerebral infarction. *J Coll Physicians Surg Pak*. 2019 Sep;29(9):898-9. doi: 10.29271/jcpsp.2019.09.898.
8. Wu Q, Huang Z, Wang Y, Zhang Z, Lu H. Absolute quantitative imaging of sphingolipids in brain tissue by exhaustive liquid microjunction surface sampling-liquid chromatography-mass spectrometry. *J Chromatogr A*. 2020 Jan 4;1609:460436. doi: 10.1016/j.chroma.2019.460436.
9. Romero Tirado MLA, Blanco Pampin JM, Gallego Gomez R. Dating of traumatic brain injury in forensic cases using immunohistochemical markers (I): neurofilaments and β -amyloid precursor protein. *Am J Forensic Med Pathol*. 2018 Sep;39(3):201-7. doi: 10.1097/PAF.0000000000000412.
10. Trautz F, Franke H, Bohnert S, Hammer N, Muller W, Stassart R, et al. Survival-time dependent increase in neuronal IL-6 and astroglial GFAP expression in fatally injured human brain tissue. *Sci Rep*. 2019 Aug 15;9(1):11771. doi: 10.1038/s41598-019-48145-w.

11. 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. *Appl Opt.* 2016 Apr 20;55(12):B113-9. doi: 10.1364/AO.55.00B113.
12. Bachynskiy V, Boychuk T, Ushenko A. *Laser polarimetry of biological tissues and fluids.* Lap Lambert Academic publishing; 2018. 204 p.
13. Vanchulyak O, Ushenko Yu, Galochkin O, Sakhnovskiy M, Kovalchuk M, Dovgun A, et al. Azimuthal fractalography of networks of biological crystals. *Proc. of SPIE.* 2019;11105:1110517. doi: 10.1117/12.2529337.
14. Grytsyuk M, Ushenko Yu, Galochkin O, Sakhnovskiy M, Kovalchuk M, Dovgun A, et al. Mueller-matrix correlating invariants of phase and amplitude anisotropy of biological layers. *Proc. of SPIE.* 2019;11087:110870R. doi: 10.1117/12.2529358.
15. Borovkova M, Trifonyuk L, Ushenko V, Dubolazov O, Vanchulyak O, Bodnar G, et al. Mueller-matrix-based polarization imaging and quantitative assessment of optically anisotropic polycrystalline networks. *PLoS One.* 2019 May 16;14(5):e0214494. doi: 10.1371/journal.pone.0214494.

TIME SINCE HEMORRHAGES OF TRAUMATIC AND NON-TRAUMATIC GENESIS INTO THE SUBSTANCE OF THE HUMAN BRAIN FORMATION USING DISTRIBUTION OF LINEAR DICHROISM FLUCTUATIONS RECONSTRUCTION

Garazdiuk M.S.

Bukovinian State Medical University, Chernivtsi, Ukraine

Resume. For a forensic expert-practitioner, it is especially important to objectively diagnose and time since the formation of hemorrhage (TSFH) in the substance of the human brain (SHB) of traumatic and non-traumatic origin, as there are cases when the external examination of the corpse at the scene are absent, and at internal research find hemorrhages in a brain. In forensic practice, to verify the cause of death, physical-optical methods are successfully used, which are based on laser irradiation of biological tissues with subsequent mathematical and statistical processing of the obtained data. Previous studies on the possibility of differentiating the cause of death by traditional polarization methods have yielded positive results, which suggests the possibility of their suitability for verification of the genesis of hemorrhage into the brain. For a forensic expert-practitioner, the main thing is objectivity, accuracy and speed of obtaining the result, which could fully satisfy the methods of laser polarimetry in the case of determining the TSFH of traumatic and non-traumatic origin in SHB. Therefore, it is necessary to continue the development and research of these methods for this purpose.

Aim of the work. To substantiate the possibility of using the method of differential Mueller-matrix mapping of phase anisotropy to determine the temporal dynamics of maps of linear birefringence of histological sections of human brain in determining the age of hemorrhage in human brain substance and to develop forensic criteria for determining the age. death due to cerebral infarction of ischemic and hemorrhagic origin.

Materials and methods. To achieve this goal, we studied native histological preparations SHB from 130 corpses with a known time of death. The cause of death was TBI (group II (n=35)), cerebral infarction of ischemic origin (group III (n=32)), hemorrhagic stroke (group IV (n=33)), acute coronary insufficiency (group I – comparison group (n=30)). The values of the distribution of the coordinates of the polarization parameters at the points of the microscopic images at the location of the standard Stokes polarimeter were measured. Experimental measurements of Stokes-parametric images of biological layers were performed according to the method presented in the sources. Subsequently, the obtained data were subjected to statistical processing and evaluation of the obtained results. Statistical moments (SM) of the 1st-4th orders (mean (SM₁), variance (SM₂), asymmetry (SM₃) and excess (SM₄)) of each map were determined.

Results and discussion. Comparative analysis of polarization Mueller-matrix mapping images of

SHB sections from all groups revealed the destruction of the polycrystalline structure formed by optically active protein complexes of the brain substance, which indicates a decrease in absolute values and range of their scatter with increasing hemorrhage time. This is indicated by the coordinate inhomogeneity of the Mueller-matrix invariant maps of histological sections of SHB of all groups. For histograms that characterize the distributions of the Mueller-matrix invariant samples from all (comparison groups 1 and experimental 2-4) groups, are characterized by individual and significant variations in the values of statistical moments. Due to this, with increasing hemorrhage time, the value of the mean (SM_1) and variance (SM_2) decreases. Asymmetry (SM_3) and excess (SM_4), on the contrary, increase. The analysis of the results of statistical processing of the topographic structure of LD tomograms of fibrillar networks of histological sections of SHB dead from all groups shows a greater temporal dynamics of necrotic destruction of nervous tissue. Accordingly, there is a faster time decrease in the absolute values and the range of scatter of the LD value with increasing TSFH. That is, the diagnostic sensitivity of the statistical moments of the 3rd and 4th orders for azimuthal-invariant Mueller-matrix differentiation of nerve tissue samples of the brain of the deceased of control group 1 and all experimental groups 2-4 ($p < 0,05$) was revealed.

Conclusions. A series of studies of the effectiveness of a new in forensic practice method of differential Mueller-matrix mapping of partially depolarizing histological sections of SHB and tomographic reproduction of optical anisotropy parameters of their polycrystalline structure revealed a high level of accuracy of differentiation and formation of genesis, even under conditions of small geometric thickness of experimental samples. The range of linear change of values of statistical moments of the 1st - 4th orders which characterize distributions of size of LD of fibrillar networks of histologic sections of SHB of the dead from all groups, makes 24 h. In the range of 6-24 hours, the accuracy of determining the TSFH using statistical processing of the topographic structure of LD tomograms of fibrillar networks of histological sections of TSFH is (30 ± 5) minutes.

Key words: traumatic brain injury, hemorrhage into the substance of the brain, stroke, the history of hemorrhage.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДАВНОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ КРОВОИЗЛИЯНИЙ ТРАВМАТИЧЕСКОГО И НЕТРАВМАТИЧЕСКОГО ГЕНЕЗА В ВЕЩЕСТВО ГОЛОВНОГО МОЗГА ЧЕЛОВЕКА МЕТОДОМ РЕКОНСТРУКЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕЛИЧИН ФЛУКТУАЦИЙ ЛИНЕЙНОГО ДИХРОИЗМА

Гараздюк М.С.

Буковинский государственный медицинский университет, г. Черновцы, Украина

Резюме. Для судебно-медицинского эксперта-практика особенно важна объективная дифференциальная диагностика и давность образования кровоизлияния (ДОК) в вещество головного мозга человека (ВГМЧ) травматического и нетравматического генезов, поскольку бывают случаи, когда при проведении наружного осмотра трупа на месте происшествия телесные повреждения отсутствуют, а при внутреннем исследовании обнаруживают кровоизлияния в мозг. В судебно-медицинской практике для верификации причины смерти с успехом используются физико-оптические методы, основанные на облучении лазером биологических тканей с последующей математически-статистической обработкой полученных данных. Предыдущие исследования о возможности дифференциации причины наступления смерти традиционными поляризационными методами дали положительные результаты, что позволяет предположить возможность их пригодности и к верификации генеза кровоизлияния в головной мозг. Для судебно-медицинского эксперта-практика основными являются объективность, точность и скорость получения результата, что в полной мере могли бы удовлетворить методы лазерной поляриметрии в случае определения ДОК травматического и нетравматического генезов в ВГМЧ. Поэтому следует продолжать разработку и исследования данных методов с этой целью.

Цель работы. Обоснование возможности использования метода дифференциального Мюллер-матричного картографирования фазовой анизотропии с определением временной

динамики карт линейного двулучепреломления гистологических срезов вещества головного мозга человека в установке давности образования кровоизлияний в вещество головного мозга человека и разработка судебно-медицинских критериев определения давности образования кровоизлияния в результате черепно-мозговой травмы, смерти от инфаркта мозга ишемического и геморрагического генезов.

Материалы и методы. Для достижения поставленной цели нами исследовались нативные гистологические препараты ВГМЧ 130 трупов с известным временем наступления смерти. Причиной смерти была ЧМТ (II группа (n=35)), инфаркт мозга ишемического генеза (III группа (n=32)), геморрагический инсульт (IV группа (n=33)), острая коронарная недостаточность (I группа – группа сравнения (n=30)). Осуществлялось измерение значений распределения координат параметров поляризации в точках микроскопических изображений в расположении стандартного Стокс-поляриметра. Экспериментальные измерения Стокс-параметрических изображений биологических слоев проводили по методике, представленной в работах М. Voronkova и соавт., М. Grytsyuk и соавт. В дальнейшем полученные данные подвергались статистической обработке и проводилась оценка полученных результатов. Определялись статистические моменты (SM) 1-4-го порядков (среднее (SM₁), дисперсия (SM₂), асимметрия (SM₃) и эксцесс (SM₄)) каждой карты.

Результаты. Сравнительный анализ данных поляризационного Мюллер-матричного картографирования изображений срезов ВГМЧ из всех групп обнаружил разрушение поликристаллической структуры, сформированной оптически активными протеиновыми комплексами вещества головного мозга, на что указывает уменьшение абсолютных значений и диапазона их разброса с увеличением времени образования кровоизлияний. Об этом свидетельствует координатная неоднородность карт Мюллер-матричных инвариантов гистологических срезов ВГМЧ всех групп. Для гистограмм, характеризующих распределения величины Мюллер-матричных инвариантов образцов из всех групп (группы сравнения 1 и исследовательских 2-4), характерны индивидуальные и значительные разбросы значений статистических моментов. За счет этого с возрастанием времени образования кровоизлияний уменьшаются величины среднего (SM₁) и дисперсии (SM₂). Асимметрия (SM₃) и эксцесс (SM₄), напротив, растут. Из анализа результатов статистической обработки топографической структуры томограмм линейного двулучепреломления фибриллярных сетей гистологических срезов ВГМЧ умерших из всех групп видна большая временная динамика некротического разрушения нервной ткани. В соответствии с этим наблюдается более быстрое временное уменьшение абсолютных значений и диапазона разброса величины линейного двулучепреломления с увеличением времени ДОК. То есть обнаружена диагностическая чувствительность статистических моментов 3-го и 4-го порядков для азимутально-инвариантной Мюллер-матричной дифференциации образцов нервной ткани мозга умерших контрольной группы 1 и всех исследовательских групп 2-4 (p<0,05).

Выводы. Проведенный цикл исследований эффективности нового в судебно-медицинской практике метода дифференциального Мюллер-матричного картографирования частично деполяризирующих гистологических срезов вещества головного мозга человека и топографического воспроизведения параметров оптической анизотропии их поликристаллической структуры обнаружил высокий уровень точности дифференциации образования и определения давности кровоизлияний травматического генеза, инфаркта мозга ишемического и геморрагического генезов, даже при условии малой геометрической толщины опытных образцов. Диапазон линейного изменения значений статистических моментов 1-4-го порядков, характеризующих распределения величины линейного двулучепреломления фибриллярных сетей гистологических срезов вещества головного мозга человека умерших из всех групп, составляет 24 часа. В диапазоне давности наступления смерти 6-24 часа точность определения давности образования кровоизлияния с помощью статистической обработки топографической структуры томограмм линейного двулучепреломления фибриллярных сетей гистологических срезов вещества головного мозга человека составляет (30±5) мин.

Ключевые слова: черепно-мозговая травма, кровоизлияния в вещество головного мозга, инсульт, давность образования кровоизлияния.

Відомості про автора:

Гараздюк М.С. – кандидат медичних наук, доцент, доцент кафедри судової медицини та медичного правознавства Буковинського державного медичного університету, м. Чернівці, Україна. e-mail: m.garazdiuk@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-1536-4440

Informations about the author:

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

Сведения об авторе:

Гараздюк М.С. – кандидат медицинских наук, доцент, доцент кафедры судебной медицины и медицинского правоведения Буковинского государственного медицинского университета, г. Черновцы, Украина.