

МІНІСТЕРСТВО ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я УКРАЇНИ
БУКОВИНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ МЕДИЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кваліфікаційна наукова
праця на *правах рукопису*

Саркісова Юлія Володимирівна

УДК 340.6:617.747-073.55-091

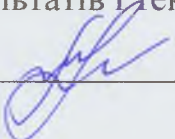
ДИСЕРТАЦІЯ
ДІАГНОСТИКА ДАВНОСТІ НАСТАННЯ СМЕРТІ МЕТОДАМИ
БАГАТОМІРНОЇ ПОЛЯРИЗАЦІЙНОЇ ТА АВТОФЛУОРЕСЦЕНТНОЇ
МІКРОСКОПІЇ СКЛОВИДНОГО ТІЛА ЛЮДИНИ

222 – Медицина

22 – Охорона здоров'я

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

 Ю.В. Саркісова

Науковий керівник – Бачинський Віктор Теодосович, доктор медичних наук,
професор

Чернівці – 2022

АНОТАЦІЯ

Саркісова Ю.В. Діагностика давності настання смерті методами багатомірної поляризаційної та автофлуоресцентної мікроскопії скловидного тіла людини. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 22 "Охорона здоров'я", за спеціальністю 222 "Медицина" (14.01.25 "Судова медицина") – Буковинський державний медичний університет МОЗ України, Чернівці, 2022.

Незважаючи на надзвичайно важливе значення точного визначення давності настання смерті (ДНС) при дослідженні трупа, зокрема при розслідуванні кримінальних справ, висока мінливість наявних методів оцінки посмертного інтервалу спонукає до пошуку нових підходів до розв'язання даної проблеми. Саме тому дисертація присвячена розробці комплексу нових об'єктивних судово-медичних критеріїв для розширення функціональних можливостей точного встановлення ДНС на довготривалому часовому інтервалі шляхом застосування поляризаційної та автофлуоресцентної мікроскопії скловидного тіла (СТ) людини.

Проведено дослідження нативних шарів та рідких зразків СТ, що були відібрані від 150 трупів обох статей віком від 19 до 60 років з попередньо відомою ДНС, що становила від 1 до 48 годин. Критеріями виключення були: наявність черепно-мозкової травми та травми очного яблука, лабораторно підтверджена наявність будь-яких ендогенних та екзогенних інтоксикацій.

У рамках дисертаційної роботи використані такі методи дослідження: встановлення часової динаміки посмертних змін кількості K^+ і Na^+ СТ; азимутально-інваріантна поляризаційна мікроскопія (одержання фазових поляризаційних зображень і Мюллер-матричних інваріантів (ММІ)) зразків СТ; диференційне Мюллер-матричне картографування (отримання диференційних Мюллер-матричних зображень (ММЗ)) полікристалічної та білкової складових зразків СТ; поляризаційна мікроскопічна томографія полікристалічної та білкової складових зразків СТ (одержання мап лінійного

(ЛД) та циркулярного двопронезаломлення (ЦД)); спектрально-селективна лазерна автофлуоресцентна мікроскопія зразків СТ (отримання мікроскопічних зображень автофлуоресценції в синій і товсто-зеленій областях електромагнітного спектра); статистичний і вейвлет-аналіз результатів експериментальних даних (ЕД). Статистичну обробку даних проводили за допомогою прикладних програм MS® Excel® 2010™ та Statistica® 7.0 (StatSoft Inc., США).

Було встановлено, що застосування комплексу поляризаційних методик дозволяє відстежити динаміку трансформації поляризаційних проявів посмертних змін полікристалічної структури шарів СТ людини: зі збільшенням ДНС зменшується рівень оптичної анізотропії – розупорядковується колагенова мережа та знижується концентрація білкових комплексів. Статистично зростання ступеня посмертної деструкції полікристалічної складової СТ супроводжується зниженням середнього (SM_1) і дисперсії (SM_2), вочас зменшення рівня ЛД та ЦД СТ призводить до збільшення величини асиметрії (SM_3) та ексцесу (SM_4), що характеризують розподіли ЕД мікроскопічних зображень шарів СТ людини.

Також експериментально продемонстроване “затухання” лазерної флуоресценції зі збільшенням ДНС: координатні розподіли величини лазерної автофлуоресценції полікристалічної ($\lambda_2=0,45$ мкм) та аморфної складових ($\lambda_2=0,55$ мкм) шарів СТ людини з більшою ДНС характеризувалися меншими середнім значенням і діапазоном розкиду випадкових значень інтенсивності флуоресценції порівняно з даними, що були одержані для зразків СТ з меншою ДНС.

Таким чином, *отримані результати засвідчують* статистично достовірний взаємозв'язок між ДНС та змінами полікристалічної й біохімічної структури зразків СТ, що описано в рамках застосування комплексу методів поляризаційної та автофлуоресцентної мікроскопії.

Наукова новизна отриманих результатів. Доповнено наукові дані щодо можливостей методу визначення кількості K^+ і Na^+ СТ людини для

судово-медичного встановлення ДНС. За кількістю K^+ можна визначити тривалість посмертного інтервалу з точністю до 4-6 год на інтервалі до 18 год і з точністю 8-12 год у пізніші терміни.

Шляхом статистичного аналізу координатних розподілів величини ММІ частково деполяризуючих шарів СТ виявлені діагностичні критерії (SM_3 від 0,43 до 1,27; SM_4 від 0,34 до 1,38) і досягнутий стабільний рівень точності (45 хв) встановлення ДНС протягом 24 год. Додатковий масштабно-селективний вейвлет-аналіз фазових поляризаційних мікроскопічних зображень і Мюллер-матричних мап шарів СТ вперше забезпечив покращення точності (40 хв) визначення ДНС впродовж 36 год.

Вперше методом диференційного Мюллер-матричного картографування полікристалічної складової шарів СТ людини шляхом оцінювання часової динаміки зміни величини статистичних моментів 3-4-го порядків амплітуди вейвлет-коефіцієнтів $C_{a=15,b}$ (SM_3 від 0,24 до 1,43; SM_4 від 0,33 до 1,79) було встановлено ДНС з діапазоном чутливості до 36 год і точністю визначення 30 хв.

Поляризаційне томографічне відтворення параметрів двопротенезаломлення полікристалічної складової шарів СТ вперше забезпечило встановлення ДНС з точністю 20 хв впродовж 24 год. Масштабно-селективний аналіз розподілів величини амплітуд вейвлет-коефіцієнтів мап двопротенезаломлення полікристалічної складової шарів СТ покращив точність томографічного методу до 15 хв і розширив часовий інтервал до 36 год.

Вперше для точного визначення ДНС на довготривалих часових проміжках розроблений метод спектрально-селективної флуоресцентної мікроскопії розподілів інтенсивності лазерно-індукованої автофлуоресценції аморфної та білкової складових шарів СТ. Визначена сукупність судово-медичних критеріїв встановлення ДНС шляхом моніторингу часових змін величини набору статистичних моментів 1-4-го порядків, що характеризують розподіли величини інтенсивності автофлуоресценції шарів СТ в різних

спектральних ділянках (“синя” – 415 мкм, “зелено-жовта” – 550 мкм). На основі цього вперше досягнута точність визначення ДНС величиною 15 хв на часовому інтервалі 36 год після настання смерті.

Практичне значення одержаних результатів, впровадження їх у практику. Отримані результати проведених експериментальних досліджень розширили уявлення про механізм танатогенезу та підходи до визначення ДНС, а також доповнили об’єм знань, щодо особливостей біохімічного складу та полікристалічної структури СТ людини та їх післясмертних змін.

Наукові розробки впроваджені в практичну діяльність Чернівецького, Івано-Франківського, Кіровоградського, Житомирського обласних бюро судово-медичної експертизи, а також у навчальний процес кафедр судової медицини та права Вінницького національного медичного університету ім. М.І. Пирогова; судової медицини та медичного права Івано-Франківського національного медичного університету; судової медицини та медичного права Національного медичного університету імені О.О. Богомольця; патологічної анатомії з секційним курсом та судовою медициною Тернопільського національного медичного університету ім. І.Я. Горбачевського; судової медицини та медичного правознавства Буковинського державного медичного університету, що підтверджено відповідними актами впровадження.

Ключові слова: судова медицина, посмертний інтервал, давність настання смерті, скловидне тіло, діагностика, біологічні тканини, оптична анізотропія, поляризаційна мікроскопія, автофлуоресцентна мікроскопія, матриця Мюллера.

ANNOTATION

Sarkisova Yu.V. Diagnostic of prescription of death coming by means of the methods of multidimensional polarization and autofluorescence microscopy of the human vitreous body. – Qualifying scientific work with the manuscript copyright.

The thesis to obtain the academic degree of Doctor of Philosophy (PhD) in the field of knowledge 22 "Health Care", in specialty 222 – "Medicine" (14.01.25 – "Forensic medicine" – Bukovinian State Medical University of the Ministry of Health of Ukraine, Chernivtsi, 2022

Despite the importance of accurate determination of the time since death (TSD) during the examination of a corpse, in particular during the investigation of criminal cases, the high variability of the available methods for estimating the postmortem interval prompts the search for new approaches to solving this problem. Therefore, the dissertation is devoted to the development of a set of new objective forensic medical criteria for expanding the functional capabilities of the accurate establishment of the TSD over a long time interval by using polarization and autofluorescence microscopy of the human vitreous body (VB).

A study was conducted of native layers and liquid samples of VB, which were selected from 150 corpses of both sexes aged from 19 to 60 years with a previously known TSD, which was from 1 to 48 hours. Exclusion criteria were: presence of cranial brain and eyeball injury, laboratory-confirmed presence of any endogenous and exogenous intoxications.

The following research methods were used as part of the dissertation work: establishment of the temporal dynamics of postmortem changes in the amount of K^+ and Na^+ in the VB of the human eye; azimuthal-invariant polarization microscopy (obtaining phase polarization images and Mueller-matrix invariants (MMI)) of the VB samples; differential Mueller-matrix mapping (obtaining differential Mueller-matrix images) of polycrystalline and protein constituent samples of the VB samples; polarization microscopic tomography of polycrystalline and protein components of the VB samples (obtaining maps of linear birefringence (LB) and circular birefringence (CB)); spectral-selective laser

autofluorescence microscopy of the VB samples (obtaining microscopic images of autofluorescence in the blue and thick-green regions of the electromagnetic spectrum); statistical and wavelet analysis of the results of experimental data (ED). Statistical data processing was carried out using MS® Excel® 2010™ and Statistica® 7.0 (StatSoft Inc., USA).

It was established that the application of a complex of polarization techniques allows tracking of the dynamics of the transformation of the polarization manifestations of postmortem changes in the polycrystalline structure of the VB layers: with the increase of TSD, the level of optical anisotropy decreases - the collagen network is disordered and the concentration of protein complexes decreases. Statistically, an increase in the degree of postmortem destruction of the polycrystalline component of VB is accompanied by a decrease in the mean (SM_1) and dispersion (SM_2), while a decrease in the level of LB and CB of VB leads to an increase in the value of asymmetry (SM_3) and kurtosis (SM_4), which characterize the distributions of ED microscopic images of human VB layers.

The "attenuation" of laser fluorescence with an increase of TSD was also experimentally demonstrated: the coordinate distributions of the value of laser autofluorescence of the polycrystalline ($\lambda_2=0.45 \mu\text{m}$) and amorphous component ($\lambda_2=0.55 \mu\text{m}$) of the VB layers with a higher value of TSD were characterized by a smaller average value and a range of scatter random values of the fluorescence intensity compared to the obtained data for VB samples with a lower value of TSD.

Thus, *the obtained results prove* a statistically reliable relationship between the TSD and changes in the polycrystalline and biochemical structure of VB samples, which is described within the framework of the application of a complex of polarization and autofluorescence microscopy methods.

Scientific novelty of the obtained results. Added scientific data on the possibilities of the method of determining the amount of K^+ and Na^+ of the VB for the forensic establishment of TSD. According to the amount of K^+ , the duration of the postmortem interval can be determined with an accuracy of up to 4-6 hours at

an interval of up to 18 hours and with an accuracy of 8-12 hours at later times.

By statistical analysis of the coordinate distributions of the MMI value of the partially depolarizing layers of ST, diagnostic criteria were revealed (SM_3 from 0.43 to 1.27; SM_4 from 0.34 to 1.38) and achieved a stable level of accuracy (45 min) determining the TSD within 24 hours. Additional large-scale selective wavelet analysis of phase polarization microscopic images and Mueller matrix maps of VB layers for the first time provided an improvement in the accuracy (40 min) of determining the TSD within 36 hours.

For the first time by the method of differential Mueller-matrix mapping of the polycrystalline component of the VB layers by estimating the temporal dynamics of the change in the magnitude of the statistical moments of the 3-4th orders amplitudes of wavelet coefficients $C_{a=15,b}$ (SM_3 from 0.24 to 1.43; SM_4 from 0.33 to 1.79) TSD was determined with a sensitivity range of 36 h and an accuracy of 30 min.

Polarization tomographic reproduction of the parameters of birefringence of the polycrystalline component of the VB layers for the first time provided the determination of the TSD with an accuracy of 20 min – for 24 hours. Scale-selective analysis of the distributions of the amplitudes of the wavelet coefficients of birefringence maps of the polycrystalline component of VB layers improved the accuracy of the tomographic method up to 15 min and extended the time interval to 36 hours.

For the first time, a method of spectral-selective fluorescence microscopy of intensity distributions of laser-induced autofluorescence of amorphous and protein component of the VB layers was developed for the accurate determination of TSD over long time intervals. A set of forensic medical criteria for determining TSD by monitoring the temporal changes in the set of statistical moments of the 1-4th orders, which characterize the distributions of the intensity of autofluorescence layers of the VB in different spectral regions (“blue” – 415 μm , “green-yellow” – 550 μm). Based on this, for the first time, the accuracy of determining the TSD of 15 min was achieved at a time interval of 36 hours after death.

The practical significance of the obtained results, and their implementation in practice. The obtained results of the conducted experimental studies broadened the understanding of the mechanism of thanatogenesis and approaches to the determination of the TSD, as well as added to the volume of knowledge regarding the peculiarities of the biochemical composition and polycrystalline structure of the human VB and their postmortem changes.

Scientific developments are implemented in the practical activities of the Chernivtsi, Ivano-Frankivsk, Kirovohrad, and Zhytomyr regional bureaus of forensic medical examination, as well as in the educational process of the Departments of Forensic Medicine and Law of National Pirogov Memorial Medical University; of Forensic Medicine and Medical Law of the Ivano-Frankivsk National Medical University; of forensic medicine and medical law of the Bogomolets National Medical University; of pathological anatomy with a sectional course and forensic medicine of the I. Horbachevsky Ternopil National Medical University; of Forensic Medicine and Medical Law of the Bukovinian State Medical University, which is confirmed by the relevant acts of implementation.

Key words: forensic medicine, post-mortem interval, time since death, vitreous body, diagnostics, biological tissue, optical anisotropy, polarizing microscopy, autofluorescence microscopy, Mueller matrix.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА:

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Бачинський ВТ, Ушенко ОГ, Ванчуляк ОЯ, Саркісова ЮВ. Дослідження біологічних тканин і рідких середовищ організму людини лазерними поляриметричними методами. Судово-медична експертиза. 2017;1:58-61. doi: [10.24061/2707-8728.1.2017.13](https://doi.org/10.24061/2707-8728.1.2017.13) (Здобувачка провела аналіз сучасних літературних джерел та оформлення статті до друку).
2. Бачинський ВТ, Ванчуляк ОЯ, Саркісова ЮВ, Ушенко ОГ. Застосування нових перспективних технологій для визначення давності настання смерті в практиці судово-медичного експерта. Клінічна та експериментальна патологія. 2017;16(1):157-9. doi: [10.24061/1727-4338.XVI.1.59.2017.35](https://doi.org/10.24061/1727-4338.XVI.1.59.2017.35) (Здобувачка провела аналіз сучасних літературних джерел та оформлення статті до друку).
3. Бачинський ВТ, Гуров ОМ, Саркісова ЮВ, Ушенко ОГ. Основні принципи оцінки морфологічного стану біологічних тканин лазерними поляриметричними методами для вирішення завдань судової медицини. Клінічна та експериментальна патологія. 2017;16(1):20-3. doi: [10.24061/1727-4338.XVI.1.59.2017.5](https://doi.org/10.24061/1727-4338.XVI.1.59.2017.5) (Здобувачка провела аналіз сучасних літературних джерел та оформлення статті до друку).
4. Бачинський ВТ, Саркісова ЮВ. Скловидне тіло як об'єкт дослідження в судово-медичній експертизі. Судово-медична експертиза. 2018;1:90-4. doi: [10.24061/2707-8728.1.2018.21](https://doi.org/10.24061/2707-8728.1.2018.21) (Здобувачка провела аналіз сучасних літературних джерел та оформлення статті до друку).
5. Бачинський ВТ, Ванчуляк ОЯ, Саркісова ЮВ, Колачова АЮ. Сучасний погляд на проблему встановлення давності настання смерті в практиці судово-медичної експертизи. Актуальні проблеми сучасної медицини: Вісник Української медичної стоматологічної академії. 2018;18(3):280-4. (Здобувачка провела аналіз сучасних літературних джерел та

оформлення статті до друку).

6. Бачинський ВТ, Саркісова ЮВ, Ванчуляк ОЯ, Гараздюк МС, Баранюк АД. Диференціальна мюллер-матрична мікроскопія білкової фракції препаратів склоподібного тіла у діагностиці давності настання смерті. Клінічна та експериментальна патологія. 2019;18(2):100-4. doi: [10.24061/1727-4338.XVIII.2.68.2019.18](https://doi.org/10.24061/1727-4338.XVIII.2.68.2019.18) *(Здобувачка проводила забір матеріалу, експериментальні дослідження, аналіз та статистичну обробку даних, написання та підготовку статті до друку).*
7. Саркісова ЮВ, Бачинський ВТ, Паливода ОГ. Можливості багатовимірної поляризаційної та автофлуоресцентної мікроскопії біологічних тканин та рідких середовищ організму людини для діагностики давності настання смерті. Судово-медична експертиза. 2019;1:17-23. doi: [10.24061/2707-8728.1.2019.3](https://doi.org/10.24061/2707-8728.1.2019.3) *(Здобувачка проводила забір матеріалу, експериментальні дослідження, аналіз та статистичну обробку даних, написання та підготовку статті до друку).*
8. Dubolazov AV, Olar OV, Pidkamin LY, Arkhelyuk AD, Motrich AV, Shaplavskiy MV, et al. Polarization-phase reconstruction of polycrystalline structure of biological tissues. Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering. 2019;11087:1108714. doi: [10.1117/12.2529182](https://doi.org/10.1117/12.2529182) *(Здобувачка проводила забір матеріалу, брала участь в експериментальній частині дослідження, аналізі та статистичній обробці даних, написанні та підготовці статті до друку).*
9. Саркісова ЮВ, Бачинський ВТ, Ушенко ОГ, Мельник ММ. Поляризаційна мікроскопічна томографія полікристалічної структури препаратів склоподібного тіла у діагностиці давності настання смерті. Сучасні медичні технології. 2019;4:54-61. doi: [10.34287/ММТ.4\(43\).2019.10](https://doi.org/10.34287/ММТ.4(43).2019.10) *(Здобувачка проводила забір матеріалу, експериментальні дослідження, аналіз та статистичну обробку*

- даних, написання та підготовку статті до друку).*
10. Bachinskyi VT, Sarkisova YuV, Vanchuliak OYa, Garazdiuk MS, Palyvoda OG. Post-mortem interval estimation by changes in the optical density of the vitreous humour. *Folia Societatis Medicinae Legalis Slovaca*. 2019;9(1):66-9. *(Здобувачка проводила забір матеріалу, експериментальні дослідження, аналіз та статистичну обробку даних, написання та підготовку статті до друку, переклад статті на англійську мову).*
 11. Bachinskiy V, Sarkisova Yu, Vanchulyak O, Ushenko O, Zhytaryuk V, Dvorjak V, et al. Polarization correlometry of microscopic images of layers of biological tissues and films of biological liquids in the diagnostics of pressure of death. *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*. 2019;11087:110870Q. doi: [10.1117/12.2529190](https://doi.org/10.1117/12.2529190) *(Здобувачка проводила забір матеріалу, аналіз та узагальнення отриманих результатів, брала участь в експериментальній частині дослідження, підготовці статті до друку та перекладі на англійську мову).*
 12. Бачинський ВТ, Саркісова ЮВ. Можливості діагностики давності настання смерті шляхом визначення кількості K^+ та Na^+ у склістому тілі ока людини. *Буковинський медичний вісник*. 2020;24(2):3-8. doi: [10.24061/2413-0737.XXIV.2.94.2020.35](https://doi.org/10.24061/2413-0737.XXIV.2.94.2020.35) *(Здобувачка проводила забір матеріалу, експериментальні дослідження, аналіз та статистичну обробку даних, написання та підготовку статті до друку).*
 13. Саркісова ЮВ, Маланчук СМ. Спектрально-селективна лазерно-індукована автофлуоресцентна мікроскопія полікристалічної фракції скловидного тіла людини в діагностиці давності настання смерті. *Судово-медична експертиза*. 2020;1:61-9. doi: [10.24061/2707-8728.1.2020.8](https://doi.org/10.24061/2707-8728.1.2020.8) *(Здобувачка проводила забір матеріалу, експериментальні дослідження, аналіз та статистичну обробку даних, написання та підготовку статті до друку).*

14. Sarkisova YV. Diagnosis of the time since death by using of the azimuth-invariant Muller-matrix microscopy method of the human vitreous body. Буковинський медичний вісник. 2020;24(1):128-33. doi: [10.24061/2413-0737.XXIV.1.93.2020.17](https://doi.org/10.24061/2413-0737.XXIV.1.93.2020.17) (Здобувачка проводила забір матеріалу, експериментальні дослідження, аналіз та статистичну обробку даних, написання та підготовку статті до друку, переклад статті на англійську мову).
15. Ushenko AG, Sarkisova Y, Bachinsky VT, Vanchuliak OY, Dubolazov AV, Ushenko YO, et al. Diagnostics of the prescriptions of death by a method of azimuthally-invariant Mueller-matrix microscopy. Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering. 2020;11581:115810J. doi: [10.1117/12.2580335](https://doi.org/10.1117/12.2580335) (Здобувачка проводила забір матеріалу, аналіз та узагальнення отриманих результатів, брала участь в експериментальній частині дослідження, підготовці статті до друку та перекладі на англійську мову).
16. Ushenko A, Sarkisova Yu, Dubolazov A, Ushenko Yu, Tomka Yu, Karachevtsev A, et al. Informativeness of the medical-physical method for analyzing the distributions of the degree of local depolarization of microscopic images of histological sections of the intestinal wall for the diagnosis of dolechosigma. Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering. 2020;11369:113691O. doi: [10.1117/12.2553954](https://doi.org/10.1117/12.2553954) (Здобувачка брала участь в проведенні експериментальної частини дослідження, аналізі та узагальненні отриманих результатів, підготовці статті до друку).
17. Mishalov VD, Bachinsky VT, Vanchulyak OYa, Zavolovitch AY, Sarkisova YV, Ushenko AG, et al. Classification of the polarization properties of polycrystalline networks of biological fluid films. Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering. 2020;11581:115811I. doi: [10.1117/12.2580706](https://doi.org/10.1117/12.2580706) (Здобувачка брала участь в проведенні експериментальної частини дослідження, аналізі та

- узагальненні отриманих результатів, підготовці статті до друку).*
18. Mishalov VD, Syvokorovskaya AVS, Bachinskiy VT, Sarkisova YYu, Ushenko AG, Dubolazov OV, et al. Jones-matrix mapping of polycrystalline networks of layers of main types of amino acids. Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering. 2020;11456:1145606. doi: [10.1117/12.2536245](https://doi.org/10.1117/12.2536245) *(Здобувачка проводила забір матеріалу, аналіз та узагальнення отриманих результатів, брала участь в експериментальній частині дослідження, підготовці статті до друку).*
 19. Pavlyukovich A, Pavlyukovich N, Sarkisova Y, Dubolazov O, Ushenko A, Ushenko V, et al. Azimuthally invariant Mueller-matrix tomography of linear dichroism of polycrystalline networks of biological tissues. Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering. 2020;11718:117181J. doi: [10.1117/12.2571213](https://doi.org/10.1117/12.2571213) *(Здобувачка брала участь в проведенні експериментальної частини дослідження, аналізі та узагальненні отриманих результатів, підготовці статті до друку).*
 20. Sarkisova Yu, Bachinskiy VT, Garazdyuk M, Vanchulyak OYa, Litvinenko OYu, Ushenko OG, et al. Differential Muller-matrix microscopy of protein fractions of vitreous preparations in diagnostics of the pressure of death. IFMBE Proceedings. 2020;77:503-6. doi: [10.1007/978-3-030-31866-6_90](https://doi.org/10.1007/978-3-030-31866-6_90) *(Здобувачка проводила забір матеріалу, аналіз та узагальнення отриманих результатів, брала участь в експериментальній частині дослідження, підготовці статті до друку та перекладі на англійську мову).*
 21. Sarkisova Yu, Bachynskiy V, Palamar A, Palibroda N, Patrati M. Diagnostic possibilities of analysis of the map of linear birefringence of the crystal fraction of vitreous body for accurate determination of the time since death. Proceedings of CBU in Medicine and Pharmacy. 2020;1:82-9. doi: [10.12955/pmp.v1.103](https://doi.org/10.12955/pmp.v1.103) *(Здобувачка проводила забір матеріалу, експериментальні дослідження, аналіз та статистичну обробку даних, написання та підготовку статті до друку, переклад статті на*

англійську мову).

22. Саркісова ЮВ. Діагностичні можливості точного встановлення давності настання смерті за концентрацією електролітів у склистому тілі ока людини. Судово-медична експертиза. 2021;1:79-85. doi: [10.24061/2707-8728.1.2021.10](https://doi.org/10.24061/2707-8728.1.2021.10) *(Здобувачка проводила забір матеріалу, експериментальні дослідження, аналіз та статистичну обробку даних, написання та підготовку статті до друку).*
23. Sarkisova YV, Bachynskiy VT, Garazdiuk OI, Garazdiuk IV, Teleki IM. Postmortem interval estimation by the method of wavelet analysis of stokes-polarimetric mapping data of human vitreous body layers. Wiad Lek. 2021;74(9 Cz 1):2118-22. doi: [10.36740/WLek202109117](https://doi.org/10.36740/WLek202109117) *(Здобувачка проводила забір матеріалу, експериментальні дослідження, обробку статистичних даних, аналіз отриманих результатів, написання та підготовку статті до друку, переклад статті на англійську мову).*
- Наукові праці, що засвідчують апробацію матеріалів дисертації:**
24. Бачинський ВТ, Ванчуляк ОЯ, Саркісова ЮВ. Сучасний підхід до діагностики патологічних станів методом лазерного поляриметричного дослідження біологічних тканин та середовищ організму людини. В: Матеріали наук.-практ. конф. з міжнар. участю Нові судово-медичні підходи до вирішення проблем механічної травми; 2017 Черв 15-16; Одеса. Одеса; 2017, с. 135-8. *(Здобувачка проводила забір матеріалу, експериментальні дослідження, статистичну обробку даних, аналіз отриманих результатів, написання та оформлення тез до друку).*
25. Garazdiuk M, Garazdiuk O, Vanchuliak O, Sarkisova Yu. Time since death estimation by the method of laser polarimetry of polycrystalline cerebrospinal fluid films images. In: Proceedings of 11th Antwerp medical students' congress AMSC 2017: Under pressure; 2017 Sep 13-17. Antwerp. Antwerp; 2017, p. 21. *(Здобувачка брала участь у заборі матеріалу та проведенні експериментальної частини дослідження).*
26. Bachinskyi VT, Vanchuliak OY, Zozulia VM, Sarkisova YV, Garazdiuk

- MS, Garazdiuk OI. Diagnosing pathological conditions using laser polarimetry methods in forensic medical practice. *Folia Societatis Medicinae Legalis Slovacae*. 2017;7(2):98-100. *(Здобувачка провела аналіз сучасних літературних джерел та оформлення матеріалів до друку)*.
27. Саркісова Ю. Перспективна можливість встановлення давності настання смерті за змінами статистичної структури лазерно-індукованої флуоресценції молекул білків і нікотинамідаденіндинуклеотиду відновленого мазків склоподібного тіла людини. В: Матеріали XXIII Міжнародного медичного конгресу студентів та молодих вчених; 2019 Квіт 15-17; Тернопіль. Тернопіль: Укрмедкнига; 2019, с. 330. *(Здобувачка проводила забір матеріалу, експериментальні дослідження, статистичну обробку даних, аналіз отриманих результатів, написання та оформлення тез до друку)*.
28. Саркісова ЮВ. Дослідження судово-медичної ефективності визначення давності настання смерті за змінами статистичної структури спектрально-селективних розподілів інтенсивності лазерно-індукованої флуоресценції зразків склоподібного тіла людини. В: Матеріали XVI Міжнар. наук. конф. студентів, молодих вчених та фахівців Актуальні питання сучасної медицини; 2019 Бер 28-29; Харків. Харків; 2019, с. 236-7. *(Здобувачка проводила забір матеріалу, експериментальні дослідження, статистичну обробку даних, аналіз отриманих результатів, написання та оформлення тез до друку)*.
29. Саркісова ЮВ, Гараздюк МС. Дослідження часових посмертних змін статистичної структури азимутів поляризації мікроскопічних зображень склоподібного тіла людини. *ВІМСО Journal*. 2019;2019:398. *(Здобувачка проводила забір матеріалу, експериментальні дослідження, статистичну обробку даних, аналіз отриманих результатів, написання та оформлення тез до друку)*.
30. Саркісова ЮВ, Максимчук НО. Застосування статистичного аналізу лазерних поляриметричних зображень склоподібного тіла людини для

- уточнення давності настання смерті. В: Матеріали XVI наук. конф. студентів та молодих вчених з міжнар. участю Перший крок в науку – 2019. 2019 Квіт 18-19; Вінниця. Вінниця; 2019, с. 462-3. *(Здобувачка проводила забір матеріалу, експериментальні дослідження, статистичну обробку даних, аналіз отриманих результатів, написання та оформлення тез до друку).*
31. Саркісова ЮВ, Гараздюк МС, Паливода ОГ, Андрійчук АО. Спектрально-селективна лазерна автофлуоресцентна мікроскопія препаратів аморфної складової склоподібного тіла ока людини у діагностиці давності настання смерті. В: Матеріали наук.-практ. конф. з міжнар. участю Актуальні проблеми морфології в теоретичній та практичній медицині; 2019 Жов 24-25; Чернівці. Чернівці: БДМУ; 2019, с. 90-1. *(Здобувачка проводила забір матеріалу, експериментальні дослідження, статистичну обробку даних, аналіз отриманих результатів, написання та оформлення тез до друку).*
32. Garazdiuk M, Bachynskiy V, Vanchuliak O, Garazdiuk O, Sarkisova Yu. Comparative analysis of laser polarimetry methods of polycrystalline films of cerebrospinal fluid for post-mortem interval estimation. Proceedings Innovations in Science and Education. 2019;7:724-8. doi: [10.12955/cbur.v7.1445](https://doi.org/10.12955/cbur.v7.1445) *(Здобувачка брала участь у проведенні експериментальної частини дослідження та аналізі й узагальненні отриманих результатів).*
33. Sarkisova Y, Vanchuliak O, Bachynskiy V, Garazdiuk M, Pavliukovych O. Differential Muller-matrix microscopy of the polycrystalline component of smears of the vitreous body to estimate the time since death. Rechtsmedizin. 2019;29(4):370. *(Здобувачка проводила забір матеріалу, експериментальні дослідження, статистичну обробку даних, аналіз отриманих результатів, оформлення тез до друку та переклад на англійську мову).*
34. Sarkisova Y, Garazdiuk M, Vanchuliak O, Pavliukovych O, Garazdiuk O.

Post-mortem interval estimation by the method of azimuthal-invariant polarising microscopy of human eye vitreous body. *Rechtsmedizin*. 2019;29(4):370-1. *(Здобувачка проводила забір матеріалу, експериментальні дослідження, статистичну обробку даних, аналіз отриманих результатів, оформлення тез до друку та переклад на англійську мову).*

35. Sarkisova YV. Perspective use of polarizational microscopy of human vitreous body for diagnostics of the time since death. В: Матеріали 100-ї підсумкової наукової конференції професорсько-викладацького персоналу Вищого державного навчального закладу “Буковинський державний медичний університет”; 2019 Лют 11, 13, 18; Чернівці. Чернівці: Медуніверситет; 2019, с. 41-2. *(Здобувачка проводила забір матеріалу, експериментальні дослідження, статистичну обробку даних, аналіз отриманих результатів, оформлення тез до друку та переклад на англійську мову).*
36. Sarkisova YV. Polarization microscopic tomography of the protein structure of vitreous body preparations in the diagnosis of the time since death. В: Матеріали підсумкової 102-ї наук.-практ. конф. з міжнар. участю професорсько-викладацького персоналу Буковинського державного медичного університету; 2021 Лют 08, 10, 15; Чернівці. Чернівці: Медуніверситет; 2021, с. 17-8. *(Здобувачка проводила забір матеріалу, експериментальні дослідження, статистичну обробку даних, аналіз отриманих результатів, оформлення тез до друку та переклад на англійську мову).*

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

37. Бачинський ВТ, Ванчуляк ОЯ, Саркісова ЮВ, Максимчук НО, винахідники; Вищий державний навчальний заклад України “Буковинський державний медичний університет”, патентовласник. Спосіб посмертної діагностики гострої коронарної недостатності.

- Патент України № 132328. 2019 Лют 25. *(Здобувачка брала участь у проведенні патентного пошуку, зборі матеріалу для дослідження та його аналізі).*
38. Бачинський ВТ, Ванчуляк ОЯ, Саркісова ЮВ, Максимчук НО, винахідники; Вищий державний навчальний заклад України “Буковинський державний медичний університет”, патентовласник. Спосіб посмертної діагностики хронічної ішемічної хвороби серця. Патент України № 132331. 2019 Лют 25. *(Здобувачка брала участь у проведенні патентного пошуку, зборі матеріалу для дослідження та його аналізі).*
39. Гараздюк МС, Гараздюк ОІ, Ванчуляк ОЯ, Саркісова ЮВ, винахідники; Вищий державний навчальний заклад України “Буковинський державний медичний університет”, патентовласник. Спосіб визначення давності настання смерті на довготривалому часовому проміжку за допомогою аналізу полікристалічних плівок спинномозкової рідини трупа людини. Патент України № 134903. 2019 Чер 10. *(Здобувачка брала участь у проведенні патентного пошуку, зборі матеріалу для дослідження та його аналізі).*
40. Саркісова ЮВ, Бачинський ВТ, Ванчуляк ОЯ, Ушенко ОГ, Ушенко ЮО, Дуболазов ОВ, та ін., винахідники; Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, патентовласник. Спосіб азимутально-інваріантного визначення давності настання смерті за Мюллер-матричним картографуванням шарів скловидного тіла трупа людини. Патент України № 143823. 2020 Серп 10. *(Здобувачка провела патентний пошук, збір матеріалів та їх аналіз, сформулювала формулу корисної моделі та оформила заявку).*
41. Саркісова ЮВ, Бачинський ВТ, Ванчуляк ОЯ, Ушенко ОГ, Ушенко ЮО, Дуболазов ОВ, та ін., винахідники; Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, патентовласник. Спосіб азимутально-інваріантного визначення давності настання смерті за

- Мюллер-матричною реконструкцією двопронезаломлення шарів скловидного тіла трупа людини. Патент України № 143821. 2020 Серп 10. *(Здобувачка провела патентний пошук, збір матеріалів та їх аналіз, сформулювала формулу корисної моделі та оформила заяву).*
42. Саркісова ЮВ, Бачинський ВТ, Ванчуляк ОЯ, Ушенко ОГ, Ушенко ЮО, Дуболазов ОВ, та ін., винахідники; Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, патентовласник. Спосіб визначення давності настання смерті методом спектрально-селективної лазерної флуоресцентної мікроскопії шарів скловидного тіла. Патент України № 143815. 2020 Серп 10. *(Здобувачка провела патентний пошук, збір матеріалів та їх аналіз, сформулювала формулу корисної моделі та оформила заяву).*
43. Саркісова ЮВ, Бачинський ВТ, Ванчуляк ОЯ, Ушенко ОГ, Ушенко ЮО, Дуболазов ОВ, та ін., винахідники; Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, патентовласник. Спосіб визначення давності настання смерті методом стокс-поляриметричного картографування шарів скловидного тіла. Патент України № 143792. 2020 Серп 10. *(Здобувачка провела патентний пошук, збір матеріалів та їх аналіз, сформулювала формулу корисної моделі та оформила заяву).*

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ОДИНИЦЬ ВИМІРЮВАННЯ, СКОРОЧЕНЬ.....	25
ВСТУП.....	26
РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН ПРОБЛЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ ДАВНОСТІ НАСТАННЯ СМЕРТІ (ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ).....	36
1.1. Сучасні методи визначення давності настання смерті.....	36
1.2. Методи дослідження скловидного тіла ока людини для визначення давності настання смерті.....	43
1.3. Можливість використання методів лазерної поляриметрії в дослідженні біологічних тканин людини.....	47
РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛ І МЕТОДИ.....	51
2.1. Матеріал дослідження.....	51
2.2. Дизайн і структурно-логічна схема дисертаційного дослідження.....	53
2.3. Модель структури шарів скловидного тіла.....	55
2.4. Методи дослідження.....	57
2.5. Аналітичні алгоритми обробки даних.....	62
2.5.1. Статистичний аналіз.....	62
2.5.2. Вейвлет-аналіз.....	64
2.6. Алгоритм визначення точності встановлення давності настання смерті.....	64
РОЗДІЛ 3. СУДОВО-МЕДИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ КІЛЬКОСТІ K^+ І NA^+ СКЛОВИДНОГО ТІЛА ОКА ЛЮДИНИ У ВСТАНОВЛЕННІ ОБ'ЄКТИВНИХ КРИТЕРІЇВ ДАВНОСТІ НАСТАННЯ СМЕРТІ.....	70

Дослідження взаємозв'язку між даними концентрації K^+ і Na^+ у зразках скловидного тіла та давністю настання смерті.....	70
РОЗДІЛ 4. ДІАГНОСТИКА ДАВНОСТІ НАСТАННЯ СМЕРТІ МЕТОДАМИ АЗИМУТАЛЬНО-ІНВАРІАНТНОЇ ПОЛЯРИЗАЦІЙНОЇ МІКРОСКОПІЇ СКЛОВИДНОГО ТІЛА ЛЮДИНИ.....	76
4.1. Часова трансформація статистичної структури поляризаційних мап шарів скловидного тіла в посмертному періоді.....	77
4.2. Масштабно-селективний аналіз поляризаційних мап шарів скловидного тіла в діагностиці давності настання смерті.....	82
4.3. Метод азимутально-інваріантного Мюллер-матричного картографування шарів скловидного тіла в діагностиці давності настання смерті.....	88
4.4. Вейвлет-аналіз розподілів Мюллер-матричних інваріантів шарів скловидного тіла в діагностиці давності настання смерті.....	92
РОЗДІЛ 5. ДИФЕРЕНЦІЙНА МЮЛЛЕР-МАТРИЧНА МІКРОСКОПІЯ ПРЕПАРАТІВ СКЛОВИДНОГО ТІЛА В ДІАГНОСТИЦІ ДАВНОСТІ НАСТАННЯ СМЕРТІ....	100
5.1. Диференційні матричні зображення та часова динаміка зміни полікристалічної складової препаратів скловидного тіла людини з різною давністю настання смерті.....	101
5.2. Масштабно-селективний аналіз часової зміни статистичної структури диференційних матричних зображень полікристалічної складової препаратів скловидного тіла ока людини з різною давністю	

настання смерті.....	106
5.3. Диференційні матричні зображення та часова динаміка зміни білкової складової препаратів скловидного тіла при різній давності настання смерті.....	111
5.4. Вейвлет-аналіз часової зміни статистичної структури диференційних матричних зображень білкової складової препаратів скловидного тіла людей при різній давності настання смерті.....	116
РОЗДІЛ 6. ПОЛЯРИЗАЦІЙНА МІКРОСКОПІЧНА ТОМОГРАФІЯ ПОЛІКРИСТАЛІЧНОЇ ТА БІЛКОВОЇ СКЛАДОВИХ ПРЕПАРАТІВ СКЛОВИДНОГО ТІЛА ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ ДАВНОСТІ НАСТАННЯ СМЕРТІ.....	
6.1. Трансформація лінійного двопронезаломлення полікристалічної складової препаратів скловидного тіла для різної давності настання смерті.....	123
6.2. Масштабно-селективний аналіз трансформації мап лінійного двопронезаломлення кристалічної фракції препаратів скловидного тіла людини з різною давністю настання смерті.....	128
6.3. Трансформація білкової складової препаратів скловидного тіла людини в різні проміжки давності настання смерті.....	133
6.4. Вейвлет-аналіз часової зміни розподілів величини циркулярного двопронезаломлення білкової фракції препаратів скловидного тіла в постмортальному періоді..	137
РОЗДІЛ 7. СПЕКТРАЛЬНО-СЕЛЕКТИВНА ЛАЗЕРНО-ІНДУКОВАНА АВТОФЛУОРЕСЦЕНТНА МІКРОСКОПІЯ ПРЕПАРАТІВ СКЛОВИДНОГО ТІЛА ЛЮДИНИ В ДІАГНОСТИЦІ ДАВНОСТІ НАСТАННЯ	

СМЕРТІ.....	145
7.1. Біохімічні та медичні аспекти флуоресцентної діагностики.....	146
7.1.1. Явище нативної автофлуоресценції біологічних тканин.....	146
7.2. Мапи лазерної автофлуоресценції аморфної складової шарів скловидного тіла.....	149
7.3. Мапи лазерної автофлуоресценції полікристалічної складової шарів скловидного тіла.....	155
АНАЛІЗ ТА УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	163
ВИСНОВКИ.....	175
ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ.....	177
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	179
ДОДАТКИ.....	204

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ОДИНИЦЬ ВИМІРЮВАННЯ,
СКОРОЧЕНЬ

БТ	біологічні тканини
БФ	білкова фракція
ДЕБФ	диференційний елемент білкової фракції
ДЕПС	диференційний елемент полікристалічної складової
ДНС	давність настання смерті
ЕД	експериментальні дані
ІФАС	інтенсивність флуоресценції аморфної складової
ІФБС	інтенсивність флуоресценції білкової складової
ЛД	лінійне двопронезаломлення
ЛП	лазерні поляриметричні
ММЗ	Мюллер-матричні зображення
ММІ	Мюллер-матричний інваріант
ПС	полікристалічна складова
СО	середовища організму
СТ	скловидне тіло
ФД	флуоресцентна діагностика
ФП	фазовий параметр
ХІХС	хронічна ішемічна хвороба серця
ЦД	циркулярне двопронезаломлення
ЧНС	час настання смерті
λ	довжина хвилі

ВСТУП

Обґрунтування теми дослідження.

Однією з найважливіших проблем судової медицини є визначення ДНС, покращення точності її встановлення, як у перші години, так і на всьому інтервалі постмортальних морфологічних змін біологічних тканин (БТ) різноманітних органів трупа. На сучасному етапі розвитку судово-медичної науки та практики не втрачає своєї актуальності модернізація використовуваних і розробка нових, більш досконаlih, критеріїв, методів і підходів до визначення ДНС. Підвищення точності й об'єктивності встановлення ДНС експертним шляхом значною мірою полегшує оперативно-розшукові дії, спрямовані на розкриття злочинів проти життя громадян [1-4].

У спеціальній науковій літературі, виходячи з практичного та наукового досвіду, виділяють наступні основні напрями визначення ДНС експертним шляхом: візуально-описовий (вивчення ранніх і пізніх трупних явищ, суправітальних реакцій), інструментальний (біохімічні, фізичні й інші інструментальні та лабораторні методи дослідження), математичне моделювання посмертних процесів [4]. Невисокі точність та об'єктивність встановлення ДНС традиційними візуально-описовими методами спонукали науковців впроваджувати в судово-медичну практику сучасні лабораторні й інструментальні методи, що дозволяють перейти від якісної до кількісної оцінки змін, що відбуваються в БТ трупа [2]. Такі часові зміни в БТ людини супроводжуються складним комплексом зміни їхніх біохімічного складу та морфологічної структури [1, 3].

Низка науковців присвятили свої праці розв'язанню цього завдання, поєднуючи судово-медичні підходи та сучасні біофізичні діагностичні техніки. Нині існують два основних напрями їхніх досліджень:

- група 1 – сукупність медико-фізичних методів дослідження взаємозв'язків між післясмертними змінами структури БТ різної морфологічної будови та причинами й ДНС [5-13];

- група 2 – оптико-фізичні та біохімічні методи комплексного багатофункціонального об'єктивного моніторингу змін біохімічної та полікристалічної структур рідин органів людини [14-16].

До основи групи 1 входять системи та методики багатопараметричної цифрової мікроскопії післясмертних змін оптично-анізотропної структури оптично-тонких (недеполяризуючих) гістологічних зрізів БТ органів людини. До об'єктивного оцінювання одержаних даних про часову динаміку посмертної трансформації координатної структури мікроскопічних зображень залучені аналітичні підходи на основі статистичного та масштабно-селективного (вейвлет) аналізу розподілів азимута, еліптичності поляризації, параметрів вектора Стокса, елементів матриці Мюллера. [5] На цій основі розроблені об'єктивні цифрові методики визначення ДНС на часових інтервалах від 10 (тканина мозку) до 115 год (дерма шкіри, м'язова тканина) [9, 10, 13].

До основи групи 2 входить комплекс методів цитометрії, спектрофотометрії, поляризаційно-кореляційної та флуоресцентної мікроскопії оптично-тонких полікристалічних плівок ліквору трупа людини. На цій основі розроблені нові судово-медичні об'єктивні критерії для покращення точності встановлення ДНС до $\pm 7,5$ хв на короткотривалому часовому інтервалі до 6 год з використанням статистичного та вейвлет-аналізу посмертних змін спектрофотометричної щільності ліквору та координатних розподілів поляризаційно-кореляційних і флуоресцентних мап його полікристалічних плівок [14, 15].

З іншого боку ефективність сукупності методик з обох груп оптико-фізичних методів різко погіршується для оптично-товстих або частково деполаризуючих біологічних шарів [16,17].

Крім цього, нині в джерелах вітчизняної та світової літератури практично відсутні дані щодо можливостей об'єктивного біофізичного моніторингу змін біохімічної та полікристалічної структур найбільш розповсюдженого класу біологічних зразків – частково деполаризуючих

тканин органів людини, зокрема СТ.

Усе це потребує розширення арсеналу експериментальних методів дослідження таких об'єктів на базі диференційного Мюллер-матричного картографування.

Поряд із цим у судово-медичній практиці досі не виявлені та невідомі БТ органів людини, для яких біофізичний моніторинг післясмертних змін забезпечує можливість розширення часового інтервалу точного встановлення ДНС.

Отже, актуальність дисертаційного дослідження зумовлена необхідністю розробки сукупності нових судово-медичних об'єктивних цифрових критеріїв для розширення інтервалу точного визначення ДНС на основі комплексного статистичного та масштабно-селективного аналізу даних азимутально-інваріантної поляризаційної, диференціальної Мюллер-матричної, мікроскопічної поляризаційної томографії, а також спектрально-селективного автофлуоресцентного картографування частково деполаризуючих шарів СТ людини.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалась як фрагмент комплексної науководослідної роботи кафедри судової медицини та медичного правознавства Буковинського державного медичного університету: "Експертна діагностика змін біологічних тканин та середовищ людини за морфологічними та лабораторними показниками у вирішенні актуальних питань судово-медичної науки та практики" (номер державної реєстрації 0118u001191). Автор є співвиконавцем науково-дослідної роботи.

Мета дослідження. Розробити комплекс об'єктивних судово-медичних критеріїв для розширення функціональних можливостей точного встановлення ДНС на довготривалому часовому інтервалі за даними багатомірної поляризаційної та автофлуоресцентної мікроскопії шляхом статистичного та вейвлет-аналізу часової динаміки зміни оптичної структури частково деполаризуючих шарів СТ людини.

Завдання дослідження:

1. Розробити й обґрунтувати новий комплекс методів об'єктивної азимутально-інваріантної поляризаційної, диференційної Мюллер-матричної, мікроскопічної поляризаційної томографії та спектрально-селективного автофлуоресцентного точного оцінювання часових змін біохімічної та полікристалічної структур шарів СТ в післясмертному періоді на довготривалому проміжку.

2. Дослідити достовірність посмертної діагностики ДНС шляхом визначення кількості K^+ і Na^+ СТ людини.

3. Розробити та вдосконалити об'єктивні судово-медичні критерії високоточного та довготривалого визначення ДНС шляхом часового моніторингу посмертних змін величини набору статистичних моментів 1-4-го порядків, що характеризують:

- координатні розподіли величини фазового параметра (ФП) мікроскопічних зображень і фазового ММІ шарів СТ;
- координатні розподіли величини елементів диференційної матриці білкової фракції (БФ) та полікристалічної складової (ПС) шарів СТ;
- координатні розподіли величини ЦД та ЛД шарів СТ людини;
- координатні розподіли величини інтенсивності лазерно-індукованої автофлуоресценції аморфної та білкової складових шарів СТ.

4. Досягти покращення операційних характеристик методів азимутально-інваріантної поляризаційної, диференційної Мюллер-матричної, мікроскопічної поляризаційної томографії шарів СТ для посмертної діагностики ДНС шляхом застосування масштабного селективного вейвлет-аналізу.

5. Здійснити комплексне порівняльне дослідження інформативності сукупності методів визначення кількості K^+ і Na^+ СТ, азимутально-інваріантної поляризаційної, диференціальної Мюллер-матричної,

спектрально-селективної автофлуоресцентної мікроскопії та мікроскопічної поляризаційної томографії шарів СТ в посмертній діагностиці ДНС.

6. Розробити практичні рекомендації для використання в судово-медичній практиці статистичного та вейвлет-аналізу поляризаційних, Мюллер-матричних та автофлуоресцентних мап шарів СТ для високоточного встановлення ДНС на довготривалому часовому проміжку.

Об'єкт дослідження: зміни біохімічного та полікристалічного складу СТ та трансформація його мікроскопічних зображень у післясмертному періоді.

Предмет дослідження: операційні характеристики діагностичного комплексу поляризаційних методів у експертній оцінці ДНС.

Методи дослідження: методи визначення кількості K^+ і Na^+ СТ; азимутально-інваріантна поляризаційна мікроскопія (одержання фазових поляризаційних зображень і ММІ); диференційне Мюллер-матричне картографування (отримання диференційних ММЗ і мап ЛД та ЦД); мікроскопічна поляризаційна томографія (одержання мап диференційного елементу білкової фракції (ДЕБФ) та полікристалічної складової (ДЕПС) шарів СТ); спектрально-селективна лазерна автофлуоресценція (отримання мікроскопічних зображень автофлуоресценції в синій і товсто-зеленій областях електромагнітного спектра); статистичний та вейвлет-аналіз результатів ЕД.

Наукова новизна отриманих результатів.

Уперше для високоточного визначення ДНС на довготривалому проміжку часу використаний комплексний підхід на основі азимутально-інваріантних поляризаційних, диференційних Мюллер-матричних і спектрально-селективних автофлуоресцентних методів дослідження часових змін біохімічної та полікристалічної структур шарів СТ в постмортальному періоді.

Вперше для встановлення ДНС застосований метод азимутально-інваріантної поляризаційної мікроскопії, що забезпечило розширення

функціональних можливостей методу на випадок діагностики частково-деполяризованих шарів СТ й отримання експериментально відтвореного набору взаємозв'язків між змінами величини статистичних моментів 1-4-го порядків, що характеризують розподіли ФП мікроскопічних зображень і ММІ, та довготривалими часовими інтервалами ДНС.

Вперше шляхом статистичного аналізу координатних розподілів величини ФП мікроскопічних зображень і ММІ частково деполяризованих шарів СТ виявлені діагностичні критерії (асиметрія й ексцес), досягнутий стабільний рівень точності (50 хв) визначення ДНС протягом 24 год. Додатковий масштабно-селективний вейвлет-аналіз фазових поляризаційних мікроскопічних зображень і Мюллер-матричних мап шарів СТ вперше забезпечив покращення точності (45 хв) встановлення ДНС впродовж 36 год.

Вперше методом диференційного Мюллер-матричного картографування розподілів параметрів полікристалічної структури шарів СТ розроблені принципи мікроскопічної поляризаційної томографії й одержані часові залежності величини статистичних моментів 1-4-го порядків і амплітуд вейвлет-коефіцієнтів мап посмертних змін ЛД та ЦД білкової складової та сіток колагенових фібрил СТ.

Поляризаційне томографічне відтворення параметрів двопронезаломлення білкової складової та сіток колагенових фібрил шарів СТ вперше забезпечило визначення ДНС з точністю 20-25 хв протягом 24 год. Масштабно-селективний аналіз розподілів величини амплітуд вейвлет-коефіцієнтів мап двопронезаломлення покращив точність томографічного методу до 15 хв і розширив часовий інтервал до 36 год.

Вперше для високоточного визначення ДНС на довготривалих часових проміжках розроблений метод спектрально-селективної флуоресцентної мікроскопії розподілів інтенсивності лазерно-індукованої автофлуоресценції аморфної та білкової складових шарів СТ.

Вперше встановлена сукупність судово-медичних критеріїв визначення ДНС шляхом моніторингу часових змін величини набору

статистичних моментів 1-4-го порядків, що характеризують розподіли величини інтенсивності автофлуоресценції шарів СТ в різних спектральних ділянках (“синя” – 415 мкм, “зелено-жовта” – 550 мкм).

Уперше визначено, що найчутливішою до посмертних змін полікристалічної структури шарів СТ є часова динаміка зміни величини статистичних моментів 3-4-го порядків, що характеризують координатні розподіли інтенсивності лазерно-індукованої флуоресценції полікристалічної фракції. На основі цього вперше досягнута точність визначення ДНС величиною 15 хв на часовому інтервалі 36 год після настання смерті.

Практичне значення отриманих результатів. Отримані результати проведених досліджень доповнюють класичні морфологічні методики визначення ДНС та розширюють наукові дані про механізм танатогенезу на основі особливостей зміни біохімічного складу та полікристалічної структури СТ людини. Базуючись на отриманих даних розроблено комплекс методів об’єктивної азимутально-інваріантної поляризаційної, диференційної Мюллер-матричної, мікроскопічної поляризаційної томографії та спектрально-селективного автофлуоресцентної мікроскопії шарів СТ, що дозволить значно підвищити точність встановлення ДНС на тривалому часовому проміжку, та, в свою чергу, забезпечить вирішення нагальних питань слідства.

Впровадження результатів дослідження. Основні положення дисертаційного дослідження впроваджені в практичну діяльність КМУ «Обласне бюро судово-медичної експертизи» Чернівецької ОДА, Івано-Франківського обласного бюро судово-медичної експертизи, КЗ «Кіровоградське обласне бюро судово-медичної експертизи», обласного бюро судово-медичної експертизи Житомирської обласної ради. Також, матеріали дисертаційної роботи використовуються на практичних заняттях та в лекційному курсі кафедрами судової медицини та права Вінницького національного медичного університету ім. М.І. Пирогова; судової медицини

та медичного права Івано-Франківського національного медичного університету; судової медицини та медичного права Національного медичного університету імені О.О. Богомольця; патологічної анатомії з секційним курсом та судовою медициною Тернопільського національного медичного університету ім. І.Я. Горбачевського; судової медицини та медичного правознавства Буковинського державного медичного університету, що підтверджено відповідними актами впровадження.

Особистий внесок здобувача. Дисертація є самостійно виконаною науковою працею здобувачки. Авторкою особисто здійснено формулювання основних теоретичних та практичних положень дисертаційної роботи, проведено патентно-інформаційний пошук та визначено актуальність теми й основні напрями подальших досліджень на основі даних аналізу сучасних літературних джерел. Разом із науковим керівником визначено мету та завдання наукової роботи, складено план, підібрано методи дослідження. Здобувачка особисто провела забір матеріалу, експериментальні дослідження. Дисертанткою здійснено комп'ютерний аналіз, обробку даних поляризаційної та флуоресцентної мікроскопії, теоретичне обґрунтування експериментальних досліджень, узагальнення їх результатів. Здобувачка самостійно написала та проілюструвала всі розділи дисертаційної роботи, виконала літературне оформлення наукових джерел. Спільно з науковим керівником сформулювала кінцеві висновки та практичні рекомендації. Дисертантка брала безпосередню участь у написанні наукових публікацій, оформленні доповідей та впровадженні результатів дисертаційної роботи у практичну діяльність бюро судово-медичних експертиз України. У наукових публікаціях, що оприлюднені в співавторстві, здобувачці належить основний творчий доробок і фактичний матеріал. Запозичень ідей і розробок співавторів публікацій не було.

Апробація результатів дисертації.

Основні положення дисертаційної роботи оприлюднено на вітчизняних та міжнародних науково-практичних конференціях: науково-практичній

конференції з міжнародною участю “Нові судово-медичні підходи до вирішення проблем механічної травми” (м. Одеса, 15-16 червня 2017 р.), 11th Antwerp medical students’ congress “Under pressure” (м. Антверпен, 13-17 вересня 2017 р.), Буковинському міжнародному медико-фармацевтичному конгресі студентів і молодих учених ВІМСО 2019 (м. Чернівці, 2019 р.), 100-й підсумковій науковій конференції професорсько-викладацького персоналу БДМУ (присвяченій 75-річчю БДМУ) (м. Чернівці, 11, 13, 18 лютого 2019 р.), XVI Науково-практичній конференції студентів та молодих вчених з міжнародною участю “Перший крок в науку – 2019” (м. Вінниця, 18-19 квітня 2019 р.), Міжнародному судово-медичному конгресі (м. Чернівці, 4-5 липня 2019 р.), Jahrestagung der DGRM (м. Гамбург, 17-21 вересня 2019 р.), 100 years of Institute of Forensic Medicine (м. Братислава, 2019 р.), XXIII міжнародному медичному конгресі молодих вчених (м. Тернопіль, 15-17 квітня 2019 р.), XVI міжнародній науковій конференції студентів, молодих вчених та фахівців “Актуальні питання сучасної медицини” (м. Харків, 2019 р.), науково-практичній конференції з міжнародною участю “Актуальні проблеми морфології в теоретичній та практичній медицині” (м. Чернівці, 24, 25 жовтня 2019 р.), Congress of the German Society of Legal Medicine – (м. Люцерн, 2020 р.), Буковинському міжнародному медико-фармацевтичному конгресі студентів і молодих учених ВІМСО 2020 (м. Чернівці, 2020 р.), CBU international conference on innovations in science and education (м. Прага, 18-20 березня 2020 р.), Підсумковій 102-й науково-практичній конференції з міжнародною участю професорсько-викладацького персоналу БДМУ (м. Чернівці, 8, 10, 15 лютого 2021 р.), а також на засіданнях кафедри судової медицини та медичного правознавства Буковинського державного медичного університету.

Публікації.

За матеріалами дисертаційного дослідження здобувачкою опубліковано 43 наукових праці, зокрема 23 статті, 9 з них у виданнях, проіндексованих у базах даних Scopus і Web of Science, 2 в закордонних виданнях, 11 у

періодичних виданнях, включених до переліку наукових фахових видань України, 13 тез, опублікованих у збірниках матеріалів наукових конференцій, конгресів, 7 патентів України на корисну модель.

Структура та обсяг дисертації.

Дисертація викладена українською мовою на 226 сторінках комп'ютерного тексту, обсяг основного тексту якої складає 138 сторінок. Робота складається з анотації, вступу, огляду літератури, матеріалу і методів досліджень, 5 розділів власних досліджень, аналізу та узагальнення одержаних результатів, висновків, практичних рекомендацій, списку джерел літератури, додатків. Дисертація ілюстрована 33 таблицями, 59 рисунками. Список використаної літератури містить 222 джерела, зокрема 36 – кирилицею, 186 – латиницею.

РОЗДІЛ 1

СУЧАСНИЙ СТАН ПРОБЛЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ ДАВНОСТІ НАСТАННЯ СМЕРТІ (ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ)

1.1. Сучасні методи визначення давності настання смерті

Питання встановлення ДНС залишається актуальним з моменту його виникнення та на всьому протязі існування судової медицини для судово-медичних експертів, органів слідства та суду, що неодноразово обговорювалося на медичних з'їздах і конференціях різних рівнів [1-17]. Висока точність визначення ДНС є важливою метою медико-юридичного розслідування та запорукою успішного розкриття злочинів, спрямованих проти життя та здоров'я громадян [4, 18-21]. Інтерес слідчих органів у розв'язанні питання ДНС в більшості випадків обумовлений можливістю встановлення або виключення провини підозрюваних і пошуку особи, яка вчинила злочин. При проведенні експертиз органи слідства, дізнання та суду вимагають від судових медиків гранично точних і об'єктивних відповідей на поставлені питання, як докази у кримінальній справі допускають науково-обґрунтовані висновки експерта, отримані з застосуванням сучасних методик, перевірених на практиці [21, 22]. Саме тому дуже важливе звуження діапазону значень ДНС, адже точно відомий час смерті дозволяє співробітникам правоохоронних органів на етапах розслідування кримінальної справи відтворити обставини події, скоротити коло підозрюваних осіб і більш аргументовано сформулювати висновок [1, 22-24].

Стандарти оцінки ДНС в ранньому посмертному періоді отримані науковими внесками багатьох дослідників світу [3, 20, 25]. Проте нині найбільш доступним методом визначення ДНС в судовій медицині й одночасно методикою первинного використання є візуальна оцінка постмортальних змін, що являють собою макроскопічне відбиття біохімічних і біофізичних процесів, що відбуваються в тілі людини після смерті. До них відносять трупні плями, охолодження, висихання, трупне залякання,

суправітальні реакції тощо. Вони є досить інформативними, мають важливе судово-медичне значення, проте в низці випадків не дають можливості достовірно та точно встановити ДНС людини. Адже природні біологічні, а також артефактичні зміни, що виникають у людському організмі після смерті, є складними та в основному непередбачуваними, оскільки на ці явища впливає широкий перелік змінних [19, 26-29].

Саме тому дослідники прагнуть удосконалити наявні та розробити нові сучасні методики діагностики ДНС [30-32]. Д.Б. Гладких і співавт., досліджуючи суправітальну “зіничну реакцію” на введення в передню камеру ока мезатону та пілокарпіну, вважали її самостійним критерієм визначення ДНС в ранньому постмортальному періоді. Вченими був розроблений алгоритм встановлення ДНС для практичного використання в судово-медичній практиці. Проте застосування методики дозволяє отримати достовірні результати за умови перебування трупа при температурі навколишнього середовища від $+15^{\circ}\text{C}$ до $+22^{\circ}\text{C}$. Також вона потребує з’ясування впливу на перебіг суправітальної “зіничної реакції” положення та пози трупа, стану алкогольного сп’яніння, високої температури й інших чинників навколишнього середовища [22].

Судово-медичні експерти часто проводять визначення ДНС людини шляхом термометрії з встановленням динаміки охолодження тіла [1-3, 25, 33-40]. Серед найвідоміших світових розробок, що застосовується в практичній експертній діяльності вважають номограми Хенсге [41]. Значна поширеність їх застосування пов’язана із відносно точними результатами, за рахунок параметризованих арифметичних виразів, та врахуванням під час обчислень ваги померлого, зміни температури тіла й навколишнього середовища. Однак, найточніші результати за використання даних номограм можливі лише стосовно оголеного тіла, що лежить витягнуто на нерухомому повітрі, що є значним недоліком при проведенні рутинних обстежень за різноманітних обставин [41].

Також, варто відзначити, що одним з найбільш істотних недоліків

відомих способів реєстрації температури трупа є інвазивний характер термометрії – прокол передньої черевної стінки з уведенням термодатчика в тканину печінки або прокол основи решітчастої кістки черепа з уведенням датчика термометра в тканину головного мозку [40, 42]. Такі способи термореєстрації порушують цілісність діагностичної зони, що тягне за собою зміну її теплової взаємодії з навколишнім середовищем і, як наслідок, може впливати на точність судження про ДНС. Тому все більше науковців займаються розробкою програмно-апаратного рішення неінвазивної термометричної діагностики ДНС людини, розширюють діагностичні зони термометрії, розробляють комп'ютерні програми, що прискорюють і спрощують математичні розрахунки [33, 40, 42]. Зокрема, науковці пропонують проведення тимпанічної термометрії, що має переваги над традиційними термометричними методиками, які полягають у простоті та неінвазивному характері діагностичної процедури. Найточніші результати отримуються на ранніх термінах постмортального періоду (до 10-ї години). Для полегшення діяльності практичного судово-медичного експерта автори рекомендують використовувати комп'ютерну програму “Timpratica 1.0”, що прискорює та спрощує математичні розрахунки за їхнім алгоритмом [33]. Також вчені при визначенні ДНС за часом охолодження об'єктів для зниження похибки розрахунків пропонують застосовувати багатопараметричний оптимізаційний підхід за методом Пауелла [25]. На думку дослідників, використання алгоритмів оптимізації для уточнення параметрів моделі дозволяє істотно скоротити похибку визначення ДНС від 3 до 6 год залежно від часу охолодження й амплітуди коливань температури середовища [25].

Проте термометричні методи діагностики ДНС незалежно від зони термометрії володіють певними недоліками, а саме вплив деяких факторів, що обумовлюють індивідуальність досліджуваного суб'єкта (стать, вік, наявність етанолу в крові), також у низці випадків категорія смерті здатна істотно вплинути на динаміку охолодження мертвого тіла [36-42].

Для підвищення точності визначення ДНС в ранньому постмортальному періоді U. Gonnade та співавт. пропонують оцінку посмертної динаміки зміни вологості епідермісу. Вченими було встановлено, що кількісні показники корнеометрії починають зменшуватися відразу після настання смерті, зазвичай досягаючи максимального зниження до 24-ї години посмертного періоду, причому зменшення значень відбувається паралельно збільшенню ДНС [43]. Проте дана методика потребує оснащення бюро судово-медичної експертизи додатковим устаткуванням, що дозволяє встановлювати вологість епідермісу в умовних одиницях.

Оскільки точність візуальних методів дослідження потребує покращення, фокус судових медиків зміщений на біохімічні методи, що ґрунтуються на систематичних патофізіологічних змінах і виявляються точнішими через менший вплив зовнішніх умов [44-50]. Метою багатьох науковців був пошук хімічних параметрів для точної оцінки ДНС, використовуючи БТ та рідини, які змінюються після смерті, такі як сироватка крові, спинномозкова, перикардіальна, синовіальна рідини, а також СТ [51-53].

Особливої уваги заслуговують наукові доробки присвячені вивченню посмертних змін білків-маркерів БТ та рідин організму [52, 54-56]. Нині на моделях тварин були досягнуті перспективні результати діагностики ДНС, зосереджені на аналізі деградації рибонуклеїнової кислоти (РНК) та колориметричних змін пульпи зуба [58]. Проте багато з цих методів потребують екстраполяції на людину та подальшого тестування. Автори висловили сумнів щодо можливості застосування у фактичних криміналістичних випадках [58-60]. Попри можливість визначення точної ДНС в стандартизованій тваринній моделі, це зазвичай неможливо у фактичних криміналістичних випадках.

У нещодавніх наукових розробках S. Pittner і співавт. [54, 61] повідомляли про підхід, заснований на деградації м'язових протеїнів, для визначення ДНС у тваринній моделі та підтвердили даний метод як перспективний для дослідження людської м'язової тканини у фактичних

криміналістичних випадках. Науковці використовували електрофорез у поліакриламідному гелі з додецилсульфатом натрію для аналізу часової деградації білків м'язової тканини, таких як тайтин, небулін, десмін, тропонін Т і SERCA1. Отримані результати демонструють регулярне, передбачуване розщеплювання даних протеїнів із плином часу після настання смерті [54]. Однак, слід зауважити, що біохімічні методи можуть залежати від зовнішніх умов, що впливають на фізіологічні зміни організму [57].

Ще одним цікавим напрямком методологічного рішення, що був запропонований як можливий для судово-медичного визначення інтервалу ДНС, є оцінка мікробіому людини [19, 62, 63]. У одній із робіт автори проводили вивчення популяції бактерій кишківника людини, щоб визначити кількісні, залежні від ДНС зміни. Мікрофлору кишківника неодноразово відбирали з проксимальної товстої кишки померлих людей. Було встановлено, що відносна поширеність *Bacteroides* і *Lactobacillus* знижувалася експоненціально зі збільшенням ДНС з частотою $Nt=0,977e-0,01444t$ ($r^2=0,537$; $p<0,001$) і $Nt=0,019e-0,0087t$ ($r^2=0,396$; $p<0,001$). Тому для діагностики ДНС можна використовувати встановлення зміни кількісних показників бактеріодів і лактобактерій [64, 65]. Проте недоліками даного способу є відсутність мікробіологічної лабораторії в складі бюро судово-медичної експертизи, висока вартість дослідження РНК мікробіому, велика часозатратність, а також залежність результату дослідження від індивідуальних особливостей людини [66-70].

S.S. Jat і співавт. [71] запропонували методику встановлення ДНС за змінами функціональної активності нейтрофілів і фагоцитарної активності лейкоцитів. У результаті вивчення імунних показників крові (НСТ-тесту та фагоцитозу) авторами було встановлене статистично значуще зниження їхніх середніх значень у всіх дослідних групах. Проте при застосуванні даної методики результат залежить від роду смерті, відмічається менш достовірне зниження показників на ранніх і пізніх термінах після настання смерті.

F. Wehner і його колеги [72] вивчали кореляцію ЧНС з імунореакцією до різних антигенів, як-от інсулін, тиреоглобулін або кальцитонін. Ці дослідження полягають у тому, що при збільшенні інтервалу ДНС третинна структура антигена зазнає постмортальних змін внаслідок денатурації білка. Наприклад, колоїдні та фолікулярні клітини щитоподібної залози дають позитивну імунореакцію на тиреоглобулін до 5 днів після смерті, тоді як жоден з випадків ДНС понад 13 днів не показував такої реакції. Проте даний метод не можна застосовувати на ранніх термінах після настання смерті, а також для більш пізнього часового проміжку.

Бразильські науковці вивчали можливості використання флуоресцентної спектроскопії шкіри для визначення інтервалу після настання смерті. Проте це дослідження проводилося на тваринній моделі та перед вимірюванням здійснювали видалення волосся з ділянки, що впливало на результати вимірювання [73].

Досить цікавим та оригінальним є дослідження японських вчених, що полягає у встановленні ДНС на основі біологічного годинника [74]. Було проаналізовано експресію генів біологічного годинника (BMAL1 та NR1D1) за допомогою RT-PCR тестів. Науковці встановили, що співвідношення NR1D1/BMAL1 генів було значно вищим у випадках смерті в ранковий період доби, тоді як BMAL1/NR1D1 було вищим у випадках летального випадку в вечірній час. Однак, недоліками даної методики є відсутність точних часових рамок ДНС та вплив на досліджувані параметри віку, а також наявність черепно-мозкової травми [74].

Була виконана низка робіт, спрямованих на об'єднання різних методів при вивченні трупа з метою визначення ДНС, в яких автори, використовуючи комплексний підхід, висували оригінальні методики [75-77]. В одній з них вперше було запропоноване комплексне морфологічне та біофізичне дослідження для визначення ДНС на пізніх стадіях, що включало оцінку темпу гнильної деструкції за макроскопічними ознаками, визначення діелектричних показників і магнітної сприйнятливості інтактних і

травмованих м'яких тканин трупів і їхніх фрагментів [77]. Було виявлено, що в перші 7-8 діб помертвого періоду темп гниття м'язів у цілих трупах значно нижчий, ніж у фрагментах.

В інших дослідженнях науковці пропонували застосування дифузійно-зваженої магнітно-резонансної томографії (МРТ) для оцінки стану тканини шляхом моніторингу руху вільних молекул води на клітинному рівні. Водночас ступінь дифузії таких молекул можна оцінити шляхом кількісної характеристики у вигляді вимірюваного коефіцієнта дифузії. Безліч значень останнього для певної біологічної структури складають функціональну карту дифузійно-зважених зображень. Вона дозволяє оцінити мінімальні зміни тканини [78]. Обмеженням даного методу є необхідність оснащення бюро судово-медичної експертизи МРТ-апаратом. Також при дослідженні автори не враховували вплив факторів зовнішнього середовища, причин смерті, статеві-вікові особливості померлих і не брали до уваги факт впливу магнітного поля високої індукції на динаміку помертвих змін. Слід зазначити, що зі збільшенням ДНС дана методика стає неточною. Згідно з авторами, в часовому проміжку 24-36 год від настання смерті внаслідок деградації білкових молекул лізосомальними ферментами зростає дифузія вільних молекул води в певних структурах тканин, на що вказують високі значення коефіцієнта дифузії.

Ще одним перспективним методом дослідження вважають оптичну фотоколориметрію синовіальної рідини великих суглобів трупа людини на пізніх термінах помертвого періоду [79]. Згідно з даними авторів, даний об'єкт добре зберігається в трупі та змінюється виключно під впливом процесів, що відбуваються в самому мертвому тілі. Розрахунок ДНС здійснюється на підставі величини оптичної щільності синовіальної рідини на дослідних довжинах хвиль 440 і 480 нм. Проте в ході проведених досліджень було встановлене існування залежності від впливу чинників, як-от вік особи, наявність етанолу в крові, категорія смерті. Крім того, дана методика не апробована на ранніх етапах після настання смерті.

Однак, не дивлячись на велику кількість існуючих методик встановлення ДНС, вчені продовжують пошук оптимального об'єкту дослідження, який зможе забезпечити оптимальну точність отриманих результатів. Перспективним вважають вивчення СТ ока людини, про що свідчить велика кількість напрацювань в світовій літературі [80-84].

1.2. Методи дослідження скловидного тіла ока людини для визначення давності настання смерті

СТ – анатомічне утворення, що має прозорі властивості й особливу будову. Воно унікальне за своїм складом і анатомічним розташуванням, ізольоване від інших рідин організму. СТ заповнює 65 % порожнини ока, його об'єм складає 3,7-4,0 см³. Дане анатомічне утворення є біологічною гідрофільною колоїдною системою, що складається на 98-99 % з води, близько 10 % води перебувають у зв'язаному стані. Решта 2 % припадають на білки, полісахариди, протеоглікани та метаболіти. СТ містить білок вітреїн і гіалуронову кислоту. Комплекс взаємодії різних типів колагену в СТ, їхнє особливе просторове поєднання між собою та гіалуроною кислотою забезпечують його прозорість, рівень в'язкості, світлозаломлювання, формують струму та регулюють процес проникнення через нього різних речовин [84-87].

СТ є оптично прозорим позаклітинним матриксом, що покриває сітківку, війчасте тіло та кришталик. Зовні СТ обмежується пограничною мембраною – корою СТ, що утворює нещільні з'єднання з сітківкою. Погранична мембрана поділяється на дві частини. Задня знаходиться позаду від зубчастої лінії, а передня – попереду. Передня гіалоїдна мембрана поділяється на зонулярну та ретролентальну частини, межею між цими відділами є зв'язка Вігера, вона йде від мембрани СТ в напрямку до капсули кришталика. Задня гіалоїдна мембрана міцно спаяна з сітківкою за зубчастою лінією та краєм диска зорового нерва [86-89].

Власне саме СТ розділене особливими мембранами на окремі камери –

воронкоподібні комплекси (інша їх назва – вітреальні тракти). Виділяють гіалоїдний, вінцевий, серединний і преретинальний тракти. Вінцевий і серединний починаються від зонулярного відділу передньої гіалоїдної мембрани, така будова цих комплексів стабілізує передню частину СТ при рухах усього очного яблука. Усі тракти мають форму, вигнуту у вигляді англійської літери S [87, 88].

Будова кортикального шару представлена гіалоцитами – особливими клітинами, що виробляють ретикулін і гіалуронову кислоту. Ці речовини необхідні для того, щоб структура всього СТ ока була незмінною. СТ всередині має Клокетів канал і кілька дрібніших каналів (Петрі, Ганновера, лентикомакулярний і оптико-циліарний канали), що вважаються залишками тканин артерії, яка бере участь у кровопостачанні кришталика ока в період внутрішньоутробної закладки органів. [89]

Електролітний склад СТ включає: калій (7,7 (3,3-12,0) мекв/л), кальцій (3,6 (2,8-5,2) мекв/л), натрій (144,0 (118,0-154,0) мекв/л), фосфор (1,2 (0,1-3,3) мекв/л), хлориди (114,0 (89,0-145,0) мекв/л), азотовмісні сполуки (мг/100 мл) (білірубін (0-0,001), креатинін (1,2 (0,3-3,0)), сечовина (79,0 (24,0-172)), вуглеводи (глюкоза (62,0 (17,0-105,0) мг/100 мл), гексоза (мін 37,0 мкг/г)) [85, 90, 91].

Деякі автори проводили мас-спектрометрію СТ [92]. Згідно з їх результатами, була виявлена велика кількість унікальних білків, серед яких у найбільшій кількості були: трансферин, альбумін, кластерин, інгібітори серпін пептидази, транстиретин, кристалін, фібрилін 1, віментин, імуноглобуліни, енолаза, С3, С4А, С4В, церулоплазмін, піруват-кіназа. Кожна з підструктур СТ варіювала один від одного за складністю та могла бути ідентифікованою як окрема тканина на основі її молекулярного підпису [93, 94].

У сучасних літературних джерелах висвітлені багато наукових праць, присвячених дослідженню СТ ока людини, зокрема встановленню ДНС [95, 96]. На нашу думку, така зацікавленість СТ як об'єктом дослідження

зумовлена тим, що воно володіє сталістю хімічного складу, оточене щільними оболонками, що забезпечують його стерильність та ізолюваність від інших середовищ організму, а також легко доступне для вивчення [95-97].

Була проведена велика кількість досліджень, пов'язаних з вивченням вмісту калію в рідині СТ залежно від ДНС. Рідину СТ досліджували за допомогою полум'яного фотометра. Згідно з отриманими даними, кількість калію закономірно збільшувалася паралельно до термінів, що пройшли після смерті. На думку авторів, температура навколишнього середовища не відігравала жодної ролі. Розроблена методика дозволяла встановлювати ДНС протягом перших 48-54 год після неї. Проте на результати впливав вид смерті. Отже, за допомогою даного методу можна визначити ДНС з точністю 3-6 год у випадках раптової смерті, 6-12 год при механічних травмах, до 12 год при інших видах смерті (або без урахування виду та причини смерті) [98-100].

Згідно з даними J.M. Skeie, C.N. Roibal, V.B. Mahajan [93], надійність вищеописаного методу зменшується зі збільшенням ДНС. Їхні дослідження показали, що рівень калію в СТ може варіювати між очима однієї та тієї ж людини в один і той самий час. Крім того, супутні патологічні стани та фактори, що прискорюють розкладання, також можуть впливати на кількість калію в СТ [101-103]. Крім того, значення концентрації калію в СТ буде змінюватися залежно від приладів, які використовували для вимірювання, що значно ускладнює інтерпретацію та порівняння отриманих результатів [82, 101, 104].

Ще одним дослідженням СТ для встановлення ДНС було визначення його електропровідності [105]. Науковці розробили методику визначення величини поляризації СТ перемінним струмом. Була встановлена залежність величини коефіцієнта дисперсії електропровідності СТ від ДНС. Запропонований алгоритм дозволяє визначити час смерті в часовому інтервалі з 3-ї по 8-му доби по смертного періоду. Наявність етанолу в крові та види смерті не впливають на електричний опір СТ. Проте слід враховувати

вікові особливості досліджуваного об'єкта, оскільки здатність СТ до електричної поляризації під дією перемінного струму змінюється з віком, що є загальною тенденцією організму, що старіє, до зміни своїх морфофункціональних характеристик [95, 106].

Також слід відзначити наукові дослідження інших авторів [107], що полягають у визначенні ДНС в пізньому посмертному періоді методом спінових зондів з використанням СТ. Швидкість реакції відновлення 1-оксил-4-оксо-2.2.6.6.-тетраметил-піперидину залежно від ДНС можна описати рівнянням регресії. Використання даного рівняння дозволяє визначити ДНС з точністю 3 год з 3-ї по 10-ту добу після настання смерті. Водночас необхідно враховувати наявність етанолу в крові трупа, а також температуру навколишнього середовища та відносну вологість повітря.

Дослідники з Іспанії припустили, що мікро-РНК, що присутня в СТ, може бути свого роду “біологічним чорним ящиком”, в якому зберігається інформація про фізіологічні й екологічні обставини на момент смерті людини [108]. У ході дослідження були виявлені відмінності мікро-РНК СТ (mir-142-5p та mir541) в осіб, які померли протягом дня та вночі. Проте подальшого з'ясування потребує природа цих змін: виникнення під впливом навколишнього середовища на тіло в момент смерті, ендогенного циркадного ритму або внаслідок поєднання обох вказаних факторів. Дана методика нині володіє низкою важливих методологічних проблем, як-от низька лабораторна відтворюваність, висока мінливість результатів і необхідність вибору еталонних генів.

Згідно з літературними даними, СТ є перспективним дослідним матеріалом, оскільки володіє сталим хімічним складом, стерильне та легко доступне для вивчення [102, 109-120]. Враховуючи значну оптичну активність, перспективним буде дослідження СТ ока людини методами багатомірної поляризаційної й автофлуоресцентної мікроскопії для виявлення характерних змін залежно від ЧНС, оскільки дана методика володіє порівняною простотою, зручністю в практичному застосуванні та невисокою вартістю практичної реалізації.

1.3. Можливість використання методів лазерної поляриметрії в дослідженні біологічних тканин людини

До кінця ХХ століття розмежування наукових досліджень на вузькі дисциплінарні напрямки вичерпало свій потенціал і стало безперспективним. Нині загальносвітовою тенденцією є міждисциплінарна інтеграція для розробки принципово новітніх критеріїв, що стануть базисом для вирішення складних медико-біологічних завдань [121-127].

Багато вчених світу вбачають значні перспективи в застосуванні лазера як методу діагностики. Адже лазер здатен генерувати промінь із заданою довжиною хвилі та постійною різницею фаз (когерентне випромінювання), що дозволяє відкрити деякі властивості БТ, що не доступні для звичайного спостереження [128, 129]. Справді нині розробляються прогресивні методики, що базуються на використанні вищезгаданого когерентного випромінювання в поєднанні з його поляризацією та суттєво розширюють можливості не тільки судової медицини, але й медичної науки загалом. Поляриметрична візуалізація дозволяє виявляти патологічні зміни в тканинах, оскільки стан поляризації оптичного випромінювання є дуже важливим джерелом інформації при дослідженні оптичних середовищ і БТ [126, 127, 130]. Просторовий розподіл, періодичність і розмірні характеристики структур БТ впливають на стан поляризації розсіяного випромінювання, що може бути виявлено поляриметрами [131-135].

Нині на ринку представлена велика кількість автоматизованих поляриметричних систем (ПС), зокрема Anton Paar (Австрія), Rudolph Research Analytical (США), Bellingham+Stanley (Великобританія), Hinds Instruments (США), Axometrics (США), SKZ Industrial Co (Китай). Між вказаними приладами є деякі відмінності в методі вимірювання, типах реєстрації та джерела випромінювання, встановленому режимі роботи вимірювання, можливості обертання оптичних компонентів, типі модулятора поляризації випромінювання, ступені автоматизації та методі генерації

поляризації вхідного випромінювання [126, 132, 136].

Сертифіковані цифрові ПС для біомедичних досліджень не виробляються промисловістю України, проте в провідних українських лабораторіях для досліджень об'єктів різної природи розроблені й успішно використовуються в наукових і практичних цілях оригінальні експериментальні установки поляриметрів. До таких лабораторій належать лабораторії наукових шкіл професора, доктора фізико-математичних наук О.Г. Ушенка (Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича), професора, доктора фізико-математичних наук Я.І. Шопи (Львівський національний університет ім. Івана Франка), професора, доктора фізико-математичних наук С.Н. Савенкова (Київський національний університет імені Тараса Шевченка), професора, доктора технічних наук В.Г. Петрука (Вінницький національний технічний університет) тощо [5, 136-143].

З іншого боку, нині активно розвивається застосування лазерних поляриметричних (ЛП) методик у дослідженні БТ і середовищ організму (СО) людини. Зокрема, для потреб судово-медичної експертизи були проведені новітні міждисциплінарні наукові дослідження в галузі медицини й оптичної фізики [144, 145]. Були здійснені пошук і розробка ЛП критеріїв діагностики прижиттєвих і посмертних змін БТ і СО людини для встановлення ДНС при різних її видах, часу формування гематом, прижиттєвості утворення тілесних ушкоджень, діагностики гострої ішемії міокарда [6-15, 143, 146]. Згідно з результатами авторів, часовий діапазон визначення ДНС обумовлений особливостями посмертних змін лазерних зображень БТ в інтервалі від 1 до 140 год з точністю 1,5 год [10-15, 146-149].

В.Т. Бачинський і співавт. [14, 15, 150] пропонують методику двовимірного стокс-поляриметричного картографування розподілів азимута поляризації мікроскопічних зображень плівок ліквору в часовому моніторингу посмертних змін оптичних проявів полікристалічних мереж з метою визначення ДНС. Науковцями був встановлений інтервал 34 год з точністю визначення ДНС 35 хв.

На нашу думку, отримані результати застосування ЛП методик значною мірою розширюють наявні уявлення про динаміку посмертних змін БТ і СО людини та вказують на перспективність подальших досліджень для підвищення точності визначення ДНС. Найкращим об'єктом для дослідження, на нашу думку, є СТ ока людини.

Ми пропонуємо розглянути СТ з оптичної точки зору. Воно являє собою багатокомпонентну рідину, до складу якої входять дві основних фракції: оптично ізотропна (оптично гомогенний комплекс гіалуронової кислоти з білками та гіалоцитами) й оптично анізотропна (рідкокристалічна фаза, що складається з сукупності рідких кристалів різних типів: фібринових ниток, колагенових волокон) [85, 95]. Така структура надає СТ людини властивості одновісних рідких кристалів, що дозволяє досліджувати його ЛП методами.

Виходячи з запропонованої моделі структури СТ, можна припустити, що в процесі його зондування лазерним випромінюванням одночасно будуть формуватися оптично-ізотропні складові зображення, що відповідають координатному розподілу ізотропних складових СТ, та поляризаційно неоднорідні складові зображення, зумовлені впливами оптично анізотропних рідкокристалічних структурних елементів [151-156].

Отже, можна дослідити головні посмертні оптичні зміни СТ людини при різних термінах настання смерті, що пов'язані з трансформацією його оптико-анізотропної структури.

Матеріали розділу викладено в наступних публікаціях::

1. Бачинський ВТ, Ушенко ОГ, Ванчуляк ОЯ, Саркісова ЮВ. Дослідження біологічних тканин і рідких середовищ організму людини лазерними поляриметричними методами. Судово-медична експертиза. 2017;1:58-61. doi: [10.24061/2707-8728.1.2017.13](https://doi.org/10.24061/2707-8728.1.2017.13)
2. Бачинський ВТ, Ванчуляк ОЯ, Саркісова ЮВ, Ушенко ОГ. Застосування нових перспективних технологій для визначення давності настання смерті

- в практиці судово-медичного експерта. Клінічна та експериментальна патологія. 2017;16(1):157-9. doi: [10.24061/1727-4338.XVI.1.59.2017.35](https://doi.org/10.24061/1727-4338.XVI.1.59.2017.35)
3. Бачинський ВТ, Гуров ОМ, Саркісова ЮВ, Ушенко ОГ. Основні принципи оцінки морфологічного стану біологічних тканин лазерними поляриметричними методами для вирішення завдань судової медицини. Клінічна та експериментальна патологія. 2017;16(1):20-3. doi: [10.24061/1727-4338.XVI.1.59.2017.5](https://doi.org/10.24061/1727-4338.XVI.1.59.2017.5)
 4. Бачинський ВТ, Саркісова ЮВ. Скловидне тіло як об'єкт дослідження в судово-медичній експертизі. Судово-медична експертиза. 2018;1:90-4. doi: [10.24061/2707-8728.1.2018.21](https://doi.org/10.24061/2707-8728.1.2018.21)
 5. Бачинський ВТ, Ванчуляк ОЯ, Саркісова ЮВ, Колачова АЮ. Сучасний погляд на проблему встановлення давності настання смерті в практиці судово-медичної експертизи. Актуальні проблеми сучасної медицини: Вісник Української медичної стоматологічної академії. 2018;18(3):280-4.
 6. Bachinskyi VT, Vanchuliak OY, Zozulia VM, Sarkisova YV, Garazdiuk MS, Garazdiuk OI. Diagnosing pathological conditions using laser polarimetry methods in forensic medical practice. *Folia Societatis Medicinae Legalis Slovacae*. 2017;7(2):98-100.

РОЗДІЛ 2

МАТЕРІАЛ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Даний розділ містить структурно-логічну схему дисертаційного дослідження, характеристику матеріалу та критерії включення й виключення з дослідження. Детально охарактеризовано методи дослідження та наведено приклади обчислень. Охарактеризовано принципи статистичного опрацювання отриманих даних. Представлено алгоритм визначення точності встановлення ДНС.

2.1. Матеріал дослідження

Для встановлення діагностичних можливостей лазерних поляризаційно-кореляційних і автофлуоресцентних методів у діагностиці ДНС вивчалися зразки СТ трупів людей, померлих від серцево-судинної патології, з відомим часом настання смерті.

Забір СТ здійснювався в приміщенні комунальної медичної установи “Обласне бюро судово-медичної експертизи” Департаменту охорони здоров’я Чернівецької обласної державної адміністрації при змішаному освітленні, температурі повітря $+18-22^{\circ}\text{C}$ та відносній вологості 60-75 %. Прокол проводили за допомогою шприца (об’єм 1 мл, розмір голки $0,33\text{ мм}\times 13,0\text{ мм}$) у ділянці зовнішнього кута ока на відстані 5-6 мм від склеро-рогівкового з’єднання в кількості 0,5 мл на різних проміжках ДНС. Після закінчення забору вводили в СТ 0,5 мл фізіологічного розчину з косметичною метою. Застосовували методику ретельного щадного всмоктування об’єкта для запобігання відшаруванню та забрудненню дослідного матеріалу клітинами сітківки.

Для дослідження СТ ЛП методиками препарати готувалися в ідентичних умовах шляхом нанесення краплі СТ на оптично однорідне скло одразу після забору. Дослідження концентрації K^+ і Na^+ проводили на аналізаторі електролітів і газів ROCHE COBAS B121. Якщо дослідження СТ

здійснювали не одразу після забору, то зберігали його в холодильнику при температурі 1-4°C.

Розподіл осіб, зразки СТ яких досліджувалися в даній роботі, наведений у табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Розподіл за віком і статтю осіб, скловидне тіло яких досліджувалося

Вік	Чоловіки		Жінки		Разом	%
	абс.	%	абс.	%		
16-20	1	0,8	-	-	1	0,6
21-30	2	1,63	1	3,5	3	2,0
31-40	19	15,5	5	17,8	24	16,0
41-50	58	47,5	13	46,4	71	47,3
51-60	42	34,4	9	32,1	51	34
Усього	122	100	28	100	150	100

Критеріями виключення були: наявність черепно-мозкової травми та травми очного яблука, лабораторно підтверджена присутність будь-яких ендогенних та екзогенних інтоксикацій.

Основні захворювання, що стали причиною смерті осіб, зразки СТ яких досліджувалися, наведені в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Розподіл за діагнозами померлих осіб, скловидне тіло яких досліджувалося

Діагноз	Чоловіки		Жінки		Разом	%
	абс.	%	абс.	%		
Дифузний дрібновогнищевий кардіосклероз, хронічна ішемічна хвороба серця (ХІХС)	80	65,6	18	64,3	98	65,3
Кардіогенний шок, гострий трансмуральний інфаркт міокарда	11	9,0	1	3,6	12	8,0
Постінфарктний кардіосклероз, ХІХС	17	14,0	1	3,6	18	12,1
Гостра коронарна недостатність, гостра ішемічна хвороба серця	10	8,2	5	17,8	15	10,0
Тампонада серця кров'ю.	3	2,4	3	10,7	6	4,0
ТЕЛА	1	0,8	-	-	1	0,6
Усього	122	100,0	28	100,0	150	100,0

2.2. Дизайн і структурно-логічна схема дисертаційного дослідження

Дисертаційна робота спрямована на розробку комплексу судово-медичних методик, що формують новий метод високоточного визначення ДНС.

Даний судово-медичний метод базується на визначенні та діагностичному використанні набору об'єктивних (цифрових) взаємозв'язків між координатними розподілами азимутально-інваріантних поляризаційних, Мюллер-матричних і флуоресцентних параметрів мікроскопічних зображень, що характеризують оптичну анізотропію шарів СТ людини, та ДНС.

З цією метою нами була реалізована низка взаємодоповнюючих методик поляриметричного, Мюллер-матричного та флуоресцентного мікроскопічного дослідження структури шарів СТ людини, що характеризує наступна структурно-логічна схема (рис. 2.1).

З судово-медичного, біофізичного та інформаційного погляду наведений на рис. 2.1 дизайн дисертаційного дослідження ефективності визначення ДНС включає наступні основні етапи:

1. встановлення концентрації K^+ і Na^+ у СТ людини при різній ДНС;
2. традиційне азимутально-інваріантне Стокс-поляриметричне картографування мікроскопічних зображень зразків СТ та визначення з набору 4 параметрів вектора Стокса ФП;
3. Мюллер-матричне картографування шарів СТ та встановлення набору 16 елементів матриці Мюллера;
4. визначення координатного розподілу фазового ММІ шару СТ;
5. обчислення на базі сукупності ММЗ набору координатних розподілів елементів диференційної матриці 1-го порядку – диференційне Мюллер-матричне картографування шарів СТ;
6. визначення алгоритмів поляризаційного відтворення координатних розподілів величини ЛД та ЦД оптично анізотропної складової шарів СТ;

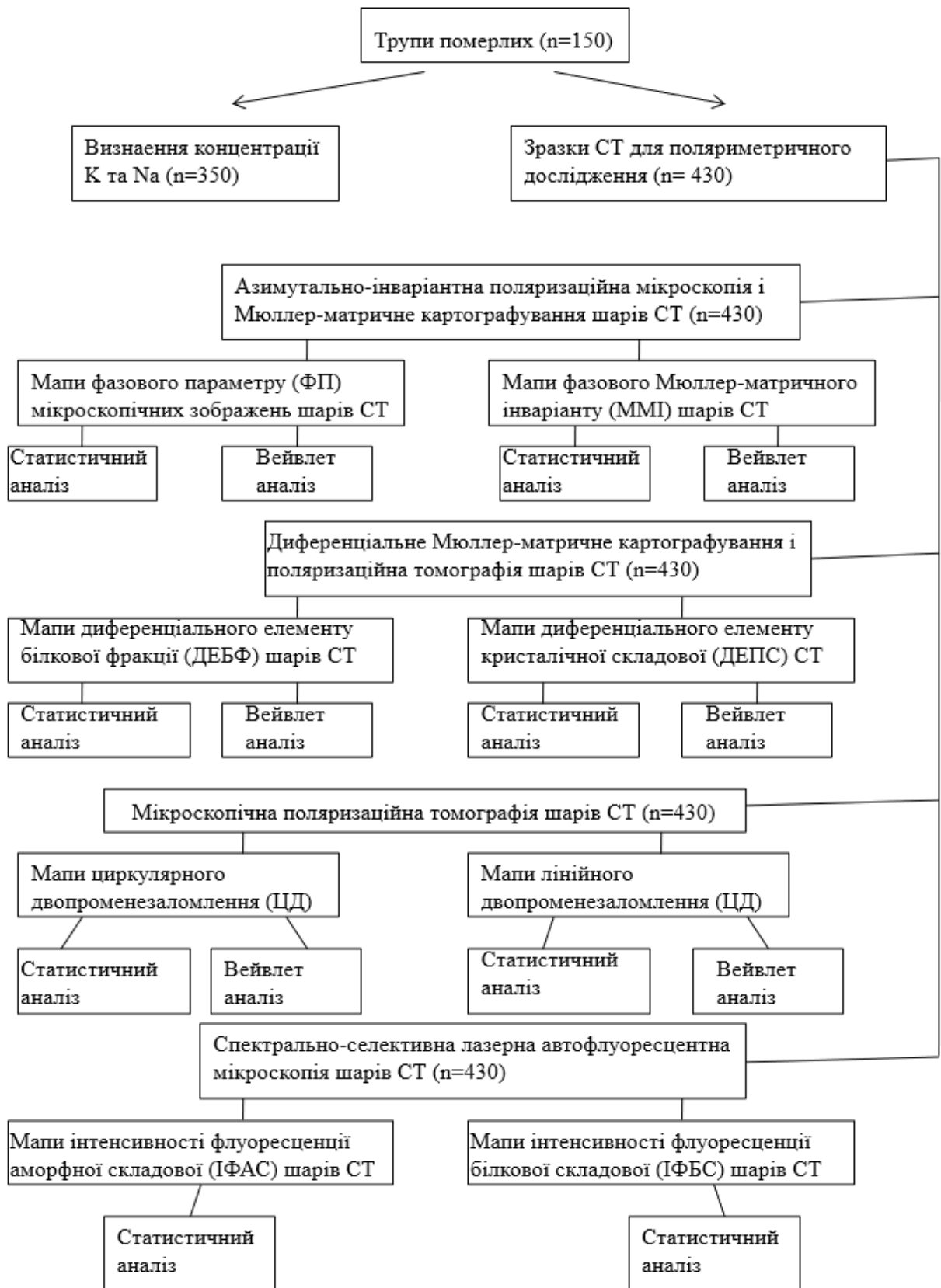


Рис. 2.1. Алгоритм-схема проведених досліджень.

7. статистичний і вейвлет-аналіз часової динаміки посмертних змін одержаних мап ФП, ММИ, ЛД, ЦД шарів СТ;

8. виявлення цифрових статистичних і вейвлет-критеріїв поляризаційного та Мюллер-матричного встановлення ДНС;
9. визначення мап лазерно-індукованої автофлуоресценції аморфної (ІФАС) та білкової (ІФБС) складових шарів СТ;
10. статистичний аналіз часової динаміки посмертних змін одержаних мап ІФАС й ІФБС шарів СТ;
11. виявлення статистичних критеріїв флуоресцентного встановлення ДНС;
12. точність визначення ДНС методами азимутально-інваріантної, Мюллер-матричної, поляризаційної томографії та лазерної автофлуоресцентної мікроскопії шарів СТ.

2.3. Модель структури шарів скловидного тіла

З оптичного погляду формування мікроскопічних зображень досліджуваного біологічного шару може бути представлено як комплексний процес зміни яскравості (інтенсивності оптичного випромінювання), а також його поляризації та фази. У біологічних препаратах усі типи морфологічних і біохімічних структур поглинають частину випромінювання, що проходить крізь них. Завдяки цьому в площині мікроскопічного зображення формується координатний розподіл інтенсивності. Паралельно з цим відбувається процес перетворення станів поляризації опромінюючих променів:

- 1) перетворення азимута поляризації через хіральність молекул (ЦД);
- 2) формування еліптично-поляризованих хвиль завдяки тому, що білкові структури об'єднуються в поліпептидні ланцюги, які формують ниткоподібні фібрилярні структури, тим самим БТ набуває кристалічних властивостей (ЛД).

Через це в площині мікроскопічного зображення також формується координатний розподіл азимутів та еліптичності поляризації.

Виходячи з цього, біологічні шари СТ можна представити як двокомпонентну аморфно-кристалічну матрицю. Аморфний компонент містить сполуки, що володіють оптичною активністю та не організовані у

фібрилярні сітки. Завдяки цьому опромінюючі промені проходять через такі ділянки без зміни стану поляризації, але зі зниженням інтенсивності через поглинання. Кристалічна компонента сформована оптично-активними молекулами та двопротенезаломлюючими фібрилярними сітками. При проходженні променів крізь такі структури одночасно відбувається зміна азимута й еліптичності поляризації, величина якої пов'язана з концентрацією оптично-активних молекул, і ступеня просторової впорядкованості (ступеня кристалізації) фібрилярних сіток.

З метою виявлення набору діагностично-актуальних взаємозв'язків між даними біофізичних методів (азимутально-інваріантна поляризаційна мікроскопія, диференційне Мюллер-матричне картографування, мікроскопічна поляризаційна томографія та лазерна спектрально-селективна автофлуоресцентна мікроскопія), біохімічним складом та орієнтаційною фібрилярною структурою колагенових сіток шарів СТ людини при різній ДНС була використана наступна модельна схема (рис. 2.2).

Шар СТ		
аморфна складова	білкова фракція	фібрилярні колагенові сітки
Оптико-фізичні параметри		
Координатний розподіл інтенсивності флуоресценції в товсто-зеленій області ($\lambda=0,55$ мкм) спектра	Координатний розподіл величини ФП мікроскопічних зображень шарів СТ	
	Координатний розподіл величини фазового ММІ шарів СТ	
	Координатний розподіл величини ДЕБФ	Координатний розподіл величини ДЕПС
	Координатний розподіл величини ЦД	Координатний розподіл величини ЛД
	Координатний розподіл інтенсивності флуоресценції в синій області ($\lambda=0,45$ мкм) спектра	

Рис. 2.2. Модель структури шарів СТ.

2.4. Методи дослідження

Вимірювання розподілів величини параметрів вектора Стокса й елементів матриці Мюллера, диференційних матричних елементів, ЦД і ЛД (рис. 2.3) проводилося в розташуванні класичного Стокс-поляриметра, оптична схема якого представлена на рис. 2.4 [140, 141, 157, 158].

Блок когерентного опромінення ($\lambda=0,63$ мкм) шарів СТ	
Блок формування станів поляризації лазерного зонда	
Об'єктний блок розміщення зразків шарів СТ	
Блок формування мікроскопічного зображення шарів СТ	
Блок поляризаційного аналізу мікроскопічних зображень шарів СТ	
Блок цифрової реєстрації поляризаційних мікроскопічних зображень шарів СТ	
Процесор розрахунку параметрів вектора Стокса	
Процесор розрахунку елементів матриці Мюллера	
Координатні розподіли величини ФП мікроскопічного зображення СТ	Координатні розподіли величини фазового ММІ СТ
Процесор розрахунку елементів диференційної матриці 1-го порядку	
Координатні розподіли величини ДЕБФ	Координатні розподіли величини ДЕПС
Процесор розрахунку параметрів оптичної анізотропії шарів СТ	
Координатні розподіли величини ЦД	Координатні розподіли величини ЛД
Процесор статистичного та вейвлет-аналізу даних поляризаційної та Мюллер-матричної мікроскопії шарів СТ	

Рис. 2.3. Структурно-логічна схема, методики поляризаційної та Мюллер-матричної мікроскопії шарів СТ.

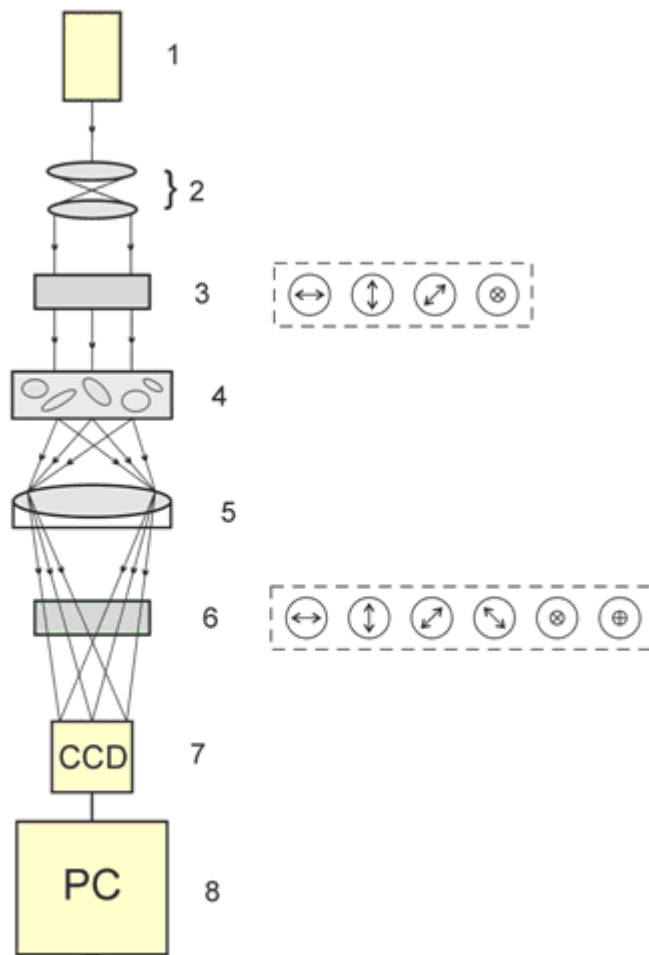


Рис. 2.4. Оптична схема поляризаційного та Мюллер-матричного картографування шарів СТ:

- 1 – джерело когерентного випромінювання – He-Ne лазер з довжиною хвилі $\lambda=0,6328 \mu\text{m}$;
- 2 – оптичний вузол (коліматор) формування плоскої хвилі;
- 3 – поляризаційний опромінювач (поляризатор і фазозсувна пластинка $0,25\lambda$);
- 4 – шар СТ;
- 5 – поляризаційний мікрооб’єктив;
- 6 – поляризаційний аналізатор (поляризатор і фазозсувна пластинка $0,25\lambda$);
- 7 – пристрій цифрової (дискретної) реєстрації мікроскопічних зображень шарів СТ – CCD-камера;
- 8 – пристрій аналітичної обробки даних – PC.

Лазерне зондування шарів СТ проводилося за допомогою сформованого коліматором паралельного (діаметр – 2 мм) пучка газового He-Ne лазера з довжиною хвилі $\lambda=0,63$ мкм.

Формування станів поляризації лазерного зонда здійснювалося з використанням фазозсувних ($0,25\lambda$) пластинок (виробник – Achromatic True Zero-Order Waveplate) і лінійного поляризатора (виробник – B+W Kaesemann XS-Pro Polarizer MRC Nano).

Шар СТ послідовно освітлювався серією лазерних пучків з різними станами поляризації: лінійна з азимутами 0° , 90° , $+45^\circ$ і права циркуляція (\otimes).

Формування набору лінійних поляризацій здійснювалося шляхом орієнтації осі найбільшої швидкості фазозсувного елемента на кут $+45^\circ$ відносно площини поляризації лазерного випромінювання з наступним обертанням площини пропускання поляризатора на кути 0° , 90° , $+45^\circ$.

Циркулярно поляризована хвиля формувалася шляхом введення чвертьхвильової пластинки з орієнтацією осі найбільшої швидкості під кутом 0° відносно площини поляризації лазерного пучка $+45^\circ$.

Мікроскопічні зображення препаратів СТ з використанням поляризаційного мікрооб'єктива (виробник – Nikon CFI Achromat P, фокусна відстань – 30 мм, числова апертура – 0,1, збільшення – $\times 4$) проєктувалися в площину цифрової камери (The Imaging Source DMK 41AU02.AS, monochrome 1/2" CCD, Sony ICX205AL (progressive scan); роздільна здатність – 1280×960 ; розмір світлочутливої площинки – 7600×6200 мкм; чутливість – 0,05 lx; динамічний діапазон – 8 bit, SNR – 9 bit), світлочутлива площинка якої містить $m \times n = 1280 \times 960$ пікселів.

Поляризаційна фільтрація координатних розподілів інтенсивності мікроскопічних зображень шарів СТ здійснювалася за допомогою поляризаційного фільтра (лінійний поляризатор з кутами площини пропускання 0° , 90° , 45° , 135°) і чвертьхвильової пластинки (кут орієнтації осі найбільшої швидкості складав 45° , 135°).

Методики обчислення в межах кожного пікселя світлочутливої площинки цифрової камери сукупності параметрів вектора Стокса, елементів матриці Мюллера, диференційних матриць і параметрів ЛД та ЦД шару СТ базуються на традиційних для Стокс-поляриметрії алгоритмах, що являють собою суперпозиції величини інтенсивності ортогонально-поляризованих складових амплітуди лазерного випромінювання для різних станів поляризації зондуючого пучка та детально описані в деяких публікаціях [157-159].

Структурно-логічна схема та методики спектрально-селективної лазерної флуоресцентної мікроскопії шарів СТ наведені на рис. 2.5.

Блок формування лазерно-індукованої автофлуоресценції ($\lambda=0,405$ мкм) шарів СТ	
Об'єктний блок розміщення зразків шарів СТ	
Блок формування мікроскопічного зображення автофлуоресценції шарів СТ	
Блок спектральної селекції автофлуоресцентних мікроскопічних зображень шарів СТ	
Блок цифрової реєстрації автофлуоресцентних мікроскопічних зображень шарів СТ	
Координатні розподіли величини ІФАС СТ	Координатні розподіли величини ІФБС СТ
Процесор статистичних даних спектрально-селективної лазерної флуоресцентної мікроскопії шарів СТ	

Рис. 2.5. Структурно-логічна схема та методики спектрально-селективної лазерної флуоресцентної мікроскопії шарів СТ.

Спектрально-селективну лазерну флуоресцентну мікроскопію шарів СТ людини проводили за наведеною на рис. 2.6 оптичною схемою.

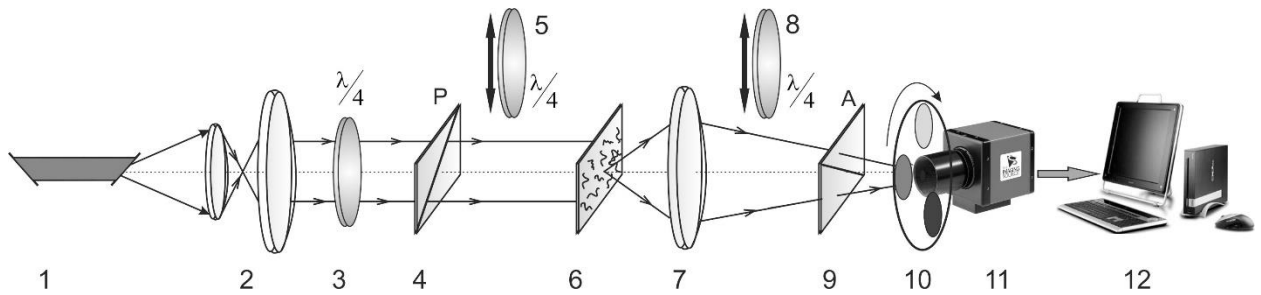


Рис. 2.6. Оптична схема лазерного спектрально-селективного автофлуоресцентного дослідження СТ:

- 1 – джерело когерентного випромінювання – He-Ne лазер ($\lambda=0,405$ мкм);
- 2 – оптичний вузол (коліматор) формування плоскої хвилі;
- 3 – механічно рухома чвертьхвильова пластинка;
- 4 – поляризаційний опромінювач (поляризатор);
- 5 – механічно рухома чвертьхвильова пластинка;
- 6 – шар СТ;
- 7 – поляризаційний мікрооб’єктив;
- 8 – механічно рухома чвертьхвильова пластинка;
- 9 – поляризаційний аналізатор;
- 10 – інтерференційні світлофільтри;
- 11 – пристрій цифрової (дискретної) реєстрації мікроскопічних зображень шарів скловидного тіла – CCD-камера;
- 12 – пристрій аналітичної обробки даних – РС.

Для збудження автофлуоресценції в розташуванні лазерного спектрально-селективного мікроскопа ми використали “синій” напівпровідниковий лазер LSR405ML-LSR-PS-II з довжиною хвилі $\lambda=0,405$ мкм і потужністю $W=50$ мВт.

Вимірювання координатних розподілів інтенсивності автофлуоресценції шарів СТ в площині світлочутливої площинки цифрової камери здійснювалося з застосуванням смугових світлофільтрів з наступними максимумами спектрального пропускання: $\lambda_{\max}^{(1)}=0,45$ мкм і

$\lambda_{\max}^{(2)}=0,55$ мкм.

2.5. Аналітичні алгоритми обробки даних

Об'єктивне оцінювання координатних розподілів ЕД методів (азимутально-інваріантна поляризаційна мікроскопія; диференційне Мюллер-матричне картографування; мікроскопічна поляризаційна томографія; лазерна спектрально-селективна автофлуоресцентна мікроскопія) здійснювалося в межах двох аналітичних підходів – статистичного та вейвлет-аналізу.

2.5.1. Статистичний аналіз. Для розподілів ЕД визначалася величина центральних статистичних моментів 1-4-го порядків (SM_1 – середнє, SM_2 – дисперсія, SM_3 – асиметрія, SM_4 – ексцес) за наступними класичними алгоритмами:

$$SM_1 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (ED)_j;$$

$$SM_2 = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (ED - E\bar{D})^2};$$

$$SM_3 = \frac{1}{(SM_2)^3} \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (ED - E\bar{D})^3;$$

$$SM_4 = \frac{1}{(SM_2)^4} \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (ED - E\bar{D})^4,$$

де N – кількість пікселів світлочутливої площинки цифрової камери;

ED – середнє множини ЕД. [15-17]

На рис. 2.7 представлені мікроскопічні поляризаційні зображення шарів СТ при різній ДНС.

У табл. 2.3 наведені величини статистичних моментів $SM_{i=1;2;3;4}$, що характеризують розподіли величини інтенсивності мікроскопічних зображень шарів СТ при різній ДНС.

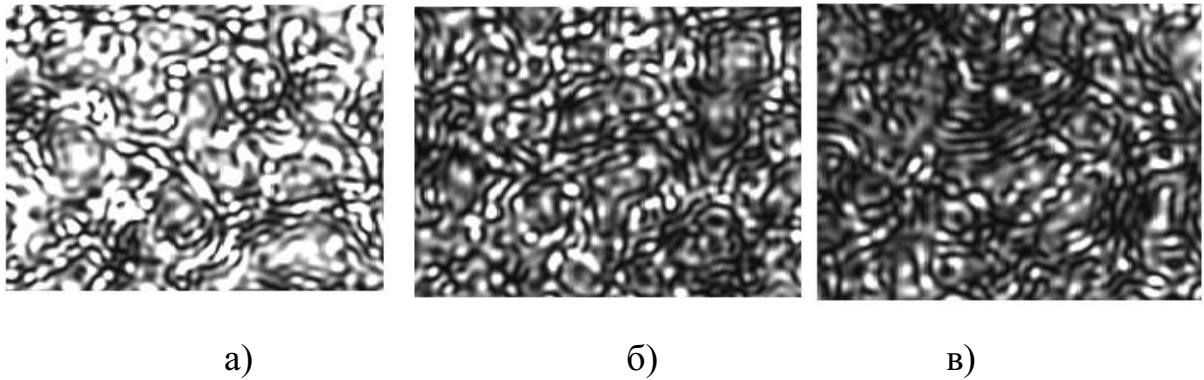


Рис. 2.8. Поляризаційні мікроскопічні зображення шару СТ при різних ДНС: а) 3 год; б) 12 год; в) 24 год.

Таблиця 2.3 – Статистичні параметри мікроскопічних зображень шарів скловидного тіла при різних давності настання смерті

Параметри	ДНС 3 год	ДНС 12 год	ДНС 24 год
SM_1	0.54	0.49	0.31
SM_2	0.18	0.19	0.12
SM_3	0.41	0.51	0.82
SM_4	0.61	0.66	0.97

Порівняльний аналіз одержаних даних поляризаційної мікроскопії всіх типів шарів СТ з різною ДНС виявив:

- наявність полікристалічної оптично-анізотропної складової шарів СТ при різних ДНС (мапи “просвітлення” в площині цифрових мікроскопічних зображень);
- індивідуальність координатних розподілів величини інтенсивності мікроскопічних зображень шарів СТ з різною ДНС;
- чутливість величини статистичних моментів 1-4-го порядків, що характеризують координатні розподіли величини інтенсивності поляризаційних мікроскопічних зображень шарів СТ, до зростання ДНС;
- зі збільшенням ДНС величина середнього SM_1 і дисперсії SM_2 розподілів інтенсивності поляризаційних зображень шарів СТ зменшується;

- зростання часу ДНС супроводжується збільшенням величини статистичних моментів вищих порядків (асиметрії SM_3 й ексцесу SM_4) розподілів інтенсивності в площині мікроскопічних зображень шарів СТ.

2.5.2. Вейвлет-аналіз. Основи вейвлет-аналізу розподілів за допомогою $W_{ab}(x)=W(ax-b)$ – вейвлет-функції, що утворена з базової функції шляхом зміщення (b) і масштабування (a), параметрів поляризаційно-неоднорідних об'єктних полів біологічних шарів детально викладені в одному дослідженні [160].

Використання вейвлет-перетворення різних типів одномірних розподілів, що характеризують поляризаційні прояви оптичної анізотропії полікристалічної структури СТ, дозволяє одержати двовимірний масив (мапу) амплітуд вейвлет-коефіцієнтів $K_{a,b}$, що забезпечують можливість виявлення величини та координатної локалізації великомасштабних (ЛД та дихроїзм) і дрібномасштабних (ЦД та дихроїзм) характеристик розподілу ЕД.

2.6. Алгоритм визначення точності встановлення давності настання смерті

В працях науковців в галузі судової медицини було проведене дослідження щодо можливостей визначення ДНС за комплексом поляризаційних, матричних, статистичних і кореляційних параметрів лазерних зображень БТ різної морфологічної будови [5-15]. Базисом для встановлення ДНС, згідно з результатами їхніх праць, було виявлення закономірних змін структури поляризаційних зображень БТ відповідно до зміни морфологічної будови в посмертному періоді. Комплексне застосування сукупності поляризаційних методик оцінки БТ дозволяє залежно від їхнього виду визначати ДНС в термін до 115 год при похибці від 7,5 хв (на інтервалі 1-6 год) до 1,5 год (на більших інтервалах) [6, 14, 150].

На основі фундаментальних результатів, одержаних науковцями, ми

пропонуємо новий алгоритм аналітичного визначення ДНС з підвищенням його точності на довготривалому інтервалі. В основу встановлення ДНС покладена наступна методика дослідження динаміки посмертних змін величини середнього SM_1 , дисперсії SM_2 , асиметрії SM_3 та ексцесу SM_4 , що характеризують координатні розподіли значень ФП вектора Стокса, фазового ММІ, ДЕБФ, ДЕПС, ЦД, ЛД, ІФАС й ІФБС СТ людини:

1. за допомогою методик поляризаційної, Мюллер-матричної та спектрально-селективної флуоресцентної мікроскопії визначають серію координатних розподілів інформаційних параметрів набору ЕД шарів СТ з різною ДНС;
2. для кожного з визначених розподілів інформаційних параметрів ЕД поляризаційних, Мюллер-матричних, оптико-анізотропних і автофлуоресцентних зображень шарів СТ, що відповідають певній ДНС, обчислюють набір статистичних моментів 1-4-го порядків $SM_{i=1;2;3;4}(ЕД)$;
3. для сукупності шарів СТ всіх груп померлих будують серію номограм – залежностей величини статистичних моментів $SM_{i=1;2;3;4}(ЕД)$ від величини ДНС;
4. одержані залежності для кожного статистичного моменту $SM_{i=1;2;3;4}(ЕД)$ апроксимують методом найменших квадратів і на цій основі знаходять відповідні апроксимувальні криві $M(\gamma)$;
5. аналізують отримані криві $M(\gamma)$ і визначають наявність лінійних ($\gamma_i = \text{const}$) ділянок і кути їхнього нахилу γ_i ;
6. шляхом лінійної апроксимації встановлюють “прижиттєву $\tau=0$ ” величину $SM_i^0(ЕД)$;
7. визначають ДНС за наступним алгоритмом, функціональна схема якого представлені на рис. 2.8:

$$\tau_x(ДНС) = \frac{SM_i^{(1)} - SM_i^{(0)}}{SM_i^{(2)} - SM_i^{(1)}} (\tau_2 - \tau_1)$$

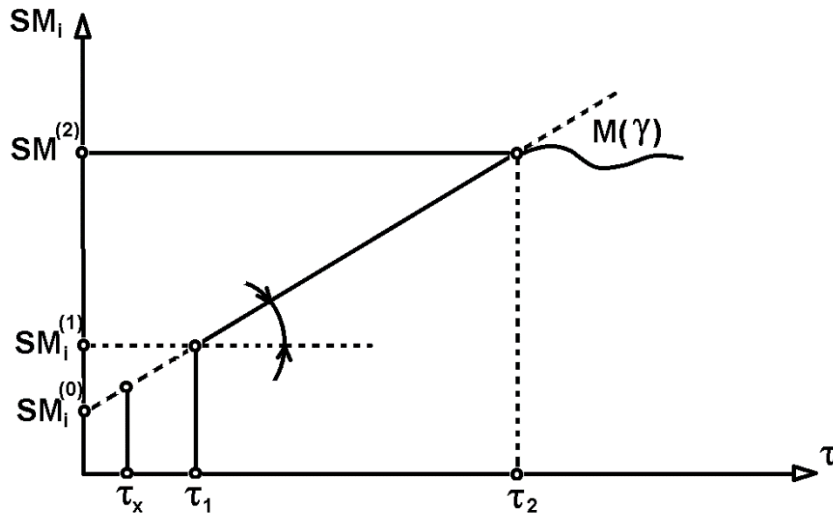


Рис. 2.8. Алгоритм аналітичного розрахунку ДНС:

τ_1 – час початку вимірювань величини статистичного моменту $SM_i^{(1)}$;

τ_2 – час завершення вимірювань лінійної зміни величини статистичного моменту $SM_i^{(1)}$;

γ – кут нахилу лінійної ділянки інформаційної залежності $SM_i(\tau)$.

Висновки. 1. Проведене обґрунтування оптичної моделі структури шарів СТ людини для визначення ДНС.

2. Приведені оптичні розташування та характеристики схем експериментальних досліджень:

- азимутально-інваріантна поляризаційна мікроскопія;
- диференційне Мюллер-матричне картографування;
- мікроскопічна поляризаційна томографія;
- лазерна спектрально-селективна флуоресцентна мікроскопія.

3. Розроблена й обґрунтована структурно-логічна схема дисертаційного дослідження часової динаміки післясмертних змін статистичної структури розподілів інформаційних параметрів (ФП вектора Стокса, фазового ММІ, ДЕБФ, ДЕПС, ЦД, ЛД, ІФАС й ІФБС СТ людини) в площині вивчення зображень шарів СТ людини та встановлення взаємозв'язків між розподілами статистичних параметрів 1-4-го порядків, що

характеризують мапи таких параметрів, і ДНС.

4. Представлена й охарактеризована аналітична модель процесів формування оптично-анізотропними шарами СТ набору відповідних мікроскопічних азимутально-інваріантних поляризаційних, диференційних Мюллер-матричних, двопронезаломлюючих і спектрально-селективних автофлуоресцентних зображень шарів СТ з різною ДНС.

5. Наведений опис структурно-логічних схем і подана характеристика експериментальних методик Стокс-поляриметрії, диференційного Мюллер-матричного картографування та спектрально-селективної лазерної автофлуоресцентної мікроскопії набору зразків СТ померлих з різною ДНС.

6. Охарактеризовані аналітичні алгоритми статистичного та вейвлет-аналізу (обчислення значень середнього, дисперсії, асиметрії й ексцесу) розподілів величини інформаційних параметрів та амплітуд вейвлет-коефіцієнтів мікроскопічних азимутально-інваріантних Стокс-поляризаційних, диференційних Мюллер-матричних і спектрально-селективних лазерних автофлуоресцентних зображень шарів СТ померлих з різною ДНС.

7. Розроблені й охарактеризовані структурно-логічні елементи аналітичного алгоритму визначення точності та встановлення ДНС померлих на основі моніторингу зміни статистичної координатної структури набору різних типів мікроскопічних зображень (ФП вектора Стокса, фазового ММІ, ДЕБФ, ДЕПС, ЦД, ЛД, ІФАС та ІФБС СТ людини) шарів СТ померлих.

Матеріали розділу викладено в наступних публікаціях:

1. Ushenko A, Sarkisova Yu, Dubolazov A, Ushenko Yu, Tomka Yu, Karachevtsev A, et al. Informativeness of the medical-physical method for analyzing the distributions of the degree of local depolarization of microscopic images of histological sections of the intestinal wall for the diagnosis of dolechostigma. Proceedings of SPIE - The International Society for Optical

- Engineering. 2020;11369:113691O. doi: [10.1117/12.2553954](https://doi.org/10.1117/12.2553954)
2. Mishalov VD, Bachinsky VT, Vanchulyak OYa, Zavolovitch AY, Sarkisova YV, Ushenko AG, et al. Classification of the polarization properties of polycrystalline networks of biological fluid films. Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering. 2020;11581:115811I. doi: [10.1117/12.2580706](https://doi.org/10.1117/12.2580706)
 3. Mishalov VD, Syvokorovskaya AVS, Bachinskiy VT, Sarkisova YYu, Ushenko AG, Dubolazov OV, et al. Jones-matrix mapping of polycrystalline networks of layers of main types of amino acids. Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering. 2020;11456:1145606. doi: [10.1117/12.2536245](https://doi.org/10.1117/12.2536245)
 4. Pavlyukovich A, Pavlyukovich N, Sarkisova Y, Dubolazov O, Ushenko A, Ushenko V, et al. Azimuthally invariant Mueller-matrix tomography of linear dichroism of polycrystalline networks of biological tissues. Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering. 2020;11718:117181J. doi: [10.1117/12.2571213](https://doi.org/10.1117/12.2571213)
 5. Бачинський ВТ, Ванчуляк ОЯ, Саркісова ЮВ. Сучасний підхід до діагностики патологічних станів методом лазерного поляриметричного дослідження біологічних тканин та середовищ організму людини. В: Матеріали наук.-практ. конф. з міжнар. участю Нові судово-медичні підходи до вирішення проблем механічної травми; 2017 Черв 15-16; Одеса. Одеса; 2017, с. 135-8.
 6. Garazdiuk M, Garazdiuk O, Vanchuliak O, Sarkisova Yu. Time since death estimation by the method of laser polarimetry of polycrystalline cerebro-spinal fluid films images. In: Proceedings of 11th Antwerp medical students' congress AMSC 2017: Under pressure; 2017 Sep 13-17. Antwerp. Antwerp; 2017, p. 21.
 7. Саркісова ЮВ, Максимчук НО. Застосування статистичного аналізу лазерних поляриметричних зображень склоподібного тіла людини для уточнення давності настання смерті. В: Матеріали XVI наук. конф. студентів та молодих вчених з міжнар. участю Перший крок в науку – 2019. 2019 Квіт 18-19; Вінниця. Вінниця; 2019, с. 462-3.

8. Garazdiuk M, Bachynskiy V, Vanchuliak O, Garazdiuk O, Sarkisova Yu. Comparative analysis of laser polarimetry methods of polycrystalline films of cerebrospinal fluid for post-mortem interval estimation. Proceedings Innovations in Science and Education. 2019;7:724-8. doi: [10.12955/cbup.v7.1445](https://doi.org/10.12955/cbup.v7.1445)
9. Бачинський ВТ, Ванчуляк ОЯ, Саркісова ЮВ, Максимчук НО, винахідники; Вищий державний навчальний заклад України “Буковинський державний медичний університет”, патентовласник. Спосіб посмертної діагностики гострої коронарної недостатності. Патент України № 132328. 2019 Лют 25.
10. Бачинський ВТ, Ванчуляк ОЯ, Саркісова ЮВ, Максимчук НО, винахідники; Вищий державний навчальний заклад України “Буковинський державний медичний університет”, патентовласник. Спосіб посмертної діагностики хронічної ішемічної хвороби серця. Патент України № 132331. 2019 Лют 25.
11. Гараздюк МС, Гараздюк ОІ, Ванчуляк ОЯ, Саркісова ЮВ, винахідники; Вищий державний навчальний заклад України “Буковинський державний медичний університет”, патентовласник. Спосіб визначення давності настання смерті на довготривалому часовому проміжку за допомогою аналізу полікристалічних плівок спинномозкової рідини трупа людини. Патент України № 134903. 2019 Чер 10.

РОЗДІЛ 3

СУДОВО-МЕДИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ КІЛЬКОСТІ K^+ І Na^+ СКЛОВИДНОГО ТІЛА ОКА ЛЮДИНИ У ВСТАНОВЛЕННІ ОБ'ЄКТИВНИХ КРИТЕРІЇВ ДАВНОСТІ НАСТАННЯ СМЕРТІ

Цей розділ містить результати вивчення часової динаміки посмертних змін кількості K^+ і Na^+ у зразках СТ людини. У результаті узагальнення часових залежностей зміни кількості K^+ і Na^+ у зразках СТ людини встановлювалися інтервали та точність визначення ДНС.

Дослідження взаємозв'язку між даними концентрації K^+ і Na^+ у зразках скловидного тіла та давністю настання смерті

Посмертна діагностика концентрації електролітів у СТ вважається “золотим стандартом” для діагностики ДНС [96]. Серед рідин організму, придатних до дослідження хімічного складу, науковці виділяють спинномозкову, перикардіальну, синовіальну та СТ (сироватка крові не використовується через посмертну деградацію великої кількості клітин, внаслідок чого в ній суттєво збільшується концентрація K^+ і, відповідно, зменшується точність діагностики). СТ як об'єкт забезпечує сприятливі умови для дослідження при вирішенні завдань судової медицини та криміналістики [81]. Зміни вмісту K^+ і Na^+ рідини СТ залежно від ДНС є загальновідомими, а їх визначення забезпечує достатньо точне встановлення ДНС при різних патологічних станах.

Відомо, що СТ є відносно інертним і різкі коливання хімічного складу крові лише незначно впливають на вміст електролітів у ньому. Концентрація Na^+ у СТ дорівнює вмісту плазми, що вказує на пасивну дифузію. Концентрація K^+ СТ трохи вища за плазмову внаслідок активного транспорту через циліарне тіло в задню камеру та через передню капсулу кришталика,

пасивну дифузію через задню капсулу кришталика в СТ.

Підвищення кількості K^+ у СТ зі збільшенням тривалості посмертного періоду пов'язане з вивільненням його з клітин сітківки та хоріоїдної оболонки (що тісно прилягають до СТ) через клітинну мембрану (98 % K^+ в організмі перебувають внутрішньоклітинно), що має велике значення для оцінки ДНС.

З метою оцінки діагностичної ефективності методу встановлення кількості K^+ і Na^+ СТ людини для розробки судово-медичних критеріїв визначення ДНС були досліджені зразки СТ, відібрані в різні часові проміжки впродовж 48-годинного інтервалу посмертного періоду.

У межах кожної групи встановлювалися середнє значення кількості K^+ і Na^+ , середня похибка вимірювань. Статистична достовірність вимірювань вивчалася за t-критерієм Стьюдента.

Під час дослідження не було виявлено статистично значущої залежності кількості K^+ і Na^+ СТ від статі та віку.

Результати часового моніторингу зміни кількості K^+ і Na^+ у СТ людини протягом 48 годин після настання смерті ілюструє табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Середні значення кількості K^+ і Na^+ скловидного тіла в постмортальному періоді

ДНС, год	1-6	6-12	12-18	18-24	24-36	36-48
K^+ , ммоль/л	7,1± 0,0080	9,4± 0,0092	12,3± 0,0094	15,8± 0,0101	19,6± 0,0124	24,7± 0,0171
p	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Na^+ , ммоль/л	131,0± 0,0231	144,6± 0,0243	145,0± 0,0246	161,9± 0,0266	180,3± 0,0271	180,5± 0,0271
p	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05

Показники K^+ СТ коливалися в межах 4,70-25,30 ммоль/л, що

відповідає результатам, висвітленим в інших наукових працях [96-98, 116, 117].

Для K^+ було відмічене закономірне збільшення його кількості зі зростанням ДНС (рис. 3.1). У всіх випадках у середньому в перші 6 год його кількість становила 7,1 ммоль/л, через 6-12 год – 9,4 ммоль/л, 12-18 год – 12,3 ммоль/л, 18-24 год – 15,8 ммоль/л, 24-36 год – 19,6 ммоль/л, 36-48 год – 24,7 ммоль/л.

Під час дослідження спостерігався послідовний підйом рівня K^+ зі збільшенням посмертного періоду (рис. 3.1).

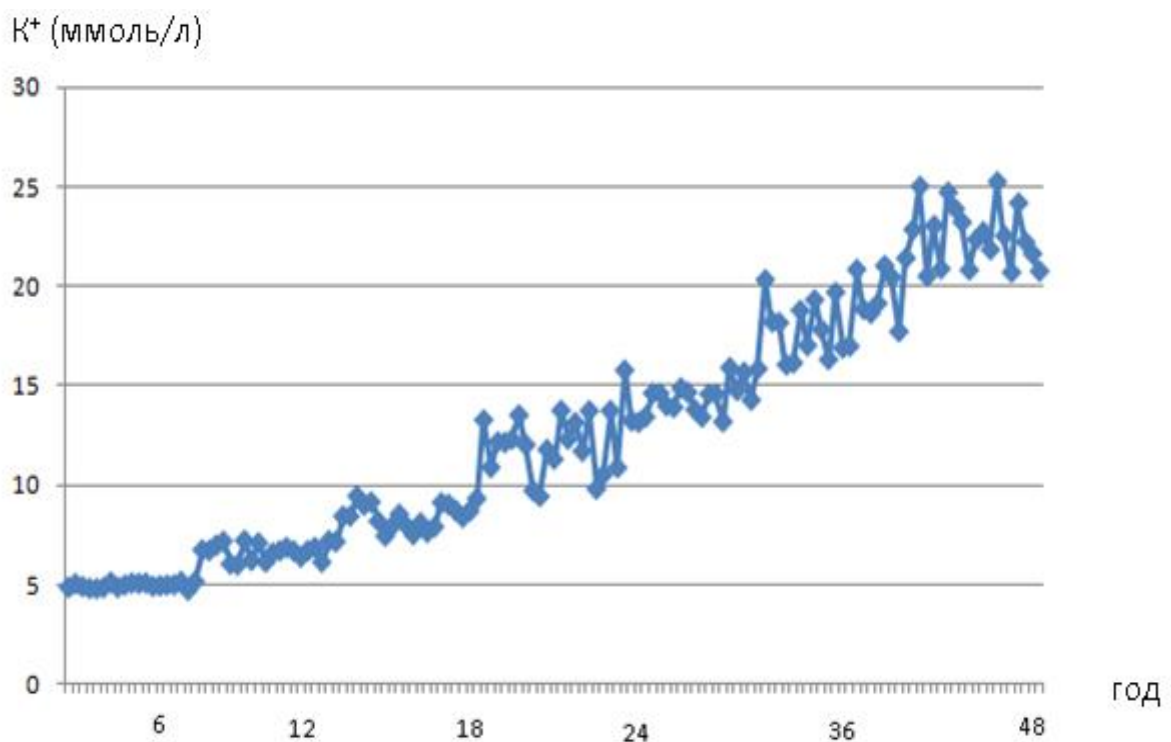


Рис. 3.1. Графік підйому кількості K^+ СТ зі зростанням ДНС.

Діапазон коливань рівня K^+ збільшувався в пізніші години посмертного періоду. Значне зростання діапазону було відмічене після двадцятигодинного проміжку.

Під час дослідження був отриманий дискретний варіаційний ряд значень K^+ у СТ з достатньо широкими межами. Наприклад, в одному випадку через 3 год його кількість складала 5 ммоль/л, а в іншому – 15 ммоль/л; через 12 год після настання смерті визначали кількість

11 ммоль/л і 21,5 ммоль/л; 15 ммоль/л спостерігали як у перші 12 год ДНС, так і після 36 год.

Такі результати розподілу значень у варіаційному ряді, попри загальну закономірність збільшення вмісту K^+ у СТ зі зростанням ДНС, значно зменшували точність даної методики.

Аналіз результатів показав, що кількість Na^+ у СТ в середньому коливалася між 120 та 200 ммоль/л (рис. 3.2, табл. 3.2). Проте, беручи до уваги, що графік результатів наближається до горизонтального, що не передбачає кореляції між ДНС та кількістю Na^+ , та не є статистично значущим, а також значний розкид результатів Na^+ при різних значеннях ДНС, визначення даного електроліту не відіграє важливої ролі у визначенні ЧНС.

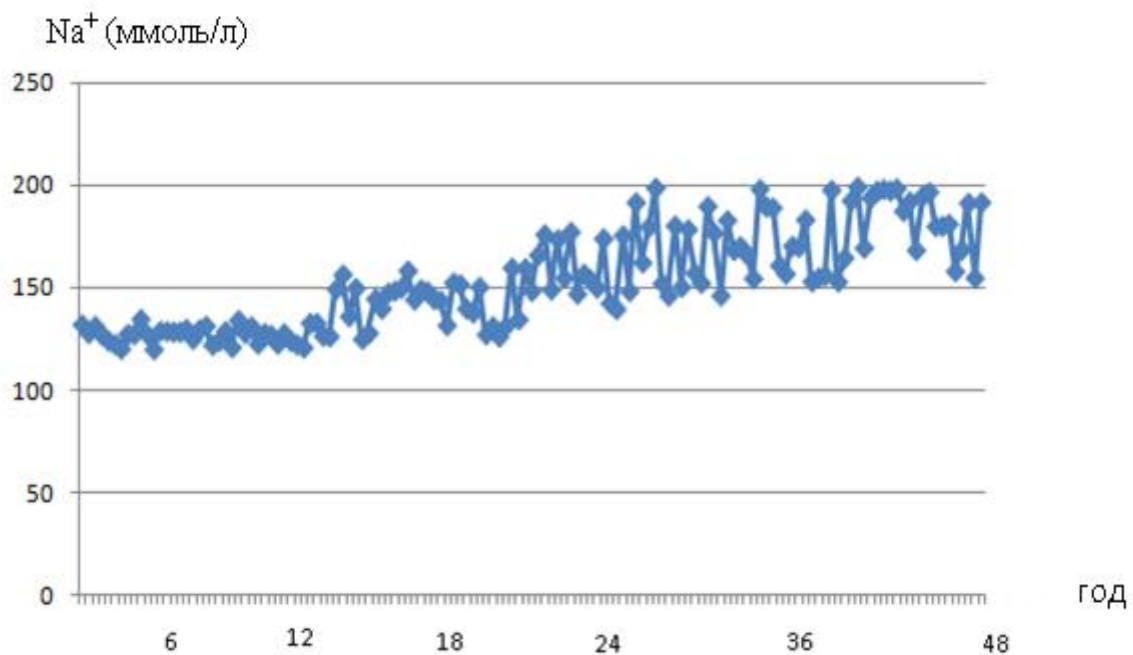


Рис. 3.2. Графік підйому кількості Na^+ СТ зі збільшенням ДНС.

Проведений комплексний статистичний аналіз динаміки зміни кількості K^+ у СТ людини виявив наступні інтервали та точності визначення ДНС (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 – Інтервали та точність визначення давності настання смерті шляхом застосування методики встановлення кількості K^+ у скловидному тілі людини

Інтервал визначення ДНС, год	Точність визначення ДНС, ΔT , год
1-6	± 2
6-12	$\pm 2,5$
12-18	± 3
18-24	± 4
24-36	± 5
36-48	± 6

Метод встановлення кількості K^+ у СТ людини чутливий до зміни ЧНС. Зокрема, за кількістю K^+ можна визначити ДНС з точністю до 4-6 год на інтервалі до 18 год від ЧНС та з точністю 8-12 год у пізніші терміни ДНС.

Висновки. 1. Досліджені можливості методу судово-медичного встановлення кількості K^+ і Na^+ у СТ ока людини для оцінки ДНС. Виявлені діапазони та часові інтервали зміни кількості K^+ і Na^+ у СТ ока людини залежно від проміжку ДНС.

2. Ступінь і інтенсивність підвищення кількості K^+ знаходяться в прямій залежності від ДНС та не залежать від статі та віку померлого.

3. За кількістю K^+ можна встановити ДНС з точністю до 4-6 год на інтервалі до 18 год від ЧНС та з точністю 8-12 годин у пізніші терміни.

4. Графік результатів кількості Na^+ СТ наближається до горизонтального, що не передбачає кореляції між його кількістю та ДНС, та не є статистично значущим.

Основні результати розділу висвітлено в наступних публікаціях:

1. Бачинський ВТ, Саркісова ЮВ. Можливості діагностики давності настання смерті шляхом визначення кількості K^+ та Na^+ у склистому тілі ока людини. Буковинський медичний вісник. 2020;24(2):3-8. doi: [10.24061/2413-](https://doi.org/10.24061/2413-)

[0737.XXIV.2.94.2020.35](#)

2. Саркісова ЮВ. Діагностичні можливості точного встановлення давності настання смерті за концентрацією електролітів у склистому тілі ока людини. Судово-медична експертиза. 2021;1:79-85. doi: [10.24061/2707-8728.1.2021.10](#).

РОЗДІЛ 4

**ДІАГНОСТИКА ДАВНОСТІ НАСТАННЯ СМЕРТІ МЕТОДАМИ
АЗИМУТАЛЬНО-ІНВАРІАНТНОЇ ПОЛЯРИЗАЦІЙНОЇ МІКРОСКОПІЇ
СКЛОВИДНОГО ТІЛА ЛЮДИНИ**

У розділі представлена часова динаміка посмертних змін мікроскопічних Стокс-поляризаційних зображень ФП та ММІ шарів СТ людини. Продемонстрована ефективність і точність встановлення ДНС методом азимутально-інваріантного Мюллер-матричного картографування, а також покращення запропонованої методики шляхом застосування масштабно-селективного вейвлет-аналізу.

Шар СТ	
Азимутально-інваріантна поляризаційна мікроскопія	
Стокс-поляриметричне картографування	Мюллер-матричне картографування
Координатні розподіли величини ФП вектора Стокса	Координатні розподіли величини фазового ММІ
Часова динаміка зміни статистичних моментів 1-4-го порядків, що характеризують координатні розподіли ФП та ММІ СТ померлих у постмортальному періоді	
Точність визначення ДНС методом Стокс-поляриметричного картографування шарів СТ	Точність визначення ДНС методом Мюллер-матричного картографування шарів СТ
Вейвлет-аналіз координатних розподілів ФП та ММІ	
Координатні розподіли величини амплітуд вейвлет-коефіцієнтів ФП вектора Стокса	Координатні розподіли величини амплітуд вейвлет-коефіцієнтів фазового ММІ
Часова динаміка зміни статистичних моментів 1-4-го порядків, що характеризують розподіли амплітуд вейвлет-коефіцієнтів ФП та ММІ СТ людини в постмортальному періоді	
Точність визначення ДНС методом вейвлет-аналізу даних Стокс-поляриметричного картографування шарів СТ	Точність визначення ДНС методом вейвлет-аналізу даних Мюллер-матричного картографування шарів СТ

Рис. 4.1. Структурно-логічна схема визначення ДНС методами азимутально-інваріантної поляризаційної мікроскопії шарів СТ.

4.1. Часова трансформація статистичної структури поляризаційних мап шарів скловидного тіла в посмертному періоді

На першому етапі нашого дослідження був проведений статистичний аналіз часової динаміки розподілів величини четвертого параметра вектора Стокса (ФП) мікроскопічних зображень шарів СТ людини з різною ДНС.

Експериментальні вимірювання Стокс-параметричних зображень біологічних препаратів здійснювалися за методикою, що представлена в розділі 2 (див. підрозділ 2.4).

На рис. 4.2 і 4.3 наведені мапи та розподіли величини ФП вектора Стокса мікроскопічних зображень шарів СТ людини з ДНС 3 год (рис. 4.2) і 12 год (рис. 4.3). Одержані результати ілюструють наявність відмінностей між даними азимутально-інваріантної поляризаційної мікроскопії шарів СТ людини при різній ДНС.

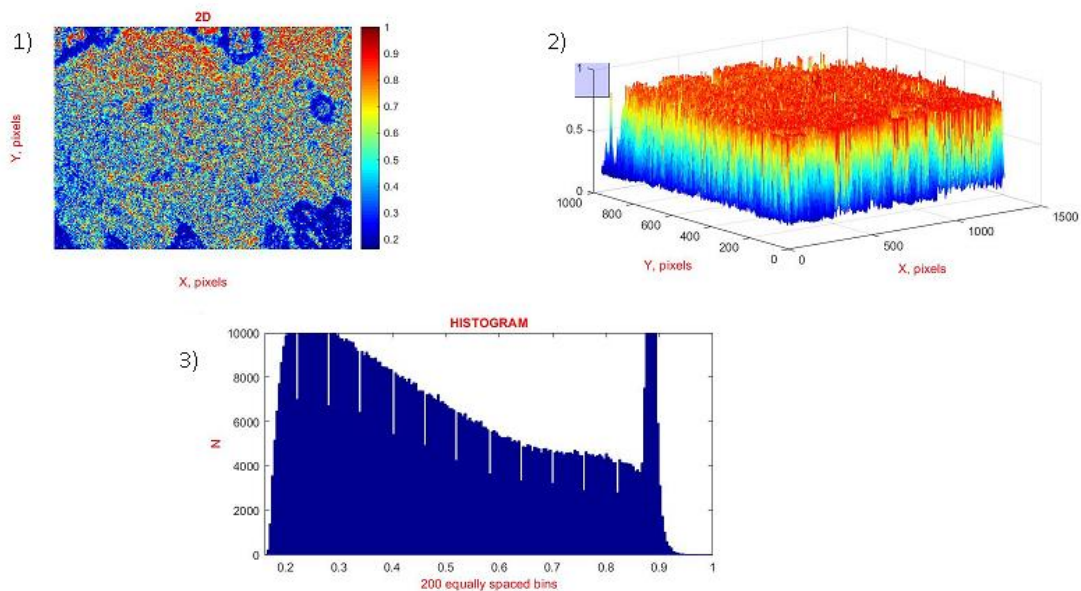


Рис. 4.2. Мапи (1) і розподіли (2, 3) величини фазового параметра вектора Стокса мікроскопічних зображень шарів СТ людини з ДНС 3 год.

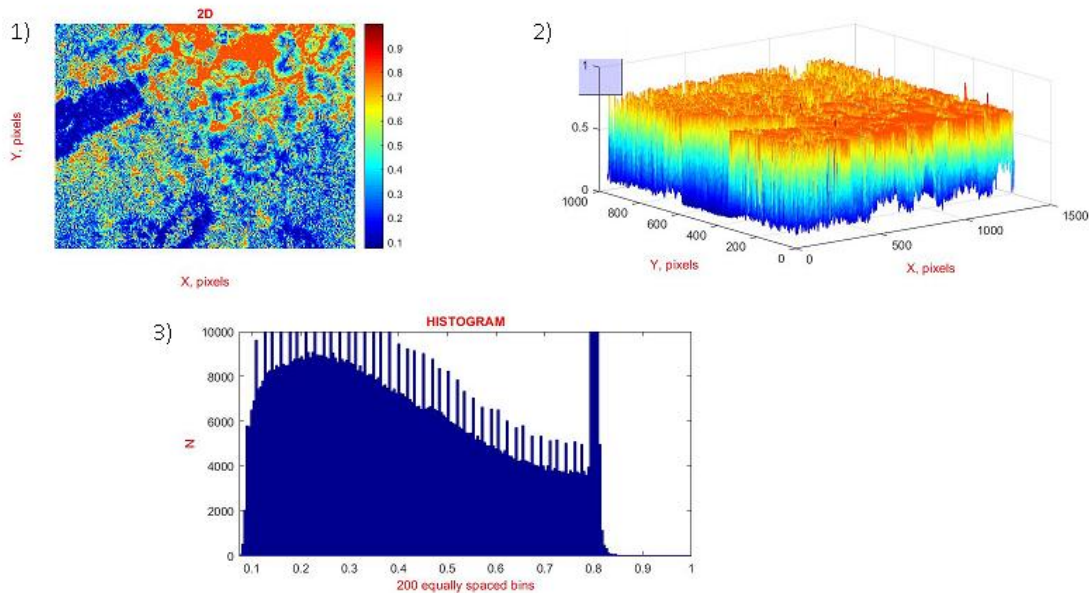


Рис. 4.3. Мапи (1) і розподіли (2, 3) величини фазового параметра вектора Стокса мікроскопічних зображень шарів СТ людини з ДНС 12 год.

Розподіли величини ФП (рис. 4.3, фрагменти 2, 3) зразка СТ з більшою ДНС (12 год) характеризуються меншими середнім значенням ($SM_1=0,83$) та діапазоном розкиду ($SM_2=0,12$) випадкових значень порівняно з аналогічними залежностями ($SM_1=0,93$; $SM_2=0,16$), одержаними для зразка СТ при ДНС 3 год (рис. 4.2, фрагменти 2, 3).

Даний факт відповідає результатам досліджень поляризаційного картографування координатних розподілів величини параметрів вектора Стокса мікроскопічних зображень гістологічних зрізів БТ різних органів людини [140, 141]. Отримані результати показують, що головним чинником формування координатної структури розподілів параметрів вектора Стокса в точках поляризаційних мікроскопічних зображень є оптична анізотропія біологічних об'єктів. Цей механізм призводить до виникнення фазових зсувів між ортогональними складовими амплітуди лазерного випромінювання в точках мікроскопічного зображення шару СТ (рис. 4.2, 4.3, фрагменти 1, 2).

Такі фазові розподіли в мікроскопічному зображенні формуються завдяки впливу наступних факторів:

- структурної анізотропії просторово впорядкованої мережі колагенових

- фібрил – ЛД;
- “острівцевої” анізотропії молекулярних протеїнових комплексів БФ СТ – ЦД;
- багатократного розсіювання лазерного випромінювання в об’ємі оптичного анізотропного шару СТ.

Через останній фактор відбувається усереднення розподілів величини поляризаційних параметрів вектора Стокса та зменшення фазової модуляції в площині мікроскопічного зображення зразка препарату СТ.

Виходячи з цього, можна сформулювати наступний сценарій динаміки трансформації поляризаційних проявів посмертних змін полікристалічної структури шарів СТ людини при різній ДНС:

- 1) зі збільшенням ДНС зменшується рівень оптичної анізотропії СТ – розупорядковується колагенова мережа та знижується концентрація білкових комплексів;
- 2) оптично даний процес посмертних змін виявляється в зменшенні глибини фазової модуляції лазерного випромінювання полікристалічними структурами СТ;
- 3) статистично зростання ступеня посмертної деструкції полікристалічної складової СТ супроводжується зниженням середнього (SM_1) і дисперсії (SM_2) координатних розподілів величини ФП (рис. 4.3, фрагменти 2, 3) мікроскопічних зображень шарів СТ;
- 4) зменшення рівня ЛД та ЦД СТ призводить до збільшення величини асиметрії (SM_3) та ексцесу (SM_4), що характеризують розподіли ФП мікроскопічних зображень шарів СТ людини.

Кількісно даний сценарій часової динаміки посмертної зміни фазової структури мікроскопічних зображень шарів СТ людини при різних значеннях ДНС ілюструють значення ЕД, що наведені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Часова динаміка зміни величини статистичних моментів 1-4 -го порядків ($SM_{i=1;2;3;4}$), що характеризують розподіли фазового параметра вектора Стокса мікроскопічних зображень шарів скловидного тіла людини при різній давності настання смерті (Т, год)

SM_i	T=1	T=3	T=6	T=12	T=18	T=24
SM_1	0,98±	0,93±	0,88±	0,83±	0,81±	0,78±
	0,045	0,043	0,041	0,037	0,036	0,035
p	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
SM_2	0,18±	0,16±	0,15±	0,12±	0,09±	0,06±
	0,008	0,007	0,006	0,005	0,004	0,003
p	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
SM_3	0,33±	0,37±	0,41±	0,49±	0,57±	0,64±
	0,014	0,016	0,018	0,21	0,023	0,028
p	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
SM_4	0,41±	0,46±	0,52±	0,63±	0,73±	0,84±
	0,018	0,021	0,024	0,028	0,034	0,038
p	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05

Були встановлено наступне:

- лінійний діапазон зміни величини статистичних моментів 1-4-го порядків, що характеризують розподіли ФП мікроскопічних зображень шарів СТ людини за величиною ДНС, складає 24 год;
- величина SM_1 змінюється в межах діапазону визначених для всіх груп зразків середніх значень від 0,98 до 0,78;
- величина SM_2 варіює в межах діапазону встановлених для всіх груп зразків середніх значень від 0,18 до 0,06;
- величина SM_3 змінюється в межах діапазону визначених для всіх груп зразків середніх значень від 0,33 до 0,64;
- величина SM_4 варіює в межах діапазону встановлених для всіх груп зразків середніх значень від 0,41 до 0,84.

Рис. 4.4 ілюструє лінійні діаграми зміни величини набору статистичних моментів $SM_{1;2;3;4}$. З одержаних даних (рис. 4.4) видно, що величини середнього (SM_1), дисперсії (SM_2), асиметрії (SM_3) й ексцесу (SM_4), що характеризують Стокс-поляриметричні мапи мікроскопічних зображень шарів СТ людини з різною ДНС, лінійно змінюються в межах 24 год.

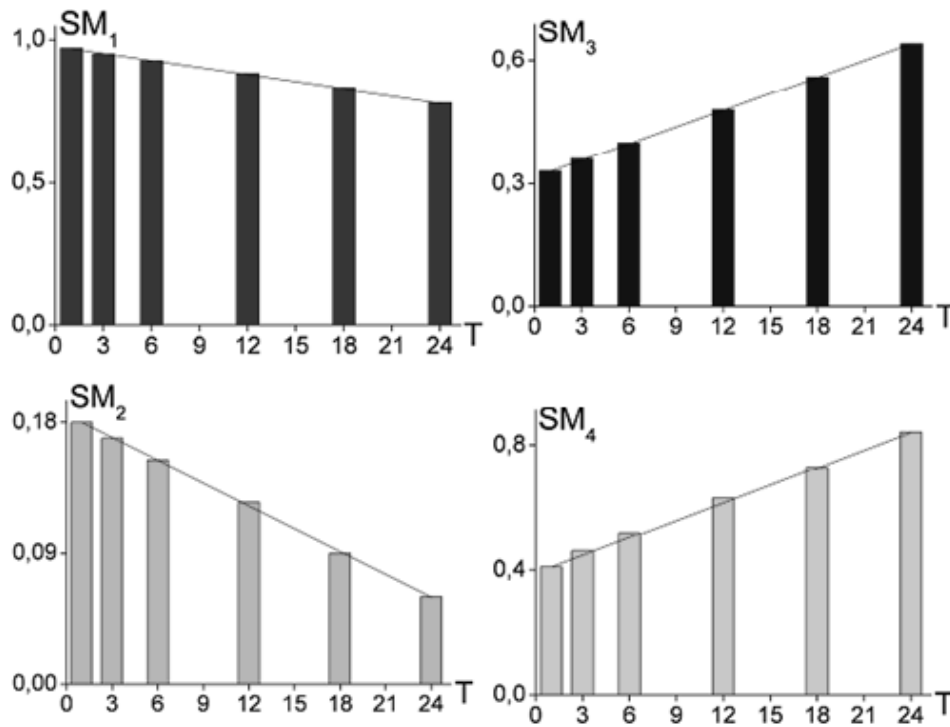


Рис. 4.4. Часові діаграми зміни величини статистичних моментів 1-4-го порядків ($SM_{i=1;2;3;4}$), що характеризують розподіли фазового параметра вектора Стокса мікроскопічних зображень шарів СТ людини з різною ДНС (T, год).

Водночас найбільш чутливим до посмертних змін полікристалічної структури таких зразків виявилися часові зміни асиметрії SM_3 й ексцесу SM_4 . Кількісно це виявлялося в зростанні кутів нахилу таких лінійних залежностей статистичних моментів вищих порядків.

З використанням запропонованого (див. підрозділ 2.6) алгоритму визначення точності встановлення ДНС померлих були одержані наступні результати для методу азимутально-інваріантної поляризаційної мікроскопії

шарів СТ померлих з різною ДНС (табл. 4.2).

Таблиця 4.2 – Точність ($\pm\Delta T$) визначення давності настання смерті методом Стокс-поляриметричного картографування шарів скловидного тіла людини, хв

SM_i	T=1	T=3	T=6	T=12	T=18	T=24
SM_1	58	60	59	63	62	66
SM_2	56	58	57	58	60	62
SM_3	53	54	55	54	55	55
SM_4	50	51	51	52	51	51

Аналіз одержаних даних про часові залежності величини набору статистичних моментів 1-4-го порядків, що характеризують розподіли ФП в різні проміжки ДНС, виявив максимальний рівень (виділено сірим) точності методу Стокс-поляриметричного картографування шарів СТ у визначенні ДНС у межах 50-51 хв.

Даний рівень точності не перевищував часові параметри встановлення ДНС, що були зазначені науковцями в циклі робіт [6, 11-14, 150].

З метою покращення ефективності методу азимутально-інваріантної поляризаційної мікроскопії шарів СТ ми розглянули інформаційні можливості масштабного-селективного вейвлет-аналізу координатних розподілів величини ФП.

4.2. Масштабно-селективний аналіз поляризаційних мап шарів скловидного тіла в діагностиці давності настання смерті

У розділі 2 було зазначено, що алгоритм масштабного-селективного аналізу на основі зміни вікна вейвлет-функції дозволяє диференціювати структурні елементи двовимірних розподілів поляризаційних мап. З іншого боку, посмертні зміни полікристалічної структури СТ починаються зі змін структури дрібномасштабних протеїнових комплексів. Виходячи з цього,

максимальні відмінності між посмертними змінами зразків СТ при різній ДНС слід шукати на дрібних масштабах зміни структури мап ФП мікроскопічних зображень.

На рис. 4.5 та 4.6 представлені результати досліджень мап розподілів величини амплітуд вейвлет-коефіцієнтів $K_{a,b}$ (фрагменти 1), що характеризують масштабну ($a=15$) структуру (фрагменти 2) координатних розподілів величини ФП мікроскопічних зображень оптично-анізотропних структур шарів СТ людини з різною ДНС (3 год – рис. 4.5 та 12 год – рис. 4.6).

Порівняльний аналіз результатів дослідження координатних розподілів амплітуд вейвлет-коефіцієнтів $W_{a,b}(x,y)$, що характеризують мапи ФП мікроскопічних зображень зразків шарів СТ людини при різних значеннях ДНС, виявив найбільші відмінності між ними на рівні малих масштабів a_{\min} вейвлет-функції (рис. 4.5 та 4.6, фрагменти 2).

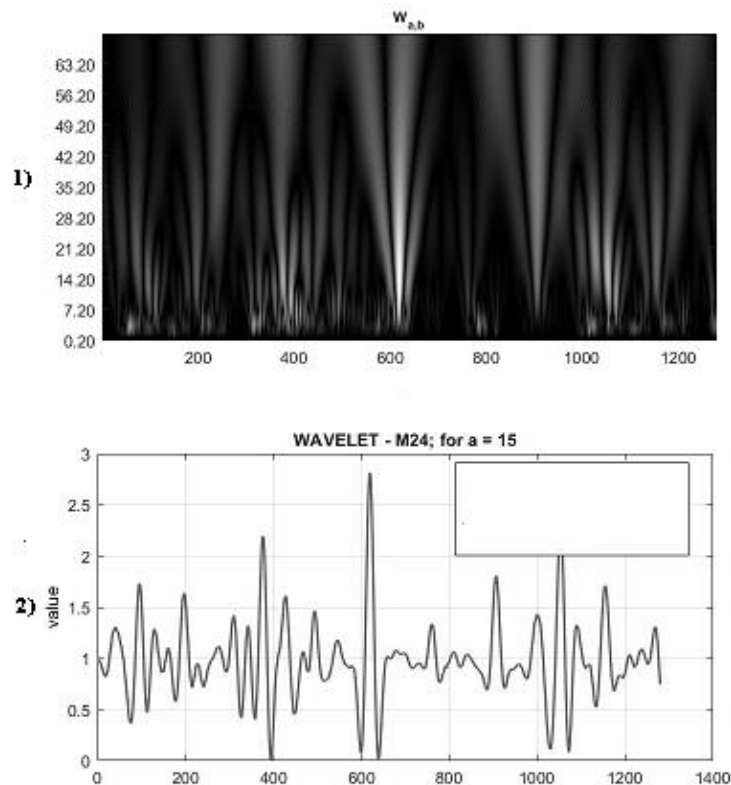


Рис. 4.5. Мапи $W_{a,b}$ (1) і лінійні залежності (2) величини амплітуди вейвлет-коефіцієнтів $S_{15,b}$ фазового параметра вектора Стокса мікроскопічного зображення СТ людини з ДНС 3 год.

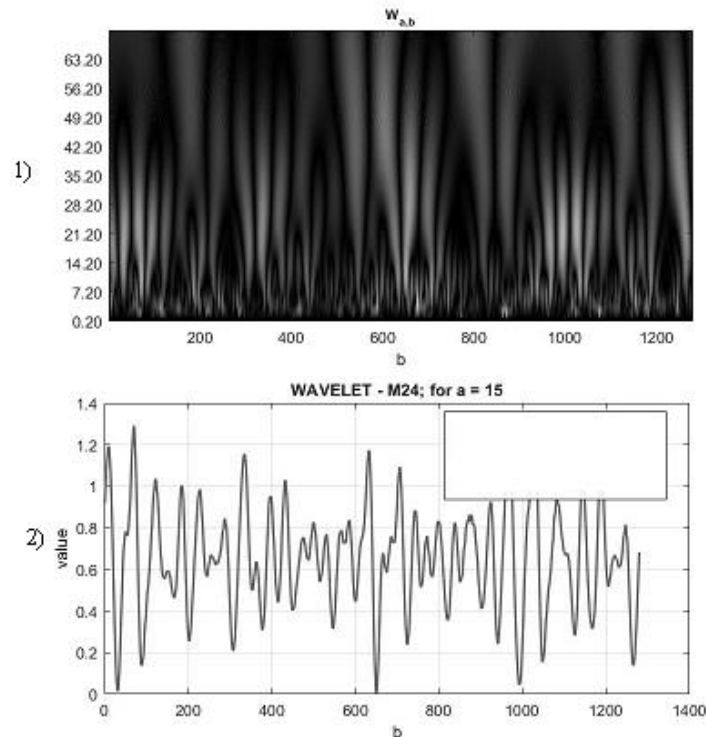


Рис. 4.6. Мапи $W_{a,b}$ (1) і лінійні залежності (2) величини амплітуди вейвлет-коефіцієнтів $C_{15,b}$ фазового параметра вектора Стокса мікроскопічного зображення СТ людини з ДНС 12 год.

Кількісно це ілюструє більший рівень модуляції амплітуди “дрібномасштабних” лінійних залежностей вейвлет-коефіцієнтів $C_{a=15,b}$ поляризаційної мапи мікроскопічного зображення шару СТ людини з ДНС 3 год (рис. 4.5, фрагмент 2).

Як ми вже зазначали, це можна пов’язати з тим, що посмертні зміни оптично анізотропних структур СТ відбуваються не на великомасштабному (фібрилярному), а на дрібномасштабному (молекулярному) рівні.

Кількісно даний сценарій часової динаміки посмертних змін масштабної структури координатних розподілів 4-го параметра вектора Стокса мікроскопічних зображень зразків СТ людини з різною ДНС ілюструють величини $SM_{i=1;2;3;4}$, що характеризують розподіли величини амплітуди вейвлет-коефіцієнтів $C_{a=15,b}$ (табл. 4.3).

Таблиця 4.3 – Часова динаміка зміни величини статистичних моментів 1-4-го порядків ($SM_{i=1;2;3;4}$), що характеризують розподіли лінійного перерізу $C_{15,b}$ мапи вейвлет-коефіцієнтів $W_{a,b}$ вектора Стокса мікроскопічних зображень шарів скловидного тіла з різною давністю настання смерті (T , год)

SM_i	$T=1$	$T=6$	$T=12$	$T=18$	$T=24$	$T=36$
SM_1	0,18± 0,07	0,25± 0,011	0,31± 0,013	0,38± 0,015	0,44± 0,018	0,58± 0,024
p	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
SM_2	0,11± 0,005	0,16± 0,007	0,21± 0,009	0,25± 0,011	0,31± 0,014	0,39± 0,016
p	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
SM_3	0,43± 0,019	0,54± 0,024	0,65± 0,031	0,75± 0,034	0,86± 0,041	1,08± 0,051
p	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
SM_4	0,49± 0,021	0,62± 0,028	0,75± 0,034	0,89± 0,041	1,02± 0,049	1,29± 0,058

Було встановлено наступне:

- лінійний діапазон зміни величини статистичних моментів 1-4-го порядків, що характеризують розподіли величини амплітуди вейвлет-коефіцієнтів $C_{a=15,b}$ за тривалістю ДНС, збільшується порівняно з даними статистичного аналізу розподілів ФП мікроскопічних зображень шарів СТ від 24 год до 36 год;
- величина середнього SM_1 розподілів величини амплітуди вейвлет-коефіцієнтів $C_{a=15,b}$ змінюється в межах діапазону визначених для всіх груп зразків середніх значень від 0,18 до 0,58;
- величина дисперсії SM_2 розподілів величини амплітуди вейвлет-коефіцієнтів $C_{a=15,b}$ варіює в межах діапазону встановлених для всіх груп зразків середніх значень від 0,11 до 0,39;
- величина асиметрії SM_3 розподілів величини амплітуди вейвлет-

коефіцієнтів $C_{a=15,b}$ змінюється в межах діапазону визначених для всіх груп зразків середніх значень від 0,43 до 1,08;

- величина ексцесу SM_4 розподілів величини амплітуди вейвлет-коефіцієнтів $C_{a=15,b}$ варіює в межах діапазону встановлених для всіх груп зразків середніх значень від 0,49 до 1,29.

Рис. 4.7. ілюструє лінійні діаграми зміни величини набору статистичних моментів $SM_{1;2;3;4}$. З одержаних даних (рис. 4.7) видно, що величини середнього (1), дисперсії (2), асиметрії (3) й ексцесу (4), що характеризують розподіли величини амплітуди вейвлет-коефіцієнтів Стокса поляриметричних мап мікроскопічних зображень шарів СТ померлих з різною ДНС, лінійно змінюються в межах 36 год.

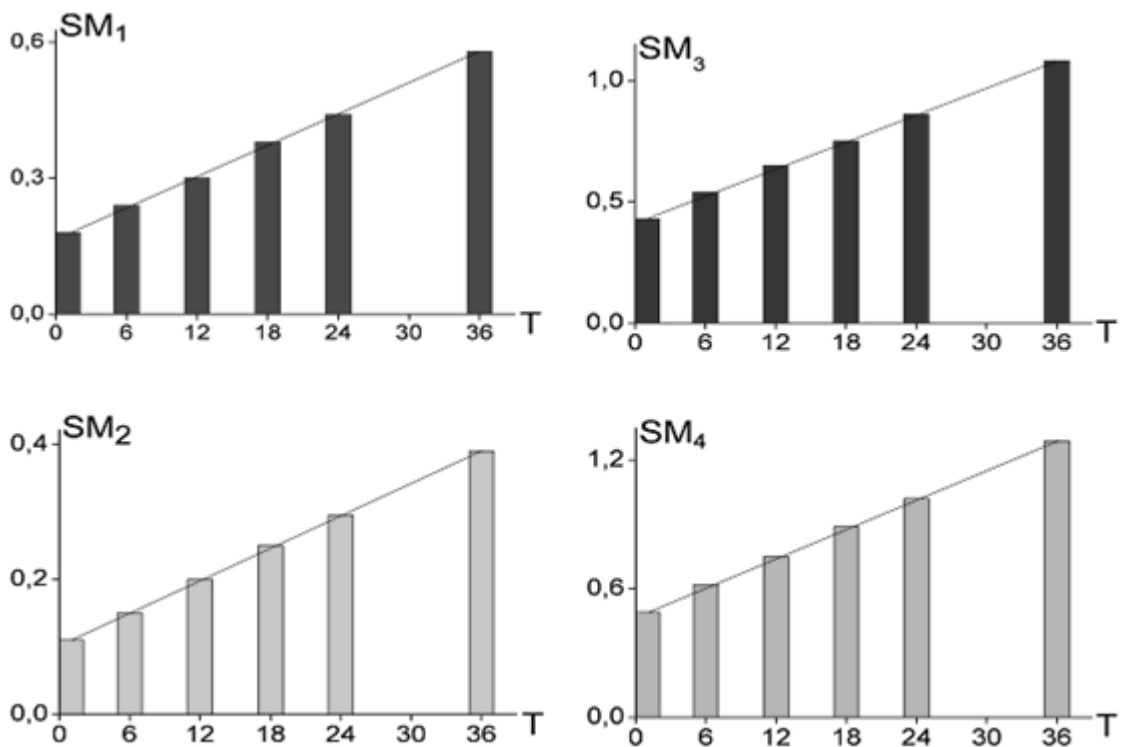


Рис. 4.7. Часові лінійні діаграми зміни величини статистичних моментів 1-4-го порядків ($SM_{i=1;2;3;4}$), що характеризують розподіли лінійного перерізу $C_{15,b}$ мапи вейвлет-коефіцієнтів $W_{a,b}$ вектора Стокса мікроскопічних зображень шарів СТ з різною ДНС (Т, год).

Водночас найчутливішими до посмертних змін полікристалічної структури таких зразків, як і у випадку статистичного аналізу даних азимутально-інваріантної поляризаційної мікроскопії, виявилися часові зміни асиметрії SM_3 й ексцесу SM_4 .

Кількісно це виявлялося в зростанні кутів нахилу таких лінійних залежностей статистичних моментів вищих порядків, що характеризують розподіли величини амплітуди вейвлет-коефіцієнтів порівняно з аналогічними параметрами Стокс-поляриметричних мап мікроскопічних зображень шарів СТ біоманекенів з різною ДНС. Завдяки цьому точність визначення ДНС зростає на 5 хв (табл. 4.4).

Таблиця 4.4 – Точність ($\pm\Delta T$) визначення давності настання смерті методом вейвлет-аналізу Стокс-поляриметричного картографування шарів скловидного тіла, хв

SM_i	T=1	T=6	T=12	T=18	T=24	T=36
SM_1	55	59	57	61	60	62
SM_2	56	56	55	56	57	59
SM_3	44	47	46	47	48	49
SM_4	43	45	45	44	46	46

Аналіз одержаних даних про часові залежності величини набору статистичних моментів 1-4-го порядків, що характеризують розподіли величини амплітуд вейвлет-коефіцієнтів дрібномасштабної структури координатних розподілів ФП мікроскопічних зображень шарів СТ у різні проміжки ДНС, виявив максимальний рівень (виділено сірим) точності у визначенні ДНС в межах 43-46 хв.

Отже, можна констатувати певну ефективність застосування додаткового вейвлет-аналізу мап ФП мікроскопічних зображень шарів СТ людини у встановленні ДНС.

Водночас детальнішу інформацію про посмертні зміни

полікристалічної складової БТ несе метод Мюллер-матричного картографування, що дозволяє безпосередньо оцінювати післясмертні зміни поляризаційних проявів оптичної анізотропії СТ людини.

4.3. Метод азимутально-інваріантного Мюллер-матричного картографування шарів скловидного тіла в діагностиці давності настання смерті

Експериментальні вимірювання азимутально-інваріантних Мюллер-матричних зображень (фазового MMI) препаратів СТ померлих з різною ДНС здійснювалися за методикою, що представлена в розділі 2.

На рис. 4.8 і 4.9 наведені мапи (фрагменти 1) і гістограми (фрагменти 2, 3) розподілів величини фазового MMI полікристалічних фібрилярних мереж шарів СТ при ДНС 3 год (рис. 4.8) і 12 год (рис. 4.9).

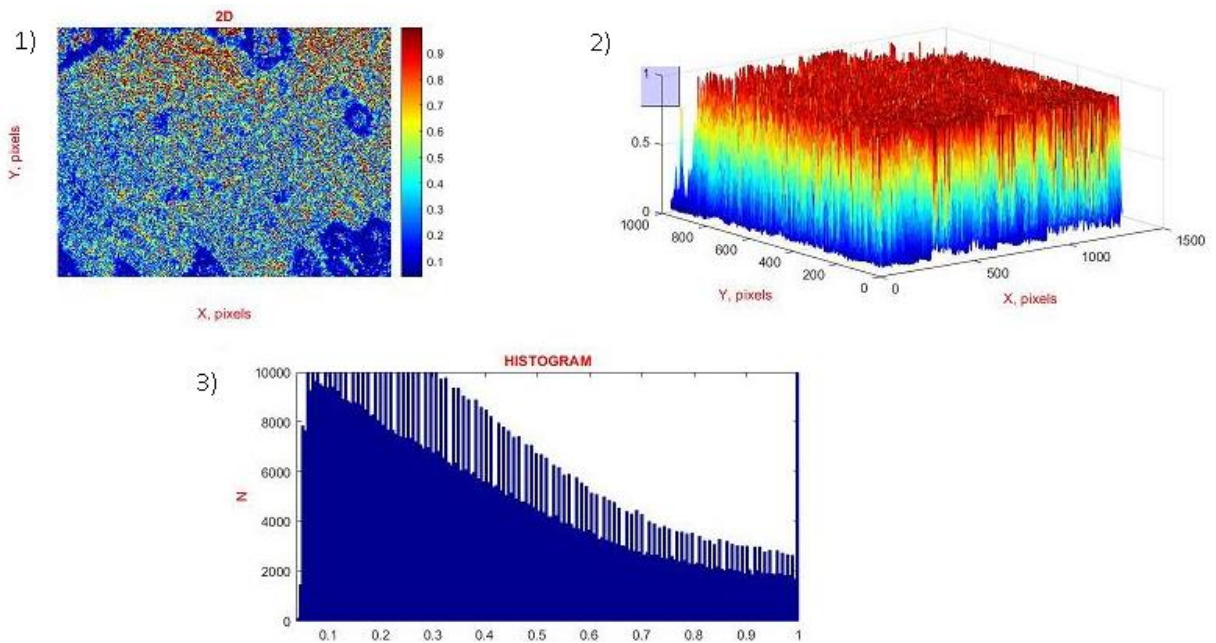


Рис. 4.8. Мапи (1) і розподіли (2, 3) величини фазового Мюллер-матричного інваріанта шарів СТ при ДНС 3 год.

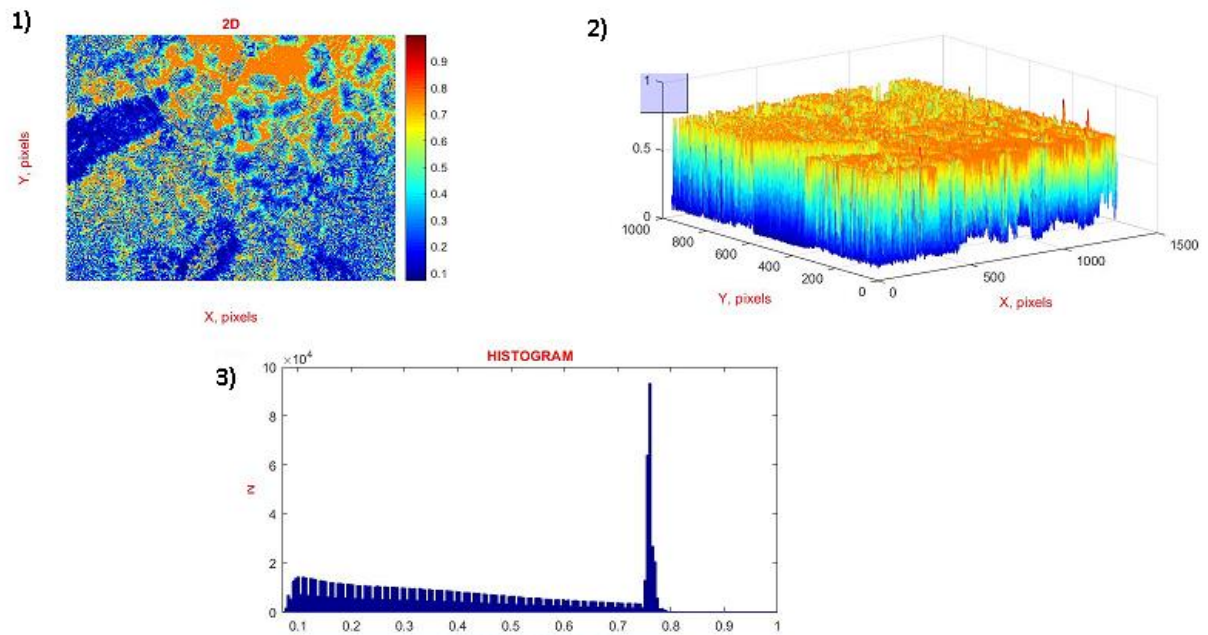


Рис. 4.9. Мапи (1) і розподіли (2, 3) величини фазового Мюллер-матричного інваріанта шарів СТ при ДНС 12 год.

Одержані результати азимутально-інваріантного Мюллер-матричного картографування координатних розподілів величини фазового ММІ ілюструють наявність відмінностей між оптичною анізотропією фібрилярних колагенових мереж шарів СТ людини при різних значеннях ДНС. Виявлено, що координатні розподіли величини фазового ММІ (рис. 4.9, фрагмент 1) зразка шару СТ з ДНС 12 год характеризуються більшим середнім значенням і діапазоном розкиду випадкових значень порівняно з аналогічними координатними розподілами фазового ММІ, визначеного для шарів СТ при ДНС 3 год (рис. 4.8, фрагмент 1). Встановлений факт можна пояснити з залученням відомих літературних даних щодо методики Мюллер-матричного картографування гістологічних зрізів БТ різних органів людини [17, 137, 138, 155]. Тут показано, що величина оптичної анізотропії обернено пропорційна фазовій модуляції в точках площини шару СТ (рис. 4.8, 4.9, фрагменти 1). Тому зі збільшенням ДНС через післясмертні зміни зменшується рівень оптичної анізотропії. Відповідно до цього збільшується глибина фазової модуляції лазерного випромінювання оптично анізотропними структурами зразка СТ. Таким посмертним процесам відповідають більші випадкові

значення фазового ММІ.

У межах статистичного підходу до аналізу часової динаміки посмертних змін мап фазового ММІ шарів СТ зростання ДНС супроводжується протилежними тенденціями – збільшенням середнього та дисперсії, що характеризують координатні розподіли величини фазового ММІ (рис. 4.8, 4.9, фрагменти 2, 3). Навпаки, асиметрія та ексцес, що характеризують координатні розподіли величини ММІ полікристалічних структур шарів СТ, зменшуються. Кількісно цей сценарій зміни фазової структури фібрилярних мереж зразків СТ при різній ДНС представлений у таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Часова динаміка зміни величини статистичних моментів 1-4-го порядків ($SM_{i=1;2;3;4}$), що характеризують розподіли фазового Мюллер-матричного інваріанта

SM_i	T=1	T=3	T=6	T=12	T=18	T=24
SM_1	0,49±	0,45±	0,41±	0,33±	0,26±	0,19±
	0,022	0,019	0,017	0,014	0,011	0,008
p	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
SM_2	0,27±	0,25±	0,22±	0,17±	0,13±	0,09±
	0,012	0,011	0,01	0,008	0,006	0,004
p	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
SM_3	0,51±	0,57±	0,62±	0,74±	0,85±	0,97±
	0,023	0,025	0,027	0,034	0,039	0,044
p	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
SM_4	0,61±	0,65±	0,72±	0,87±	1,01±	1,19±
	0,027	0,029	0,033	0,038	0,045	0,052
p	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05

Було визначено наступне:

- лінійний діапазон зміни величин $SM_{i=1;2;3;4}$, що характеризують

координатні розподіли величини фазового ММІ шарів СТ людини за величиною ДНС, складає 24 год;

- величина SM_1 змінюється в межах діапазону визначених для всіх груп зразків середніх значень від 0,49 до 0,19;
- величина SM_2 варіює в межах діапазону встановлених для всіх груп зразків середніх значень від 0,27 до 0,09;
- величина SM_3 змінюється в межах діапазону визначених для всіх груп зразків середніх значень від 0,51 до 0,97;
- величина SM_4 варіює в межах діапазону встановлених для всіх груп зразків середніх значень від 0,61 до 1,19.

Рис. 4.10 ілюструє лінійні діаграми зміни величини набору статистичних моментів $SM_{1;2;3;4}$. З одержаних даних (рис. 4.10) видно, що величини середнього (SM_1), дисперсії (SM_2), асиметрії (SM_3) й ексцесу (SM_4), що характеризують мапи фазового ММІ шарів СТ людини при різних термінах ДНС, лінійно змінюються в межах 24 год.

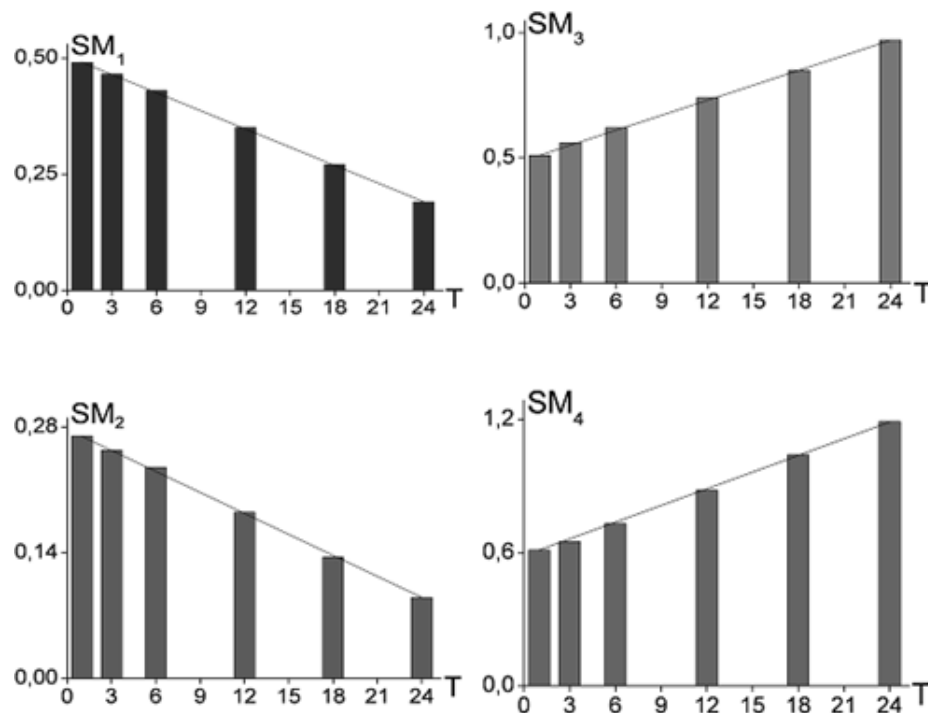


Рис. 4.10. Часові діаграми зміни величини статистичних моментів 1-4-го порядків ($SM_{i=1;2;3;4}$), що характеризують розподіли фазового Мюллер-матричного інваріанта шарів СТ помердих з різною ДНС (Т, год).

Водночас найбільш чутливими, як і у випадку методу азимутально-інваріантної поляризаційної мікроскопії, до посмертних змін полікристалічної структури таких зразків виявилися часові зміни асиметрії SM_3 й ексцесу SM_4 . Кількісно це виявлялося в зростанні кутів нахилу таких лінійних залежностей статистичних моментів вищих порядків (табл. 4.6).

Таблиця 4.6 – Точність визначення давності настання смерті методом Мюллер-матричного картографування шарів скловидного тіла, хв

SM_i	T=1	T=3	T=6	T=12	T=18	T=24
SM_1	55	56	55	57	60	61
SM_2	52	53	52	53	53	52
SM_3	45	46	48	47	48	48
SM_4	44	45	44	45	45	46

Аналіз одержаних даних про часові залежності величини набору статистичних моментів 1-4-го порядків, що характеризують розподіли величини фазового MMI в різні проміжки ДНС, виявив максимальний рівень (виділено сірим) точності у визначенні ДНС в межах 44-46 хв, що на 5 хв краще методики азимутально-інваріантної поляризаційної мікроскопії.

З метою покращення ефективності методу Мюллер-матричного картографування шарів СТ ми розглянули інформаційні можливості масштабного-селективного вейвлет-аналізу координатних розподілів величини фазового MMI.

4.4. Вейвлет-аналіз розподілів Мюллер-матричних інваріантів шарів скловидного тіла в діагностиці давності настання смерті

На рис. 4.11 і 4.12 представлені результати досліджень мап розподілів величини амплітуд вейвлет-коефіцієнтів $K_{a,b}$ (фрагменти 1), що

характеризують масштабну ($a=15$) структуру (фрагменти 2) координатних розподілів величини фазового ММІ оптично-анізотропних структур шарів СТ померлих з різною ДНС: 3 год (рис. 4.11) і 12 год (рис. 4.12).

Порівняльний аналіз результатів дослідження координатних розподілів амплітуд вейвлет-коефіцієнтів $W_{a,b}(x,y)$, що характеризують мапи фазового ММІ зразків шарів СТ померлих з різною ДНС, виявив найбільші відмінності між ними на рівні малих масштабів a_{\min} вейвлет-функції (рис. 4.11, 4.12, фрагменти 2).

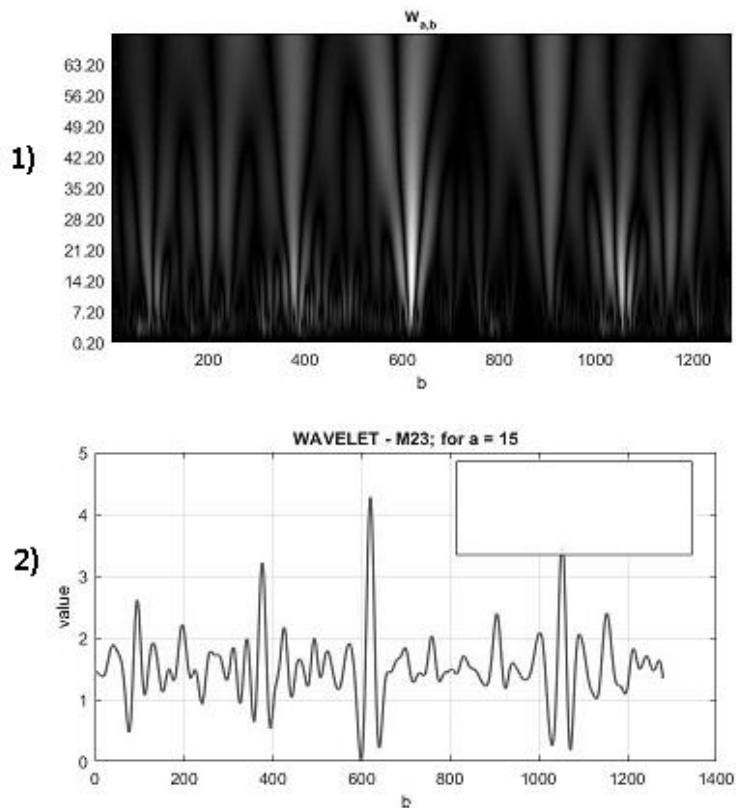


Рис. 4.11. Мапи $W_{a,b}$ (1) і лінійні залежності (2) величини амплітуди вейвлет-коефіцієнтів $C_{15,b}$ фазового Мюллер-матричного інваріанта СТ з ДНС 3 год.

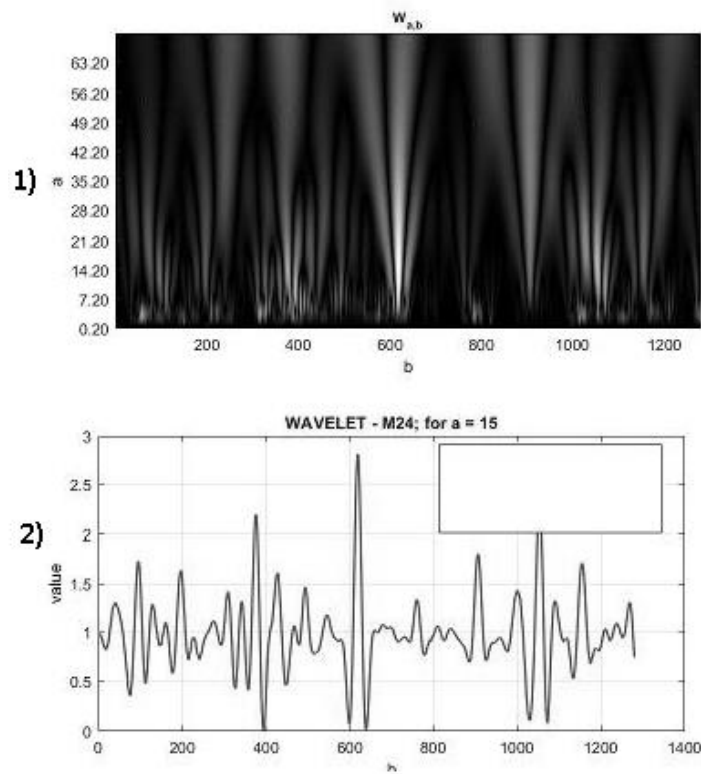


Рис. 4.12. Мапи $W_{a,b}$ (1) і лінійні залежності (2) величини амплітуди вейвлет-коефіцієнтів $C_{15,b}$ фазового Мюллер-матричного інваріанта СТ з ДНС 12 год.

Кількісно сценарій часової динаміки посмертних змін масштабної структури координатних розподілів фазового ММІ зразків шарів СТ померлих з різною ДНС ілюструють величини статистичних моментів 1-4-го порядків, що характеризують розподіли величини амплітуди вейвлет-коефіцієнтів $C_{a=15,b}$ (табл. 4.7).

Було встановлено наступне:

- лінійний діапазон зміни величини статистичних моментів 1-4-го порядків, що характеризують розподіли величини амплітуди вейвлет-коефіцієнтів $C_{a=15,b}$ померлих за величиною ДНС, збільшується порівняно з даними статистичного аналізу розподілів ФП мікроскопічних зображень шарів СТ від 24 до 36 год;
- величина середнього SM_1 розподілів величини амплітуди вейвлет-коефіцієнтів $C_{a=15,b}$ змінюється в межах діапазону визначених для всіх груп зразків середніх значень від 0,11 до 0,72;

- величина дисперсії SM_2 розподілів величини амплітуди вейвлет-коефіцієнтів $C_{a=15,b}$ варіює в межах діапазону встановлених для всіх груп зразків середніх значень від 0,09 до 0,88;
- величина асиметрії SM_3 розподілів величини амплітуди вейвлет-коефіцієнтів $C_{a=15,b}$ змінюється в межах діапазону визначених для всіх груп зразків середніх значень від 0,43 до 1,27;
- величина ексцесу SM_4 розподілів величини амплітуди вейвлет-коефіцієнтів $C_{a=15,b}$ варіює в межах діапазону встановлених для всіх груп зразків середніх значень від 0,34 до 1,38.

Таблиця 4.7 – Часова динаміка зміни величини $SM_{i=1;2;3;4}$, що характеризують розподіли лінійного перерізу $C_{15,b}$ мапи вейвлет-коефіцієнтів $W_{a,b}$ фазового Мюллер-матричного інваріанта шарів скловидного тіла при різних значеннях давності настання смерті (Т, год)

SM_i	T=1	T=6	T=12	T=18	T=24	T=36
SM_1	0,11± 0,05	0,21± 0,01	0,31± 0,013	0,42± 0,017	0,52± 0,023	0,72± 0,034
p	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
SM_2	0,09± 0,004	0,22± 0,009	0,35± 0,015	0,49± 0,021	0,62± 0,028	0,88± 0,036
p	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
SM_3	0,43± 0,019	0,49± 0,024	0,64± 0,031	0,79± 0,034	0,95± 0,041	1,27± 0,058
p	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
SM_4	0,34± 0,021	0,51± 0,028	0,69± 0,034	0,86± 0,041	1,04± 0,049	1,38± 0,059

З одержаних даних (табл. 4.7 і рис. 4.13) видно, що величини всіх статистичних моментів 1-4-го порядків ($SM_{1;2;3;4}$), що характеризують розподіли величини амплітуди вейвлет-коефіцієнтів мап фазового ММІ

шарів СТ померлих з різною ДНС, лінійно змінюються в межах 36 год.

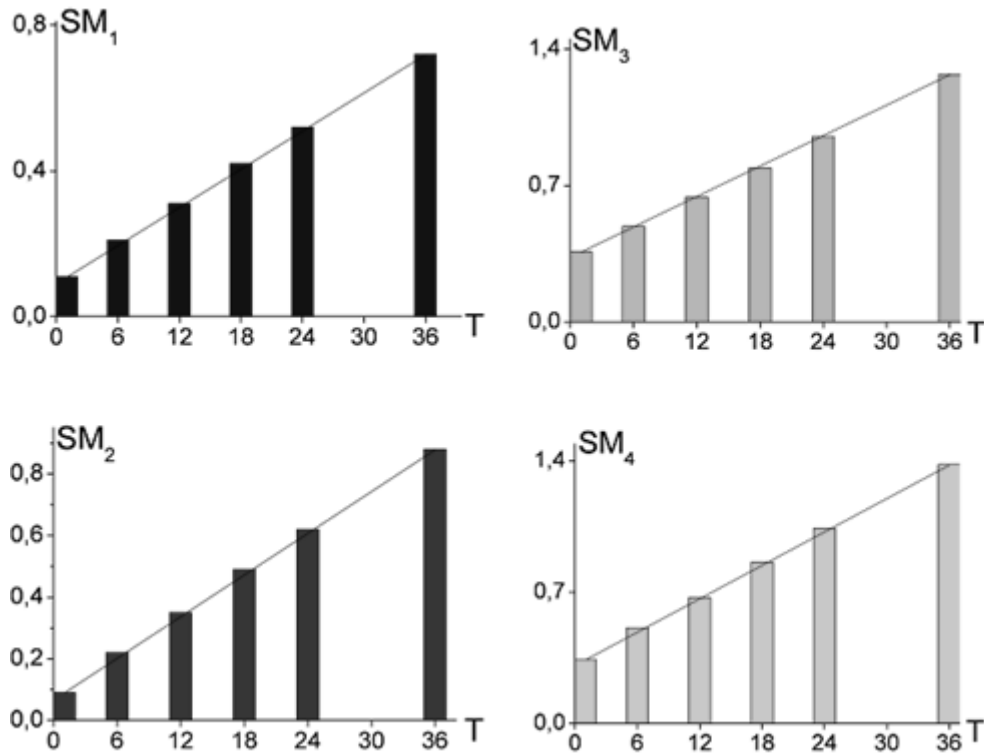


Рис. 4.13. Часові лінійні діаграми зміни величини статистичних моментів 1-4-го порядків ($SM_{i=1;2;3;4}$), що характеризують розподіли лінійного перерізу $S_{15,b}$ мапи вейвлет-коефіцієнтів $W_{a,b}$ фазового Мюллер-матричного інваріанта шарів СТ з різною ДНС (Т, год).

Водночас найчутливішим до посмертних змін полікристалічної структури таких зразків, як і випадку статистичного аналізу даних азимутально-інваріантного Мюллер-матричного картографування, виявилися часові зміни асиметрії SM_3 й ексцесу SM_4 .

Кількісно це виявлялося в зростанні кутів нахилу таких лінійних залежностей статистичних моментів вищих порядків, що характеризують розподіли величини амплітуди вейвлет-коефіцієнтів порівняно з аналогічними параметрами Стокс-поляриметричних і Мюллер-матричних мап мікроскопічних зображень шарів СТ людини з різною ДНС. Завдяки цьому точність визначення ДНС зростала на 5 хв (табл. 4.8).

Таблиця 4.8 – Точність визначення давності настання смерті методом вейвлет-аналізу Мюллер-матричного картографування шарів скловидного тіла, хв

SM_i	T=1	T=6	T=12	T=18	T=24	T=36
SM_1	51	51	52	52	53	54
SM_2	48	48	49	50	40	50
SM_3	42	42	43	42	44	43
SM_4	39	40	39	40	41	40

Аналіз одержаних даних про часові залежності величини набору статистичних моментів 1-4-го порядків, що характеризують розподіли величини амплітуд вейвлет-коефіцієнтів фазового ММІ в різні проміжки ДНС, виявив максимальний рівень (виділено сірим) точності у визначенні ДНС в межах 39-40 хв, що на 5 хв краще, ніж для методики азимутально-інваріантного картографування шарів СТ померлих з різною ДНС.

Висновки. Апробована методика азимутально-інваріантної поляризаційної мікроскопії розподілів ФП та фазових ММІ зображень СТ людини в часовому моніторингу посмертних змін оптичних проявів полікристалічних мереж з метою визначення ДНС. Встановлені діапазон чутливості 24год і точність визначення ДНС 45-50 хв.

Продемонстрована ефективність застосування вейвлет-аналізу розподілів ФП та фазових ММІ шарів СТ померлих у діагностиці ДНС. Масштабно-селективний аналіз забезпечує збільшення діапазону чутливості до 36 год та підвищення точності визначення ДНС методом азимутально-інваріантної мікроскопії до 45 хв, методом Мюллер-матричного картографування до 40 хв.

Основні результати розділу висвітлено в наступних публікаціях:

1. Bachinskyi VT, Sarkisova YuV, Vanchuliak OYa, Garazdiuk MS,

- Palyvoda OG. Post-mortem interval estimation by changes in the optical density of the vitreous humour. *Folia Societatis Medicinae Legalis Slovaca*. 2019;9(1):66-9.
2. Саркісова ЮВ, Гараздюк МС. Дослідження часових посмертних змін статистичної структури азимутів поляризації мікроскопічних зображень склоподібного тіла людини. *VIMCO Journal*. 2019;2019:398.
 3. Sarkisova Y, Garazdiuk M, Vanchuliak O, Pavliukovych O, Garazdiuk O. Post-mortem interval estimation by the method of azimuthal-invariant polarising microscopy of human eye vitreous body. *Rechtsmedizin*. 2019;29(4):370-1.
 4. Sarkisova YV. Perspective use of polarizational microscopy of human vitreous body for diagnostics of the time since death. В: Матеріали 100-ї підсумкової наукової конференції професорсько-викладацького персоналу Вищого державного навчального закладу “Буковинський державний медичний університет”; 2019 Лют 11, 13, 18; Чернівці. Чернівці: Медуніверситет; 2019, с. 41-2.
 5. Саркісова ЮВ, Бачинський ВТ, Ванчуляк ОЯ, Ушенко ОГ, Ушенко ЮО, Дуболазов ОВ, та ін., винахідники; Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, патентовласник. Спосіб визначення давності настання смерті методом стокс-поляриметричного картографування шарів скловидного тіла. Патент України № 143792. 2020 Серп 10.
 6. Sarkisova YV. Diagnosis of the time since death by using of the azimuth-invariant Muller-matrix microscopy method of the human vitreous body. *Буковинський медичний вісник*. 2020;24(1):128-33. doi: [10.24061/2413-0737.XXIV.1.93.2020.17](https://doi.org/10.24061/2413-0737.XXIV.1.93.2020.17)
 7. Ushenko AG, Sarkisova Y, Bachinsky VT, Vanchuliak OY, Dubolazov AV, Ushenko YO, et al. Diagnostics of the prescriptions of death by a method of azimuthally-invariant Mueller-matrix microscopy. *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*. 2020;11581:115810J. doi:

[10.1117/12.2580335](https://doi.org/10.1117/12.2580335)

8. Sarkisova YV, Bachynskiy VT, Garazdiuk OI, Garazdiuk IV, Teleki IM. Postmortem interval estimation by the method of wavelet analysis of stokes-polarimetric mapping data of human vitreous body layers. *Wiad Lek.* 2021;74(9 Cz 1):2118-22. doi: [10.36740/WLek202109117](https://doi.org/10.36740/WLek202109117)

РОЗДІЛ 5

ДИФЕРЕНЦІЙНА МЮЛЛЕР-МАТРИЧНА МІКРОСКОПІЯ

ПРЕПАРАТІВ СКЛОВИДНОГО ТІЛА В ДІАГНОСТИЦІ ДАВНОСТІ

НАСТАННЯ СМЕРТІ

У розділі представлена часова динаміка посмертних змін координатних розподілів величини диференційного матричного елемента кристалічної та білкової складових СТ людини. Продемонстрована ефективність і точність встановлення ДНС методом диференційного Мюллер-матричного картографування, а також покращення запропонованої методики шляхом застосування масштабно-селективного вейвлет-аналізу.

Шар СТ	
Азимутально-інваріантна Мюллер-матрична мікроскопія	
Картографування ПС	Картографування БФ
Координатні розподіли величини ДЕПС	Координатні розподіли величини ДЕБФ
Часова динаміка зміни статистичних моментів 1-4-го порядків, що характеризують координатні розподіли ДЕПС та ДЕБФ СТ людини в постмортальному періоді	
Точність визначення ДНС методом картографування ПС шарів СТ	Точність визначення ДНС методом картографування БФ шарів СТ
Вейвлет-аналіз координатних розподілів диференційних матричних елементів	
Координатні розподіли величини амплітуд вейвлет-коефіцієнтів ДЕПС	Координатні розподіли величини амплітуд вейвлет-коефіцієнтів ДЕБФ
Часова динаміка зміни статистичних моментів 1-4-го порядків, що характеризують розподіли амплітуд вейвлет-коефіцієнтів СТ людини в постмортальному періоді	
Точність визначення ДНС методом вейвлет-аналізу даних картографування полікристалічної складової шарів СТ	Точність визначення ДНС методом вейвлет-аналізу даних картографування білкової складової шарів СТ

Рис. 5.1. Структурно-логічна схема визначення ДНС методом диференційного Мюллер-матричного картографування.

5.1. Диференційні матричні зображення та часова динаміка зміни полікристалічної складової препаратів скловидного тіла людини з різною давністю настання смерті

Представлені результати статистичного аналізу часової динаміки розподілів величини елементу диференційної матриці 1-го порядку, що характеризує прояви структурної анізотропії мережі колагенових фібрил СТ (надалі “диференційний елемент полікристалічної складової” – ДЕПС) померлих з різною ДНС.

Експериментальні вимірювання координатних розподілів величини ДЕПС біологічних препаратів СТ здійснювалися за методикою, що представлена в розділі 2.

На рис. 5.2 і 5.3 наведені мапи та розподіли величини ДЕПС шарів СТ людини з ДНС 3 год та 12 год. Одержані результати ілюструють наявність відмінностей між даними диференційного Мюллер-матричного картографування полікристалічної складової шарів СТ людини з різною ДНС.

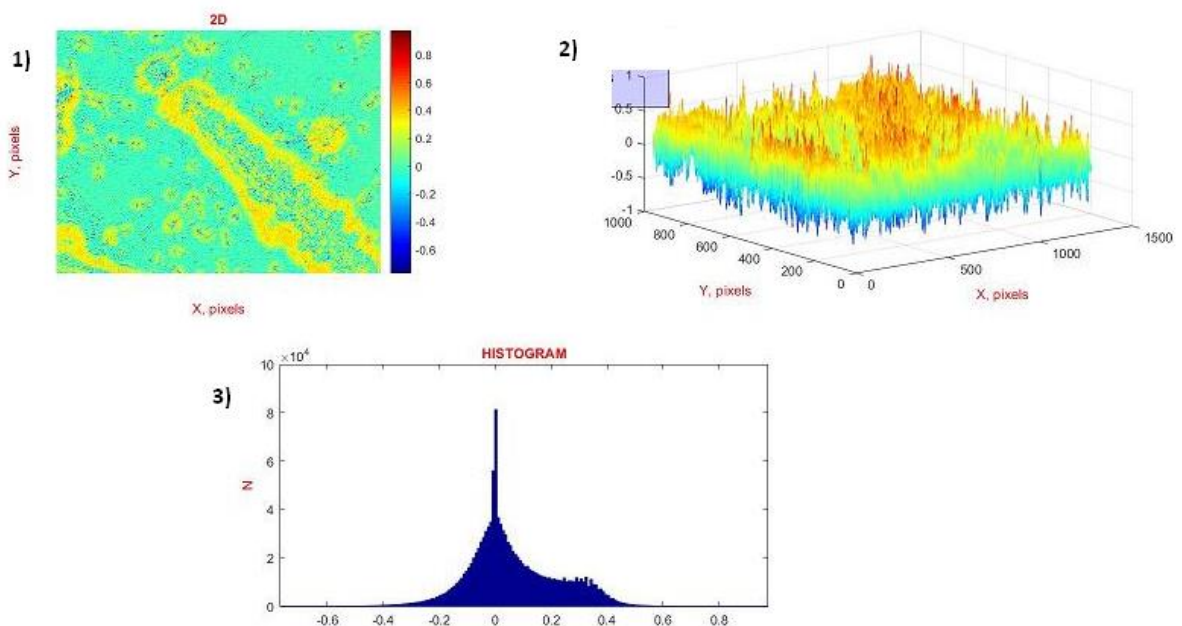


Рис. 5.2. Мапи (1) і розподіли (2, 3) величини диференційного матричного елемента кристалічної фракції шарів СТ при ДНС 3 год.

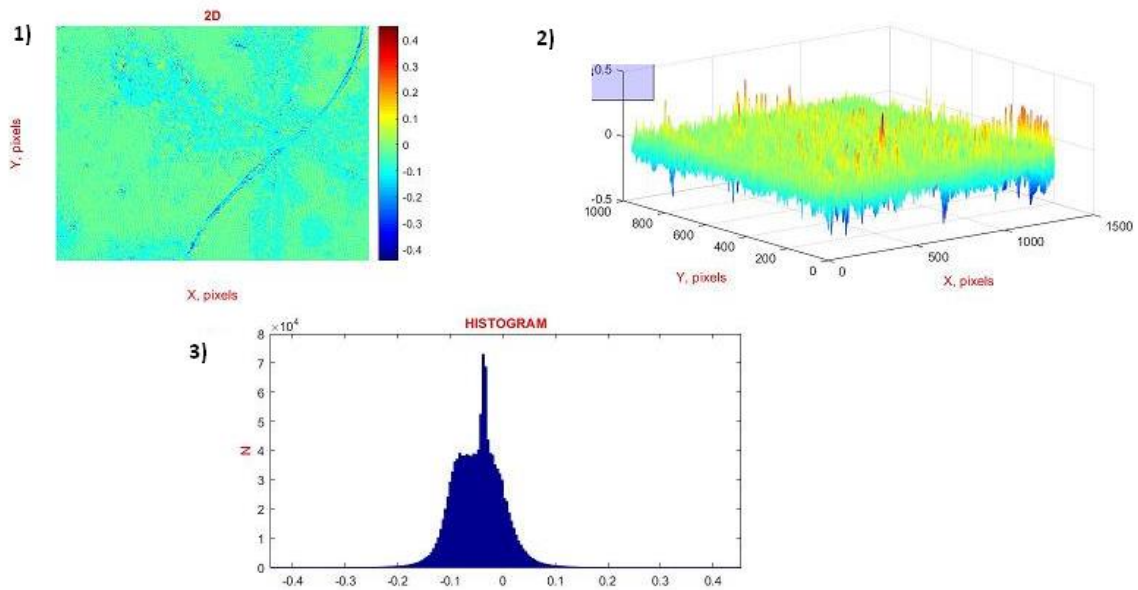


Рис. 5.3. Мапи (1) і розподіли (2, 3) величини диференційного матричного елемента кристалічної фракції шарів СТ померлих з ДНС 12 год.

Було виявлено, що координатні розподіли величини ДЕПС (рис. 5.3) зразка шару СТ людини з більшою ДНС (12 год) характеризуються меншими середнім значенням ($SM_1=0,44$) та діапазоном розкиду ($SM_2=0,21$) випадкових значень порівняно з гістограмами ($SM_1=0,61$; $SM_2=0,31$), що отримані для полікристалічної складової зразка шарів СТ з ДНС 3 год (рис. 5.2).

Виявлені дані можна пов'язати з деструктивними посмертними змінами структурної анізотропії полікристалічної складової шарів СТ, поляризаційні прояви яких супроводжуються зменшенням величини відповідного диференційного матричного елемента полікристалічної складової.

Відомо, що ДЕПС насамперед визначається просторовою впорядкованістю фібрилярних колагенових мереж [155, 160, 161]. Зі збільшенням часу ДНС така впорядкованість порушується, величина даного елемента диференційної матриці зменшується.

Кількісно цей сценарій часової динаміки посмертної зміни полікристалічної структури шарів СТ померлих з різною ДНС ілюструють середні значення та похибки в межах груп статистичних моментів 1-4-го

порядків, що характеризують координатні розподіли величини ДЕПС (табл. 5.1).

Таблиця 5.1 – Часова динаміка зміни величини статистичних моментів 1-4-го порядків ($SM_{i=1;2;3;4}$), що характеризують розподіли диференційного елемента кристалічної фракції шарів скловидного тіла людини при різних значеннях давності настання смерті (Т, год)

$SM_i \times 10^{-2}$	T=1	T=3	T=6	T=12	T=18	T=24
SM_1	0,66±	0,61±	0,55±	0,44±	0,34±	0,24±
	0,024	0,023	0,021	0,018	0,015	0,011
p	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
SM_2	0,35±	0,31±	0,28±	0,21±	0,13±	0,07±
	0,016	0,014	0,011	0,009	0,006	0,003
p	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
SM_3	0,77±	0,81±	0,94±	1,11±	1,29±	1,46±
	0,032	0,038	0,045	0,051	0,053	0,062
p	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
SM_4	0,91±	1,02±	1,13±	1,35±	1,58±	1,79±
	0,044	0,048	0,052	0,057	0,072	0,079
p	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05

Було встановлено наступне:

- лінійний діапазон зміни величини статистичних моментів 1-4-го порядків, що характеризують розподіли величини ДЕПС шарів СТ людини за величиною ДНС, складає 24 год;
- величина статистичного моменту 1-го порядку SM_1 змінюється в межах від 0,66 до 0,24;
- величина статистичного моменту 2-го порядку SM_2 варіює в межах від 0,35 до 0,07;
- величина статистичного моменту 3-го порядку SM_3 змінюється в межах від 0,77 до 1,46;

- величина статистичного моменту 4-го порядку SM_4 варіює в межах від 0,91 до 1,79.

Рис. 5.4 ілюструє лінійні діаграми зміни величини набору статистичних моментів $SM_{1;2;3;4}$. З одержаних даних (рис. 5.4) видно, що, як і у випадку даних азимутально-інваріантної поляризаційної мікроскопії (розділ 4, рис. 4.4), величини середнього, дисперсії, асиметрії й ексцесу, що характеризують мапи полікристалічної складової шарів СТ людини з різною ДНС, лінійно змінюються в межах 24 год.

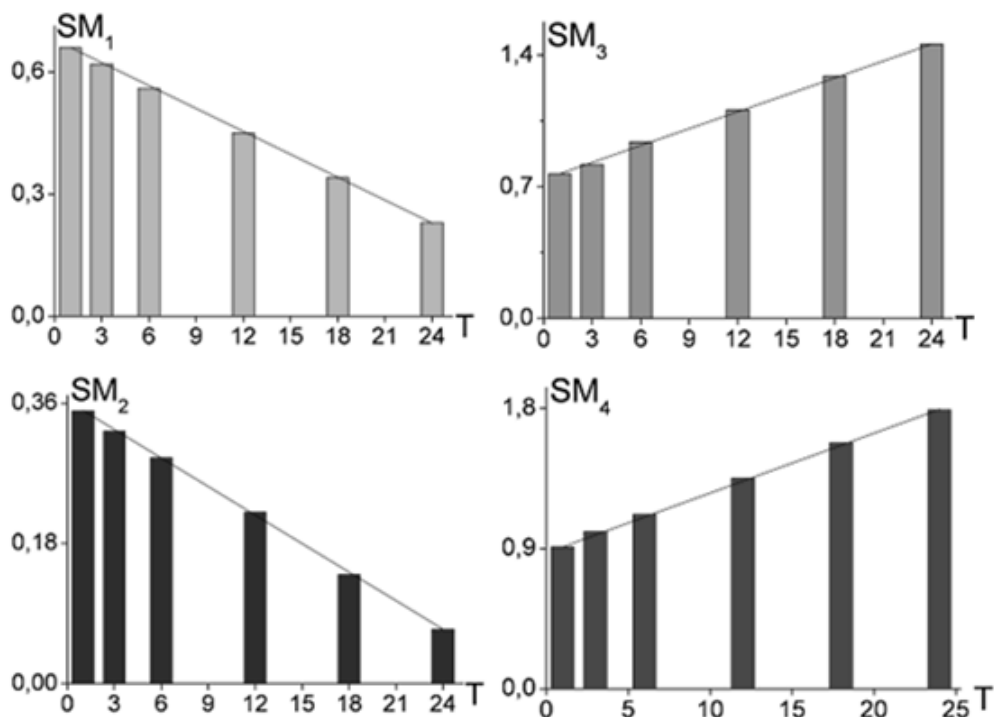


Рис. 5.4. Часові лінійні діаграми зміни величини статистичних моментів 1-4-го порядків ($SM_{i=1;2;3;4}$), що характеризують розподіли диференційного елементу кристалічної фракції шарів СТ при різних значеннях ДНС (T, год).

Найчутливішими до посмертних змін полікристалічної структури шарів СТ виявилися часові зміни асиметрії SM_3 й ексцесу SM_4 , що характеризують координатні розподіли величини ДЕПС. Кількісно це виявлялося в зростанні кутів нахилу лінійних часових залежностей величини зазначених статистичних моментів вищих порядків.

Були одержані (розділ 2, підрозділ 2.7) наступні результати точності визначення ДНС методом диференційного Мюллер-матричного картографування полікристалічної складової шарів СТ померлих з різною ДНС (табл. 5.2).

Таблиця 5.2 – Точність ($\pm\Delta T$) встановлення давності настанні смерті методом матричного диференційного картографування полікристалічної складової шарів скловидного тіла, хв

SM_i	T=1	T=3	T=6	T=12	T=18	T=24
SM_1	48	50	49	53	52	53
SM_2	46	48	47	48	50	52
SM_3	34	35	35	34	36	36
SM_4	38	38	39	38	41	41

Аналіз одержаних даних про часові залежності величини набору статистичних моментів 1-4-го порядків, що характеризують координатні розподіли величини ДЕПС в різні проміжки ДНС, виявив для асиметрії SM_3 максимальний рівень (виділено сірим) точності методу диференційного Мюллер-матричного картографування полікристалічної складової шарів СТ у визначенні ДНС в межах 34-36 хв.

Цей рівень точності перевищує часові параметри визначення ДНС, що були отримані методами азимутально-інваріантної поляризаційної мікроскопії (див. розділ 4, табл. 4.2) та Мюллер-матричного картографування (див. розділ 4, табл. 4.4) шарів СТ на 15 хв і 10 хв відповідно.

У попередньому розділі нами було продемонстроване покращення точності зазначених методик шляхом використання масштабно-селективного вейвлет-аналізу мап ФП (розділ 4, підрозділ 4.2) та фазового ММІ (розділ 4, підрозділ 4.4). Тому, з метою покращення ефективності методу диференційного Мюллер-матричного картографування полікристалічної складової шарів СТ, ми розглянули інформаційні можливості цього аналітичного алгоритму.

5.2. Масштабно-селективний аналіз часової зміни статистичної структури диференційних матричних зображень полікристалічної складової препаратів скловидного тіла ока людини з різною давністю настання смерті

На рис. 5.5 та 5.6 представлені результати обчислень розподілів величини амплітуд вейвлет-коефіцієнтів $K_{a,b}$ (фрагменти 1), що характеризують масштабну ($a=15$) структуру (фрагменти 2) координатних розподілів величини ДЕПС оптично-анізотропних колагенових сіток шарів СТ померлих з різною ДНС: 3 год (рис. 5.5) та 12 год (рис. 5.6).

Порівняльний аналіз результатів дослідження розподілів величини амплітуд вейвлет-коефіцієнтів $W_{a,b}(x,y)$, що характеризують мапи ДЕПС шарів СТ померлих з різною ДНС, виявив суттєві відмінності для малих масштабів a_{\min} вейвлет-функції.

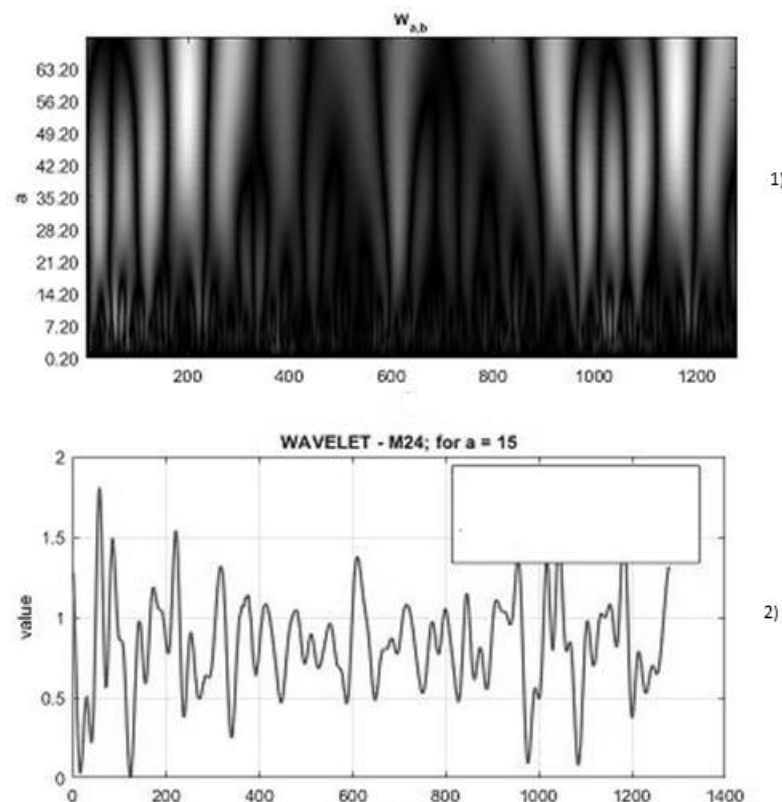


Рис. 5.5. Мапи $W_{a,b}$ (1) і лінійні залежності (2) величини амплітуди вейвлет-коефіцієнтів $S_{15,b}$ фазового параметра вектора Стокса мікроскопічного зображення СТ людини з ДНС 3 год.

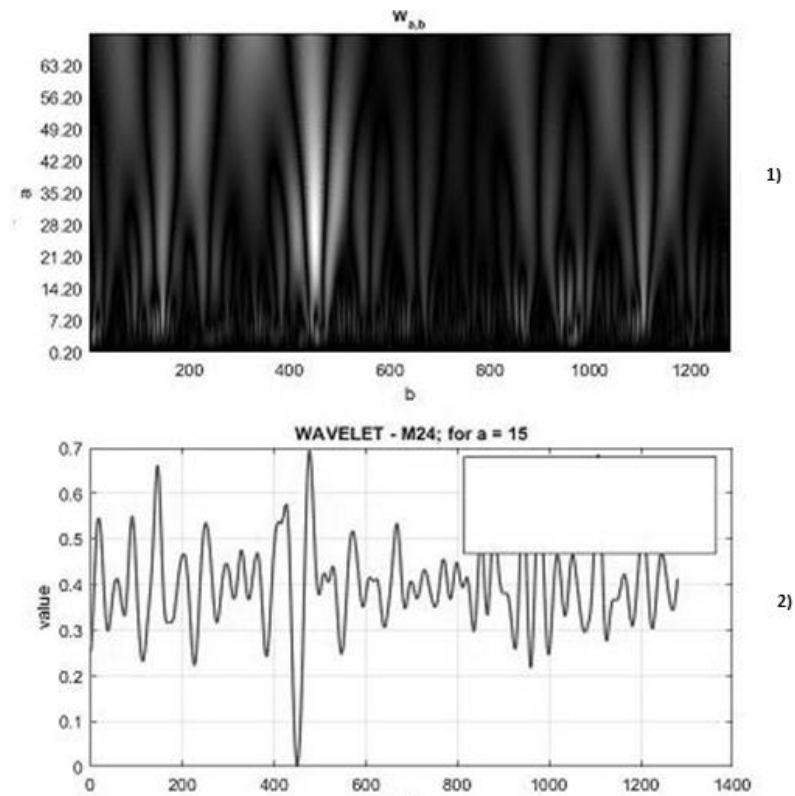


Рис. 5.6. Мапи $W_{a,b}$ (1) і лінійні залежності (2) величини амплітуди вейвлет-коефіцієнтів $C_{15,b}$ фазового параметра вектора Стокса мікроскопічного зображення СТ людини з ДНС 12 год.

Був встановлений більший рівень модуляції амплітуди “дрібномасштабних” лінійних залежностей вейвлет-коефіцієнтів $C_{a=15,b}$ матричної мапи полікристалічної складової шару СТ при ДНС 3 год (рис. 5.5, фрагмент 2). Це можна пов’язати з переважним формуванням посмертних змін фібрилярних колагенових мереж на дрібномасштабному рівні.

Кількісно часову динаміку посмертних змін фібрилярної структури зразків шарів СТ померлих з різною ДНС ілюструють величини статистичних моментів 1-4-го порядків, що характеризують розподіли величини амплітуди вейвлет коефіцієнтів $C_{a=15,b}$ мап ДЕПС (табл. 5.3).

Було виявлене збільшення (за величиною ДНС) до 36 год лінійного діапазону зміни величини статистичних моментів 1-4-го порядків, що характеризують розподіли величини амплітуди вейвлет-коефіцієнтів $C_{a=15,b}$ координатних розподілів значення ДЕПС шарів СТ.

Таблиця 5.3 – Часова динаміка зміни величини статистичних моментів 1-4-го порядків ($SM_{i=1;2;3;4}$), що характеризують розподіли лінійного перерізу $C_{15,b}$ мапи вейвлет-коефіцієнтів $W_{a,b}$ диференційного елементу кристалічної фракції шарів скловидного тіла померлих з різною давністю настання смерті (Т, год)

SM_i	T=1	T=6	T=12	T=18	T=24	T=36
SM_1	0,51±	0,38±	0,25±	0,11±	0,007±	0,004±
	0,023	0,016	0,011	0,005	0,003	0,002
p	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
SM_2	0,41±	0,33±	0,24±	0,16±	0,07±	0,03±
	0,018	0,014	0,011	0,07	0,003	0,001
p	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
SM_3	0,24±	0,44±	0,64±	0,83±	1,03±	1,43±
	0,011	0,021	0,031	0,034	0,047	0,067
p	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
SM_4	0,33±	0,49±	0,76±	1,01±	1,27±	1,79±
	0,014	0,021	0,034	0,043	0,054	0,078
p	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05

Крім цього, було встановлено наступне:

- величина середнього SM_1 , що характеризує розподіли значення амплітуди вейвлет-коефіцієнтів $C_{a=15,b}$, змінюється в межах діапазону визначених для всіх груп зразків середніх значень від 0,51 до 0,004;
- величина дисперсії SM_2 , що характеризує розподіли значення амплітуди вейвлет-коефіцієнтів $C_{a=15,b}$, варіює в межах діапазону встановлених для всіх груп зразків середніх значень від 0,41 до 0,03;
- величина асиметрії SM_3 , що характеризує розподіли значення амплітуди вейвлет-коефіцієнтів $C_{a=15,b}$, змінюється в межах діапазону визначених для всіх груп зразків середніх значень від 0,24 до 1,43;
- величина ексцесу SM_4 , що характеризує розподіли значення амплітуди

вейвлет-коефіцієнтів $C_{a=15,b}$, варіює в межах діапазону встановлених для всіх груп зразків середніх значень від 0,33 до 1,79.

Рис. 5.7 ілюструє лінійні діаграми зміни величини набору статистичних моментів $SM_{1;2;3;4}$. З одержаних даних видно, що величини всіх статистичних моментів 1-4-го порядків, що характеризують розподіли значення амплітуди вейвлет-коефіцієнтів мап диференційного матричного елемента полікристалічної складової шарів СТ при різних значеннях ДНС, лінійно змінюються в межах 36 год. Водночас найчутливішими до посмертних змін фібрилярної структури колагенових волокон таких зразків, як і у випадку статистичного аналізу даних азимутально-інваріантного диференційного Мюллер-матричного картографування (розділ 4) виявилися часові зміни величини асиметрії SM_3 й ексцесу SM_4 .

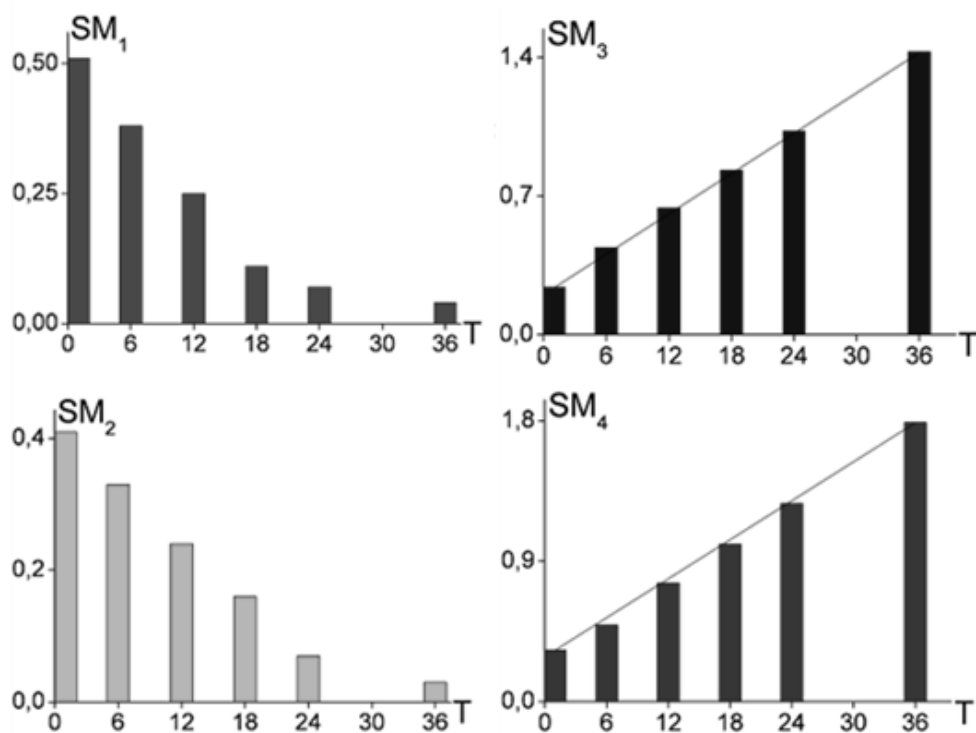


Рис. 5.7. Часові діаграми зміни величини статистичних моментів 1-4-го порядків ($SM_{i=1;2;3;4}$), що характеризують розподіли лінійного перерізу $C_{15,b}$ мапи вейвлет-коефіцієнтів $W_{a,b}$ диференційного елемента кристалічної фракції шарів СТ з різною ДНС (T, год).

Кількісно це виявлялося в зростанні кутів нахилу лінійних залежностей величини статистичних моментів вищих порядків, що характеризують розподіли значення амплітуди вейвлет-коефіцієнтів мап ДЕПС порівняно з аналогічними параметрами мап поляризаційних проявів структури колагенових сіток шарів СТ померлих з різною ДНС.

Завдяки цьому зростала чутливість методу вейвлет-аналізу та покращувалася на 5 хв точність визначення ДНС (табл. 5.4).

Таблиця 5.4 – Точність ($\pm\Delta T$) визначення давності настання смерті методом вейвлет-аналізу матричного диференційного картографування полікристалічної складової шарів скловидного тіла, хв

SM_i	T=1	T=6	T=12	T=18	T=24	T=36
SM_1	46	48	47	51	50	51
SM_2	44	45	46	47	48	49
SM_3	34	34	33	35	34	36
SM_4	30	30	29	30	30	31

Аналіз одержаних даних про часові залежності посмертних змін величини набору статистичних моментів 1-4-го порядків, що характеризують розподіли значення амплітуд вейвлет-коефіцієнтів дрібномасштабної структури координатних розподілів ДЕПС шарів СТ в різні проміжки ДНС, виявив максимальний рівень (виділено сірим) точності у визначенні ДНС в межах 29-31 хв, що на 5 хв краще за точність прямого диференційного Мюллер-матричного картографування.

Отже, можна констатувати ефективність застосування додаткового вейвлет-аналізу мап поляризаційних проявів фібрилярної колагенової структури шарів СТ людини у встановленні ДНС.

Зазначимо, що експериментальне вимірювання елементів диференційної матриці 1-го порядку відкриває можливість оцінювання не тільки полікристалічної (фібрилярної), а й БФ шарів СТ людини, шляхом

статистичного та вейвлет-аналізу координатних розподілів (мап) величини ДЕБФ шарів СТ (розділ 2, підрозділ 2.4).

Тому наступним кроком дисертаційного дослідження було виявлення діагностичної ефективності визначення ДНС шляхом часового моніторингу посмертних змін мап ДЕБФ СТ ока людини.

5.3. Диференційні матричні зображення та часова динаміка зміни білкової складової препаратів скловидного тіла при різній давності настання смерті

На рис. 5.8 і 5.9 наведені мапи (фрагменти 1) і гістограми (фрагменти 2, 3) розподілів величини ДЕБФ шарів СТ померлих з ДНС 3 год (рис. 5.8) та ДНС 12 год (рис. 5.9). Одержані результати диференційного Мюллер-матричного картографування координатних розподілів величини ДЕБФ ілюструють наявність відмінностей між оптичною анізотропією білкових комплексів СТ померлих з різною ДНС.

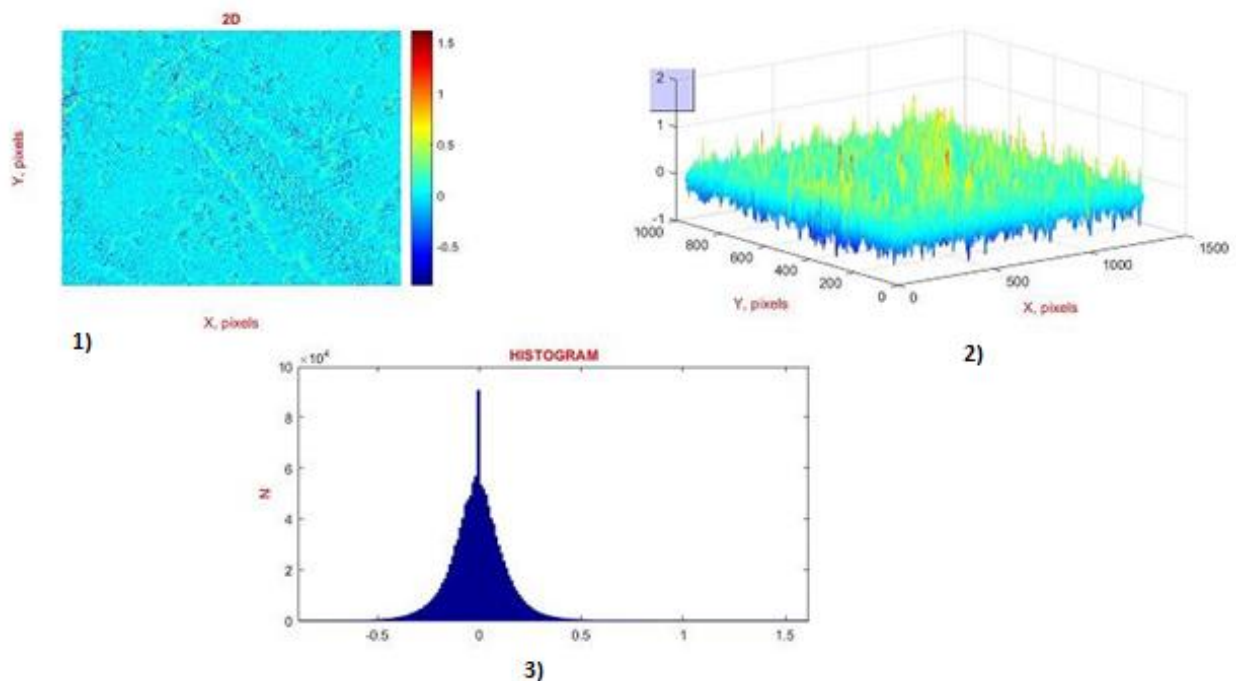


Рис. 5.8. Мапи (1) і розподіли (2, 3) величини диференційного елемента білкової фракції шарів СТ при ДНС 3 год.

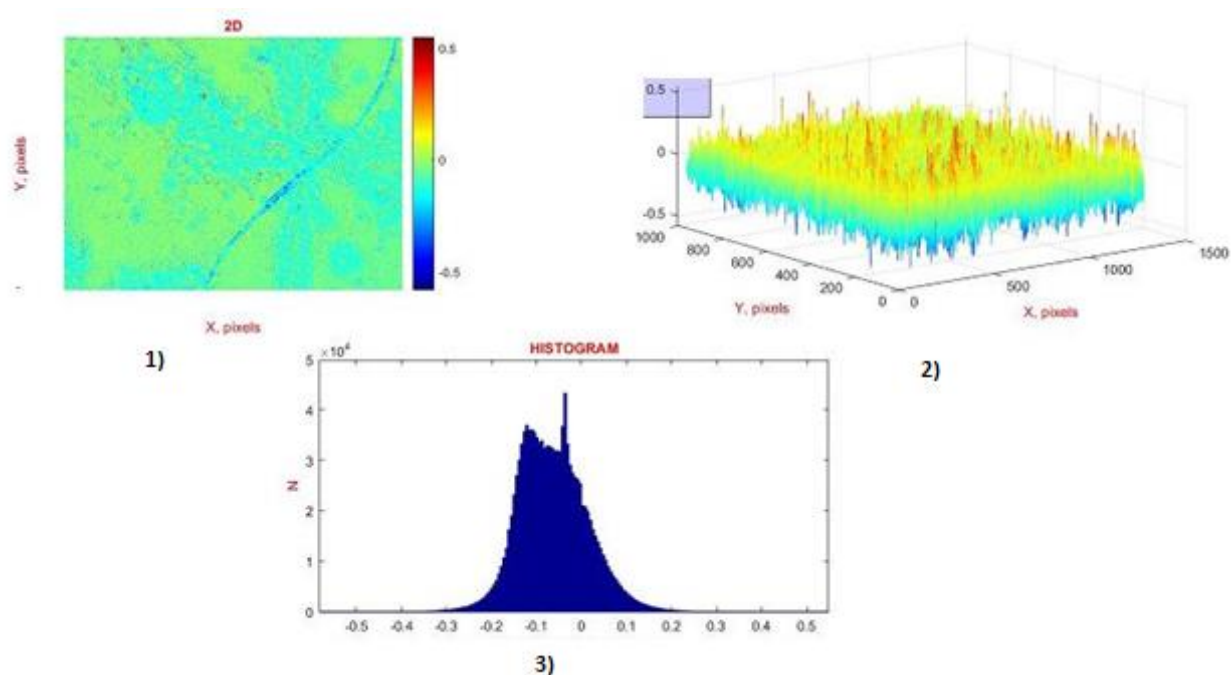


Рис. 5.9. Мапи (1) і розподіли (2, 3) величини диференційного елементу білкової фракції шарів СТ при ДНС 12 год.

Було показано, що координатні розподіли величини ДЕБФ (рис. 5.9) зразка шару СТ з ДНС 12 год характеризуються меншими середнім значенням ($SM_1=0,38$) та діапазоном розкиду ($SM_2=0,21$) випадкових значень порівняно з аналогічними показниками статистичних параметрів ($SM_1=0,52$; $SM_2=0,28$), що характеризують координатні розподіли величини ДЕБФ, визначеними для зразка шару СТ померлого з ДНС 3 год (табл. 5.5). Виявлений факт можна пов'язати з посмертною деструкцією білків при зростанні ДНС та відповідним зниженням величини ДЕБФ шарів СТ.

У межах статистичного підходу до аналізу часової динаміки посмертних змін мап ДЕБФ шарів СТ померлих зростання ДНС супроводжується протилежними тенденціями – зменшенням статистичних моментів 1-го та 2-го порядків (середнього та дисперсії), що характеризують координатні розподіли величини фазового ММІ. Навпаки, величини статистичних моментів 3-го та 4-го порядків, що характеризують асиметрію й ексцес координатних розподілів величини ДЕБФ полікристалічних структур шарів СТ померлих, збільшуються.

Кількісно цей сценарій зміни поляризаційних проявів БФ зразків шарів СТ померлих з різною ДНС ілюструють ЕД, що наведені в табл. 5.5.

Таблиця 5.5 – Часова динаміка зміни величини статистичних моментів 1-4-го порядків ($SM_{i=1;2;3;4}$), що характеризують розподіли величини диференційного елемента білкової фракції шарів скловидного тіла при різних значеннях давності настання смерті (Т, год)

$SM_i \times 10^{-2}$	T=1	T=3	T=6	T=12	T=18	T=24
SM_1	0,57±	0,52±	0,47±	0,38±	0,28±	0,19±
	0,024	0,022	0,021	0,017	0,012	0,009
p	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
SM_2	0,31±	0,28±	0,26±	0,21±	0,15±	0,09±
	0,014	0,013	0,012	0,0095	0,006	0,004
p	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
SM_3	0,66±	0,73±	0,81±	0,94±	1,07±	1,21±
	0,031	0,034	0,039	0,042	0,044	0,054
p	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
SM_4	0,79±	0,87±	0,95±	1,11±	1,28±	1,44±
	0,031	0,037	0,042	0,052	0,059	0,068
p	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05

Аналіз одержаних методом диференційного Мюллер-матричного картографування даних про посмертні зміни БФ шарів СТ виявив наступне:

- лінійний діапазон зміни величини статистичних моментів 1-4-го порядків, що характеризують координатні розподіли величини ДЕБФ зразків шарів СТ біоманекенів за величиною ДНС, складає 24 год;
- величина SM_1 зменшується в межах діапазону визначених для всіх груп зразків середніх значень від 0,57 до 0,19;
- величина SM_2 знижується в межах діапазону встановлених для всіх груп зразків середніх значень від 0,31 до 0,09;

- величина SM_3 зростає в межах діапазону визначених для всіх груп зразків середніх значень від 0,66 до 1,21;
- величина SM_4 збільшується в межах діапазону встановлених для всіх груп зразків середніх значень від 0,79 до 1,44.

Рис. 5.10 ілюструє лінійні діаграми зміни величини набору статистичних моментів $SM_{1;2;3;4}$. З одержаних даних видно, що величини статистичних моментів 1-4-го порядків, що характеризують мапи поляризаційних проявів БФ шарів СТ при різних значеннях ДНС, лінійно змінюються в межах 24 год.

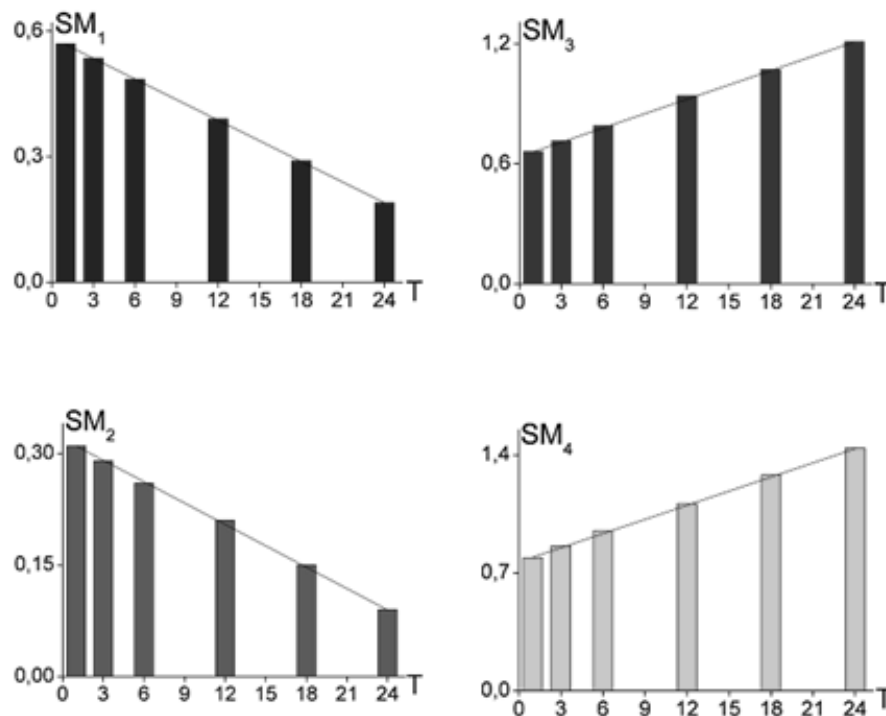


Рис. 5.10. Часові діаграми зміни величини статистичних моментів 1-4-го порядків ($SM_{i=1;2;3;4}$), що характеризують розподіли величини диференційного елементу білкової фракції шарів СТ з різною ДНС (Т, год).

Водночас найчутливішими, як і у випадку методів азимутально-інваріантної поляризаційної мікроскопії (розділ 4, табл. 4.2) і Мюллер-матричного картографування (розділ 4, табл. 4.6), до посмертних змін

полікристалічної структури таких зразків виявилися часові зміни асиметрії SM_3 й ексцесу SM_4 , що характеризують розподіли величини ДЕБФ.

Кількісно покращення чутливості диференційного Мюллер-матричного картографування виявлялося в зростанні кутів нахилу лінійних залежностей посмертних змін величини статистичних моментів вищих порядків, що характеризують розподіли величини ДЕБФ шарів СТ при різній ДНС (табл. 5.6).

Таблиця 5.6 – Точність ($\pm\Delta T$) визначення давності настання смерті методом матричного диференційного картографування білкової складової шарів скловидного тіла, хв

SM_i	T=1	T=3	T=6	T=12	T=18	T=24
SM_1	54	54	55	55	56	56
SM_2	50	52	52	53	54	54
SM_3	44	43	44	43	45	45
SM_4	40	40	41	40	40	42

Аналіз одержаних даних про часові залежності величини набору статистичних моментів 1-4-го порядків, що характеризують розподіли величини ДЕБФ шарів СТ в різні проміжки ДНС, виявив максимальний рівень (виділено сірим) точності у визначенні ДНС в межах 40-42 хв, що на 5 хв нижче, ніж для методики диференційного Мюллер-матричного картографування полікристалічних колагенових сіток шарів СТ.

З метою покращення ефективності методу диференційного Мюллер-матричного картографування розподілів БФ шарів СТ ми розглянули інформаційні можливості масштабного селективного вейвлет-аналізу мап відповідного елемента диференційної матриці 1-го порядку – ДЕБФ.

5.4. Вейвлет-аналіз часової зміни статистичної структури диференційних матричних зображень білкової складової препаратів скловидного тіла людей при різній давності настання смерті

На рис. 5.11 і 5.12 представлені результати досліджень розподілів величини амплітуд вейвлет-коефіцієнтів $K_{a,b}$ (фрагменти 1), що характеризують масштабну ($a=15$) структуру (фрагменти 2) координатних розподілів величини ДЕБФ оптично-анізотропних структур шарів СТ померлих з різною ДНС: 3 год (рис. 5.11) і 12 год (рис. 5.12).

Порівняльний аналіз результатів дослідження координатних розподілів амплітуд вейвлет-коефіцієнтів $W_{a,b}(x,y)$, що характеризують мапи ДЕБФ зразків шарів СТ людини при різній ДНС, виявив найбільші відмінності між ними на рівні малих масштабів a_{\min} вейвлет-функції (рис. 5.11 і 5.12, фрагменти 2).

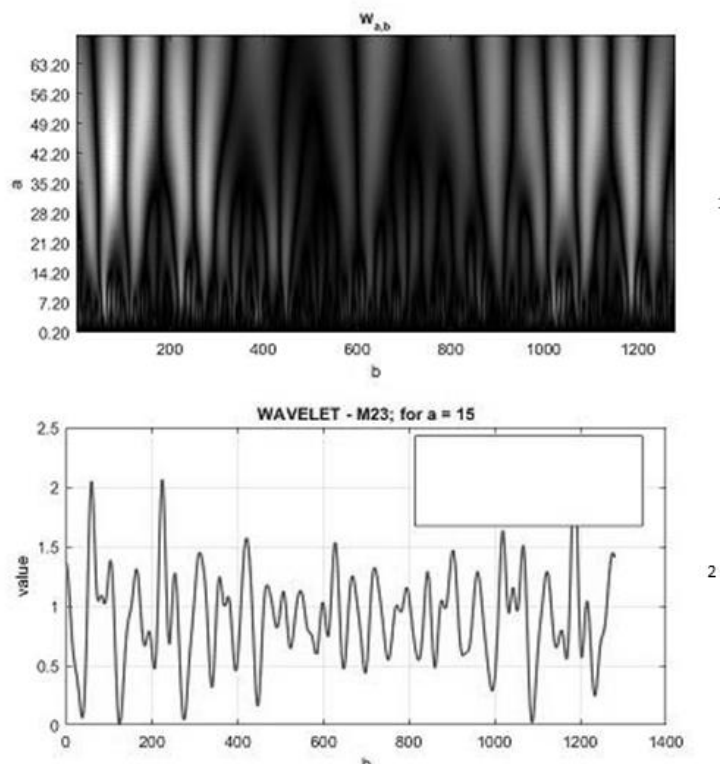


Рис. 5.11. Мапи $W_{a,b}$ (1) і лінійні залежності (2) величини амплітуди вейвлет-коефіцієнтів $S_{15,b}$ диференційного елемента білкової фракції СТ людини з ДНС 3 год.

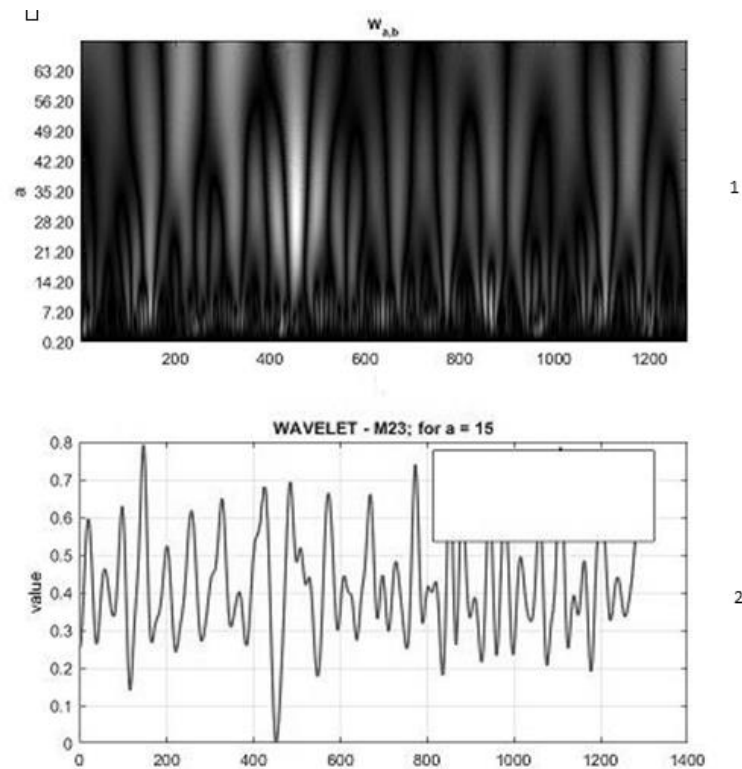


Рис. 5.12. Мапи $W_{a,b}$ (1) і лінійні залежності (2) величини амплітуди вейвлет-коефіцієнтів $C_{15,b}$ диференційного елемента білкової фракції СТ людини з ДНС 12 год.

Кількісно сценарій часової динаміки посмертних змін масштабної структури координатних розподілів БФ зразків шарів СТ з різною ДНС ілюструють величини статистичних моментів 1-4-го порядків, що характеризують розподіли значень амплітуди вейвлет-коефіцієнтів $C_{a=15,b}$ (табл. 5.7).

Було встановлено наступне:

- лінійний діапазон посмертної зміни величини $SM_{i=1;2;3;4}$, що характеризують розподіли величини амплітуди вейвлет-коефіцієнтів $C_{a=15,b}$ померлих з різною ДНС, збільшується порівняно з даними статистичного аналізу результатів диференційного Мюллер-матричного картографування структури БФ шарів СТ від 24 год до 36 год;
- величина середнього SM_1 розподілів величини амплітуди вейвлет-коефіцієнтів $C_{a=15,b}$ розподілів ДЕБФ шарів СТ змінюється в межах діапазону середніх значень від 0,38 до 0,06;

Рис. 5.13 ілюструє лінійні діаграми зміни величини набору статистичних моментів $SM_{1;2;3;4}$, що характеризують гістограми розподілів значень амплітуд вейвлет-коефіцієнтів мап БФ зразків шарів СТ людини з різною ДНС.

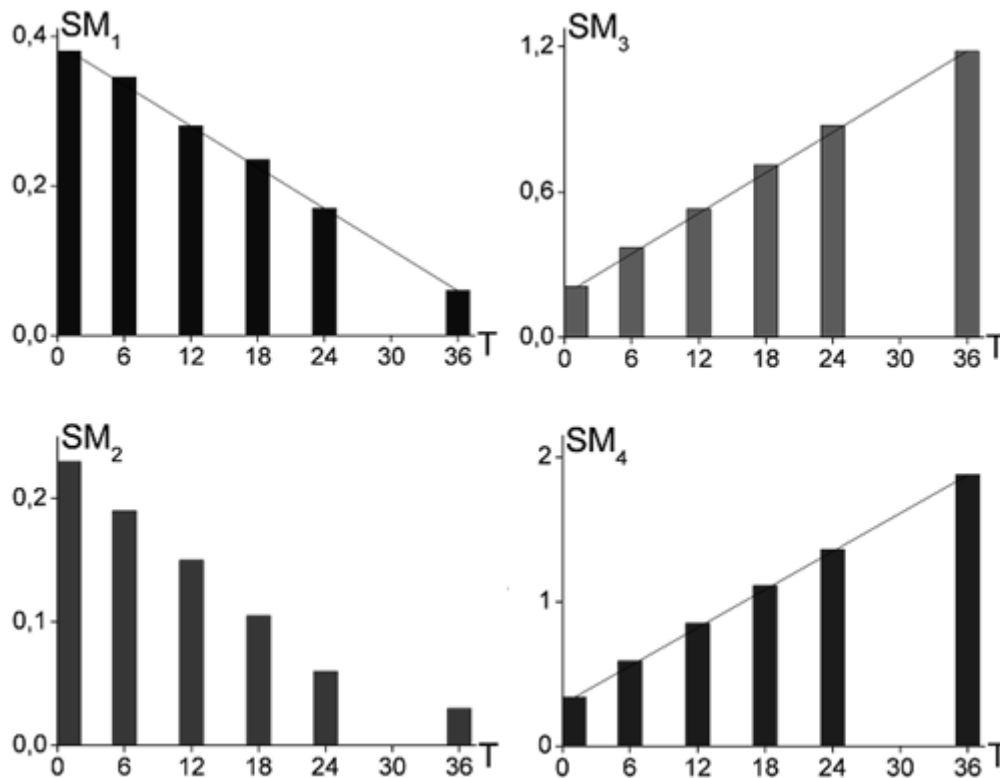


Рис. 5.13. Часові діаграми зміни величини статистичних моментів 1-4-го порядків ($SM_{i=1;2;3;4}$), що характеризують розподіли лінійного перерізу $S_{15,b}$ мапи вейвлет-коефіцієнтів $W_{a,b}$ диференційного елементу білкової фракції шарів СТ померлих з різною ДНС (T, год).

З одержаних даних (рис. 5.13) видно, що величини всіх статистичних моментів 1-4-го порядків, що характеризують розподіли величини амплітуди вейвлет-коефіцієнтів мапи ДЕБФ репрезентативних вибірок сукупності зразків шарів СТ померлих з різною ДНС, лінійно змінюються в межах 36 год.

Були встановлені найчутливіші до посмертних змін структури БФ таких зразків статистичні параметри – статистичні моменти 3-го та 4-го

порядків, що характеризують асиметрію й ексцес розподілів даних вейвлет-аналізу.

Кількісно це виявлялося в зростанні кутів нахилу відповідних лінійних залежностей часових посмертних змін величини статистичних моментів вищих порядків, що характеризують розподіли величини амплітуди вейвлет-коефіцієнтів мап ДЕБФ порівняно з аналогічними параметрами диференційних Мюллер-матричних мап БФ шарів СТ померлих з різною ДНС. Завдяки цьому точність визначення ДНС зростала на 5 хв (табл. 5.8).

Таблиця 5.8 – Точність ($\pm\Delta T$) визначення давності настання смерті методом вейвлет-аналізу матричного диференційного картографування білкової складової шарів скловидного тіла, хв

SM_i	T=1	T=6	T=12	T=18	T=24	T=36
SM_1	50	50	50	51	51	52
SM_2	47	48	48	49	48	49
SM_3	38	39	39	40	40	40
SM_4	34	34	35	35	35	36

Аналіз одержаних даних про часові залежності посмертних змін величини набору статистичних моментів 1-4-го порядків, що характеризують розподіли амплітуд вейвлет-коефіцієнтів мап поляризаційних проявів БФ шарів СТ людини, виявив максимальний рівень (виділено сірим) точності у визначенні ДНС в межах 34-36 хв.

Висновки. Шляхом диференційного Мюллер-матричного картографування досліджений набір мап і гістограм розподілів випадкових значень ДЕПС та ДЕБФ шарів СТ людини з різною ДНС. Встановлені діапазон чутливості 24 год і точність визначення ДНС 35-40 хв.

Встановлено, що масштабно-селективний вейвлет-аналіз забезпечує збільшення діапазону чутливості до 36 год та підвищення точності визначення ДНС методом диференційного Мюллер-матричного

картографування білкової складової СТ до 35 хв, а для полікристалічної фракції – до 30 хв.

Основні результати даного розділу висвітлено в наступних публікаціях:

1. Бачинський ВТ, Саркісова ЮВ, Ванчуляк ОЯ, Гараздюк МС, Баранюк АД. Диференціальна мюллер-матрична мікроскопія білкової фракції препаратів склоподібного тіла у діагностиці давності настання смерті. Клінічна та експериментальна патологія. 2019;18(2):100-4. doi: [10.24061/1727-4338.XVIII.2.68.2019.18](https://doi.org/10.24061/1727-4338.XVIII.2.68.2019.18)
2. Bachinskiy V, Sarkisova Yu, Vanchulyak O, Ushenko O, Zhytaryuk V, Dvorjak V, et al. Polarization correlometry of microscopic images of layers of biological tissues and films of biological liquids in the diagnostics of pressure of death. Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering. 2019;11087:110870Q. doi: [10.1117/12.2529190](https://doi.org/10.1117/12.2529190)
3. Sarkisova Y, Vanchuliak O, Bachynskiy V, Garazdiuk M, Pavliukovych O. Differential Muller-matrix microscopy of the polycrystalline component of smears of the vitreous body to estimate the time since death. Rechtsmedizin. 2019;29(4):370.
4. Sarkisova Yu, Bachinskiy VT, Garazdyuk M, Vanchulyak OYa, Litvinenko OYu, Ushenko OG, et al. Differential Muller-matrix microscopy of protein fractions of vitreous preparations in diagnostics of the pressure of death. IFMBE Proceedings. 2020;77:503-6. doi: [10.1007/978-3-030-31866-6_90](https://doi.org/10.1007/978-3-030-31866-6_90)
5. Саркісова ЮВ, Бачинський ВТ, Ванчуляк ОЯ, Ушенко ОГ, Ушенко ЮО, Дуболазов ОВ, та ін., винахідники; Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, патентовласник. Спосіб азимутально-інваріантного визначення давності настання смерті за Мюллер-матричним картографуванням шарів скловидного тіла трупа людини. Патент України № 143823. 2020 Серп 10.

РОЗДІЛ 6

ПОЛЯРИЗАЦІЙНА МІКРОСКОПІЧНА ТОМОГРАФІЯ

ПОЛІКРИСТАЛІЧНОЇ ТА БІЛКОВОЇ СКЛАДОВИХ ПРЕПАРАТІВ

СКЛОВИДНОГО ТІЛА ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ ДАВНОСТІ НАСТАННЯ

СМЕРТІ

У розділі представлені результати застосування статистичного та вейвлет-аналізу часової динаміки розподілів величини ЛД мережі колагенових фібрил та ЦД білкових комплексів шарів СТ людини у діагностиці ДНС. Підтверджена висока діагностична ефективність даної методики та підвищення точності встановлення ЧНС на довготривалому часовому проміжку.

Шар СТ	
Азимутально-інваріантна Мюллер-матрична мікроскопія	
Картографування ПС	Картографування БФ
Координатні розподіли величини ЛД кристалічної складової СТ	Координатні розподіли величини ЦД білкової складової СТ
Часова динаміка зміни статистичних моментів 1-4-го порядків, що характеризують координатні розподіли ЛД та ЦД кристалічної та білкової складових СТ людини в постмортальному періоді	
Точність визначення ДНС методом відтворення ЛД кристалічної складової шарів СТ	Точність визначення ДНС методом відтворення ЦД білкової складової шарів СТ
Вейвлет-аналіз координатних розподілів ЛД та ЦД шарів СТ	
Координатні розподіли величини амплітуд вейвлет-коефіцієнтів ЛД кристалічної складової	Координатні розподіли величини амплітуд вейвлет-коефіцієнтів ЦД білкової складової
Часова динаміка зміни статистичних моментів 1-4-го порядків, що характеризують розподіли амплітуд вейвлет-коефіцієнтів мап ЛД та ЦД шарів СТ людини в постмортальному періоді	
Точність визначення ДНС методом вейвлет-аналізу даних картографування ЛД кристалічної складової шарів СТ	Точність визначення ДНС методом вейвлет-аналізу даних картографування ЦД білкової складової шарів СТ

Рис. 6.1. Структурно-логічна схема визначення ДНС методом мікроскопічної поляризаційної томографії полікристалічної структури СТ.

6.1. Трансформація лінійного двопронезаломлення полікристалічної складової препаратів скловидного тіла для різної давності настання смерті

Наступним етапом дослідження було проведення статистичного аналізу часової динаміки розподілів величини ЛД мережі колагенових фібрил СТ померлих з різною ДНС. Поляризаційне відтворення координатних розподілів величини ЛД препаратів СТ здійснювалося за методикою, що представлена в підрозділі 2.4 розділу 2.

На рис. 6.2 та 6.3 наведені мапи (фрагменти 1) і розподіли (фрагменти 2, 3) величини ЛД шарів СТ померлих з ДНС 3 год (рис. 6.2) і 12 год (рис. 6.3). Одержані результати ілюструють наявність відмінностей між даними мікроскопічної поляризаційної томографії ЛД полікристалічної складової шарів СТ померлих з різною ДНС.

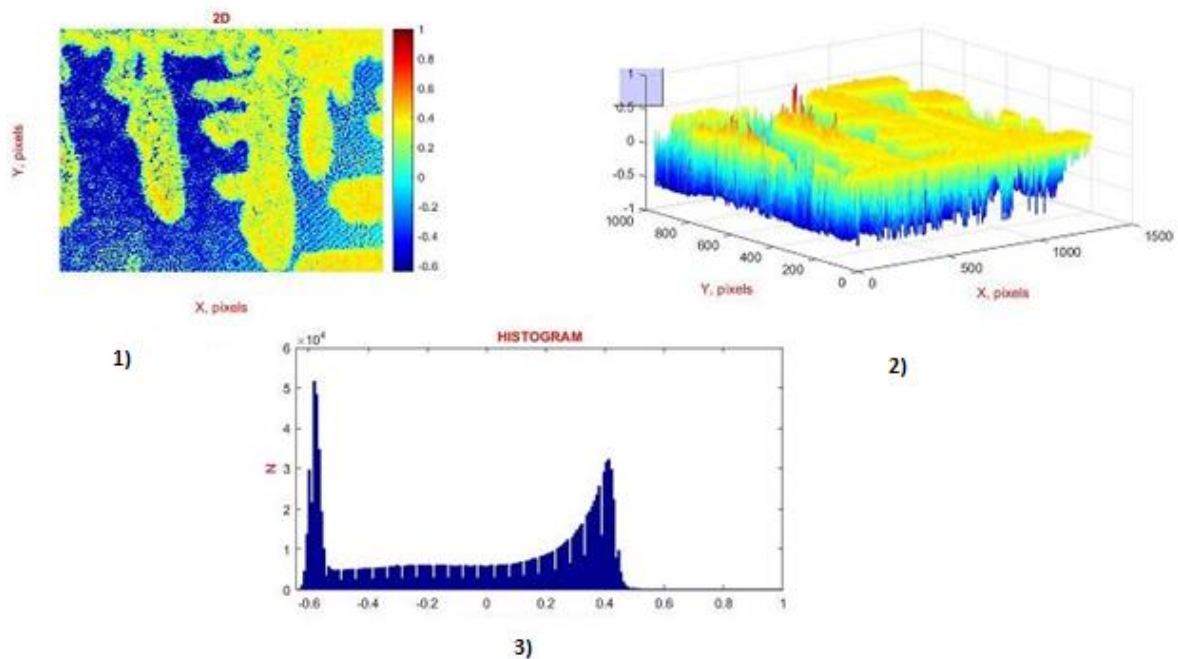


Рис. 6.2. Мапи (1) і розподіли (2, 3) величини лінійного двопронезаломлення кристалічної фракції шарів СТ з ДНС 3 год.

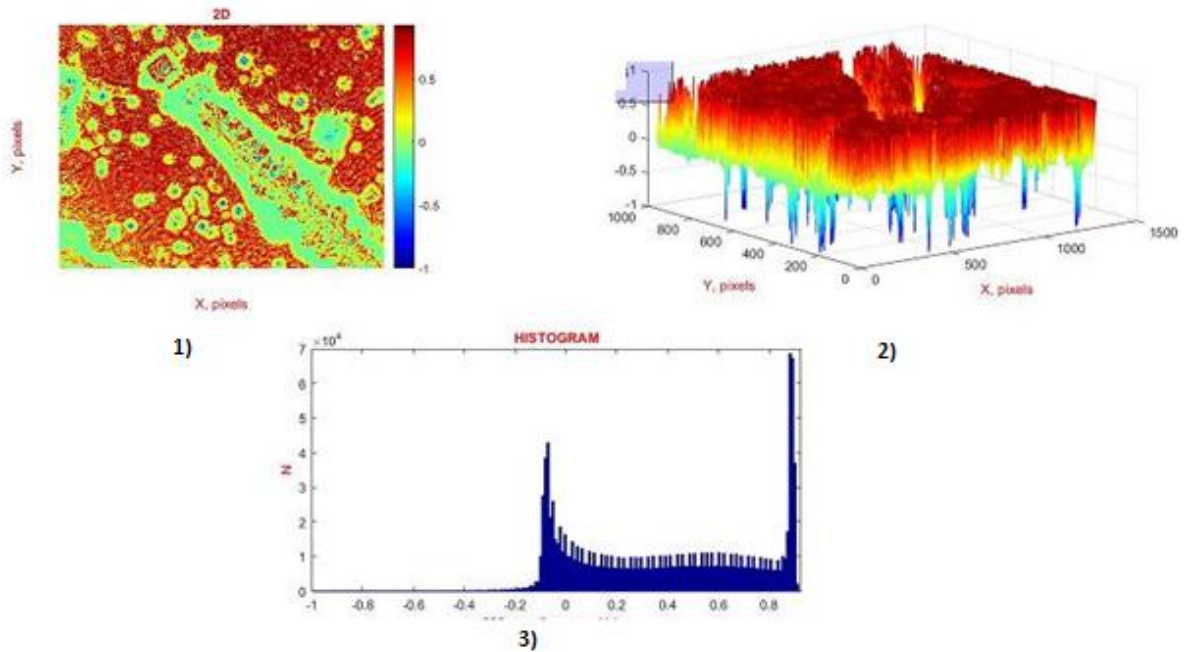


Рис. 6.3. Мапи (1) і розподіли (2, 3) величини лінійного двопронезаломлення кристалічної фракції шарів СТ з ДНС 12 год.

Було встановлено, що координатні розподіли величини ЛД зразка шару СТ померлих з більшою ДНС (12 год) характеризуються меншими середнім значенням ($SM_1=0,68$) і діапазоном розкиду ($SM_2=0,34$) випадкових значень порівняно з гістограмами ($SM_1=0,86$, $SM_2=0,48$), що були одержані для ЛД полікристалічної складової зразка шарів СТ з ДНС 3 год (табл. 6.1). Виявлену закономірність ми пов'язали з деструктивними посмертними змінами структурної анізотропії полікристалічної складової шарів СТ, поляризаційні прояви яких супроводжуються зменшенням величини ЛД, що визначається просторовою впорядкованістю фібрилярних колагенових мереж. Зі збільшенням часу ДНС така впорядкованість сітчастої структури СТ порушується та величина ЛД знижується.

Кількісно таку посмертну трансформацію фібрилярних сіток полікристалічної структури шарів СТ померлих з різною ДНС ілюструють середні значення та похибки в межах груп, статистичних моментів 1-4-го порядків, що характеризують координатні розподіли величини ЛД (табл. 6.1).

Таблиця 6.1 – Часова динаміка зміни величини статистичних моментів 1-4-го порядків ($SM_{i=1;2;3;4}$), що характеризують розподіли величини лінійного двопронезаломлення кристалічної фракції шарів скловидного тіла людей з різною давністю настання смерті (Т, год)

$SM_i \times 10^{-2}$	T=1	T=3	T=6	T=12	T=18	T=24
SM_1	0,92± 0,043	0,86± 0,038	0,81± 0,035	0,68± 0,031	0,56± 0,025	0,41± 0,019
p	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
SM_2	0,53± 0,026	0,48± 0,024	0,43± 0,021	0,34± 0,015	0,24± 0,011	0,14± 0,006
P	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
SM_3	0,71± 0,036	0,82± 0,041	0,92± 0,045	1,13± 0,055	1,34± 0,059	1,54± 0,068
P	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
SM_4	1,21± 0,054	1,35± 0,058	1,49± 0,065	1,76± 0,073	2,04± 0,092	2,32± 0,098
p	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05

Аналіз наведених даних виявив наступне:

- лінійний діапазон посмертної зміни величини статистичних моментів 1-4-го порядків, що характеризують розподіли величини ЛД фібрилярних колагенових сіток шарів СТ людини за величиною ДНС, складає 24 год;
- величина статистичного моменту 1-го порядку SM_1 , що характеризує середнє розподілу ЛД, змінюється в межах від 0,92 до 0,41;
- величина статистичного моменту 2-го порядку SM_2 , що характеризує дисперсію розподілів ЛД, варіює в межах від 0,53 до 0,14;
- величина статистичного моменту 3-го порядку SM_3 , що характеризує асиметрію розподілів ЛД, змінюється в межах від 0,71 до 1,54;

- величина статистичного моменту 4-го порядку SM_4 , що характеризує ексцес розподілів ЛД, варіює в межах від 1,21 до 2,32.

Рис. 6.4 ілюструє лінійні діаграми зміни величини набору статистичних моментів $SM_{1;2;3;4}$, що характеризують координатні розподіли величини ЛД полікристалічної складової шарів СТ людини з різною ДНС.

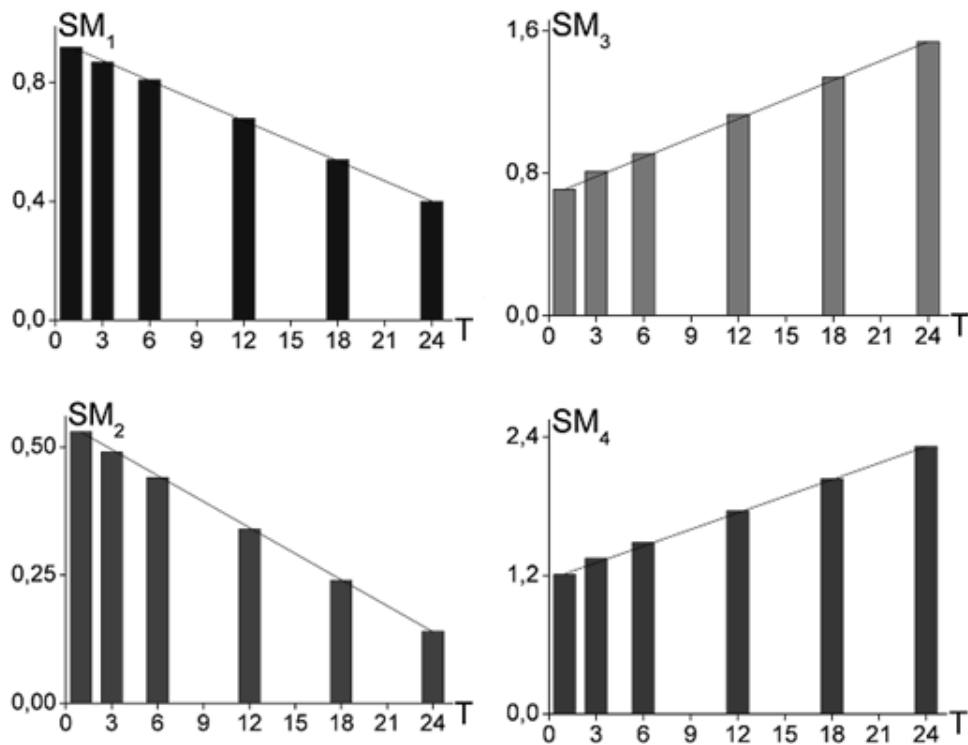


Рис. 6.4. Часові діаграми зміни величини статистичних моментів 1-4-го порядків ($SM_{i=1;2;3;4}$), що характеризують розподіли величини лінійного двопронезаломлення кристалічної фракції шарів СТ з різною ДНС (Т, год).

З одержаних даних (рис. 6.4) статистичного аналізу поляризаційно відтворених розподілів ЛД видно, що, як і у випадку даних азимутально-інваріантної поляризаційної мікроскопії, Мюллер-матричного картографування (розділ 4) та диференційного Мюллер-матричного картографування (розділ 5), величини середнього, дисперсії, асиметрії й ексцесу, що характеризують мапи ЛД фібрилярних колагенових сіток ПС шарів СТ людини з різною ДНС, лінійно змінюються в межах 24 год.

Найчутливішими до посмертних змін полікристалічної структури шарів

СТ виявилися часові зміни асиметрії SM_3 й ексцесу SM_4 , що характеризують поляризаційно відтворені координатні розподіли величини ЛД. Кількісно це виявлялося в зростанні кутів нахилу відповідних лінійних часових залежностей посмертних змін величини зазначених статистичних моментів вищих порядків.

Були одержані наступні результати точності визначення ДНС методом мікроскопічної поляризаційної томографії ЛД колагенових сіток шарів СТ людини з різною ДНС (табл. 6.2).

Таблиця 6.2 – Точність ($\pm\Delta T$) визначення давності настання смерті методом мікроскопічної поляризаційної томографії лінійного двоприменезаломлення колагенових сіток шарів скловидного тіла, хв

SM_i	T=1	T=3	T=6	T=12	T=18	T=24
SM_1	40	41	41	40	42	43
SM_2	36	38	37	38	38	38
SM_3	24	25	24	25	25	25
SM_4	19	20	20	20	21	21

Аналіз наведених результатів виявив, що для ексцесу SM_4 розподілів ЛД досягався максимальний рівень (виділено сірим) точності методу мікроскопічної поляризаційної томографії ЛД колагенових сіток шарів СТ у визначенні ДНС в межах 19-21 хв.

Цей рівень точності перевищував часові параметри визначення ДНС, що були попередньо одержані методом азимутально-інваріантної поляризаційної мікроскопії (розділ 4, табл. 4.2), Мюллер-матричного картографування (розділ 4, табл. 4.4) та диференційного Мюллер-матричного картографування (розділ 5, табл. 5.2, 5.4) шарів СТ на 20 хв та 15 хв відповідно.

У попередніх 4 та 5 розділах дисертаційної роботи були виявлені діагностична ефективність (розширення часового інтервалу визначення ДНС) та покращення точності шляхом використання масштабно-селективного вейвлет-аналізу мап ФП (розділ 4, підрозділ 4.2), фазового ММІ (розділ 4,

підрозділ 4.4), координатних розподілів величини ДЕКС (розділ 5, підрозділ 5.2) та ДЕБФ (розділ 5, підрозділ 5.4).

Актуальним у цьому сенсі є завдання покращення ефективності методу мікроскопічної поляризаційної томографії ПС шарів СТ шляхом статистичного аналізу ЛД різномасштабних колагенових фібрил.

6.2. Масштабно-селективний аналіз трансформації мап лінійного двопронезаломлення кристалічної фракції препаратів скловидного тіла людини з різною давністю настання смерті

На серії фрагментів рис. 6.5, 6.6 представлені результати аналітичних обчислень мап амплітуд вейвлет-коефіцієнтів $K_{a,b}$ (фрагменти 1), що характеризують масштабну ($a=15$; $a=55$) структуру (фрагменти 2) оптично-анізотропних ЛД колагенових сіток шарів СТ померлих з різною ДНС (3 год – рис. 6.5; 12 год – рис. 6.6).

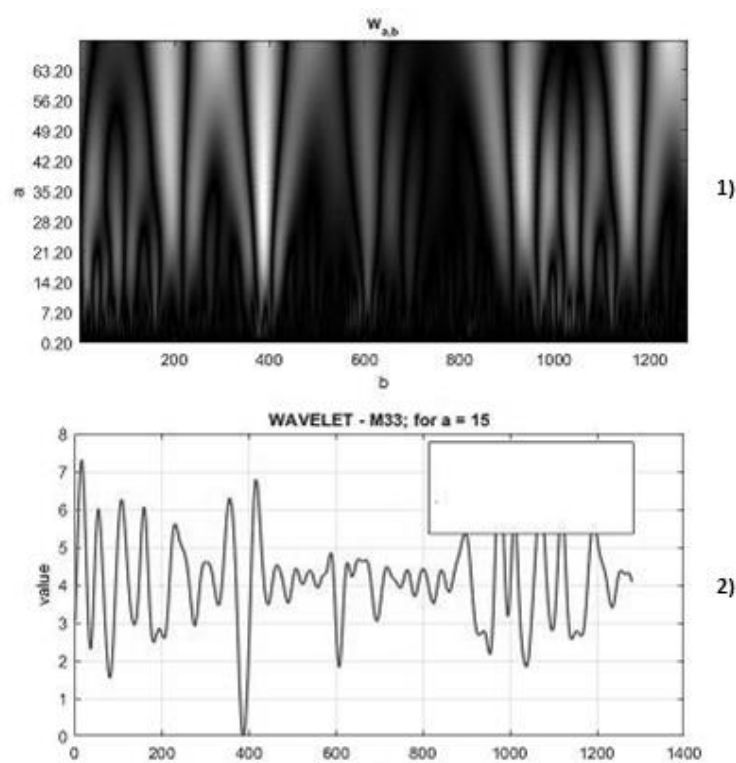


Рис. 6.5. Мапи $W_{a,b}$ (1) і лінійні залежності (2) величини амплітуди вейвлет-коефіцієнтів $S_{15,b}$ лінійного двопронезаломлення кристалічної фракції СТ з ДНС 3 год.

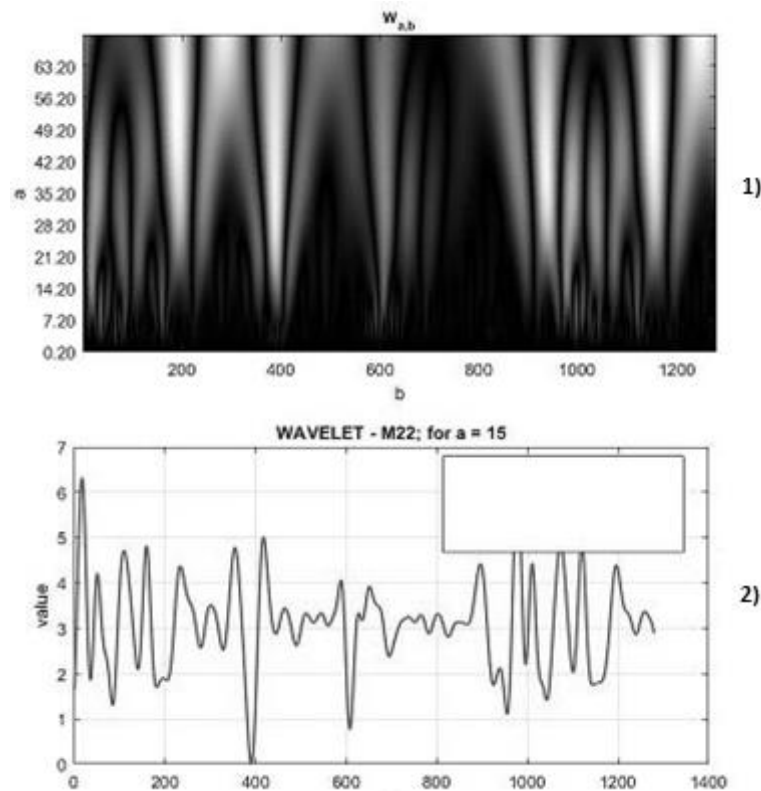


Рис. 6.6. Мапи $W_{a,b}$ (1) і лінійні залежності (2) величини амплітуди вейвлет-коефіцієнтів $C_{15,b}$ лінійного двопронезаломлення кристалічної фракції СТ з ДНС 12 год.

Порівняльний аналіз результатів дослідження залежностей амплітуд вейвлет-коефіцієнтів $W_{a,b}(x,y)$, що характеризують різні масштаби структурних елементів мап ЛД колагенових сіток шарів СТ померлих з різною ДНС, виявив максимальні відмінності для малих масштабів a_{\min} вейвлет-функції (рис. 6.5 та 6.6, фрагменти 2). Це обумовлено тим, що посмертні зміни фібрилярних колагенових мереж переважно відбуваються на дрібномасштабному рівні.

Кількісно посмертні трансформації фібрилярної структури зразків шарів СТ померлих з різною ДНС ілюструють величини статистичних моментів 1-4-го порядків, що характеризують розподіли величини амплітуди вейвлет-коефіцієнтів $C_{a=15,b}$ мап ЛД (табл. 6.3).

Таблиця 6.3 – Часова динаміка зміни величини статистичних моментів 1-4-го порядків ($SM_{i=1;2;3;4}$), що характеризують розподіли лінійного перерізу $C_{15,b}$ мапи вейвлет коефіцієнтів $W_{a,b}$ величини лінійного двопротенезаломлення кристалічної фракції шарів скловидного тіла з різною давністю настання смерті (Т, год)

SM_i	T=1	T=6	T=12	T=18	T=24	T=36
SM_1	0,59±	0,45±	0,31±	0,16±	0,013±	0,004±
	0,023	0,019	0,014	0,007	0,006	0,002
p	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
SM_2	0,45±	0,38±	0,32±	0,25±	0,19±	0,054±
	0,021	0,016	0,014	0,011	0,009	0,002
p	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
SM_3	0,31±	0,54±	0,78±	1,01±	1,25±	1,71±
	0,014	0,024	0,033	0,044	0,054	0,077
p	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
SM_4	0,38±	0,72±	1,05±	1,39±	1,72±	2,39±
	0,016	0,031	0,044	0,054	0,065	0,108
p	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05

Аналіз наведених даних виявив збільшення до 36 год лінійного діапазону визначення ДНС – зміни величини набору всіх статистичних моментів 1-4-го порядків, що характеризують мапи вейвлет-коефіцієнтів $C_{a=15,b}$ розподілів ЛД колагенових сіток шарів СТ людини.

Були визначені наступні статистичні параметри:

- величина середнього SM_1 , що характеризує розподіли амплітуди вейвлет-коефіцієнтів $C_{a=15,b}$ мап ЛД, змінюється в межах діапазону визначених для всіх груп зразків середніх значень від 0,59 до 0,004;
- величина дисперсії SM_2 , що характеризує розподіли величини амплітуди вейвлет-коефіцієнтів $C_{a=15,b}$ мап ЛД, варіює в межах діапазону встановлених для всіх груп зразків середніх значень від 0,45 до 0,054;

- величина асиметрії SM_3 , що характеризує розподіли величини амплітуди вейвлет-коефіцієнтів $C_{a=15,b}$ мап ЛД, змінюється в межах діапазону визначених для всіх груп зразків середніх значень від 0,31 до 1,71;
- величина ексцесу SM_4 мап ЛД, що характеризує розподіли величини амплітуди вейвлет-коефіцієнтів $C_{a=15,b}$, варіює в межах діапазону встановлених для всіх груп зразків середніх значень від 0,38 до 2,39.

Рис. 6.7 ілюструє лінійні діаграми зміни величини набору статистичних моментів $SM_{1;2;3;4}$, що характеризують розподіли лінійного перерізу $C_{15,b}$ мапи вейвлет-коефіцієнтів $W_{a,b}$ величини ЛД кристалічної фракції шарів СТ людини з різною ДНС.

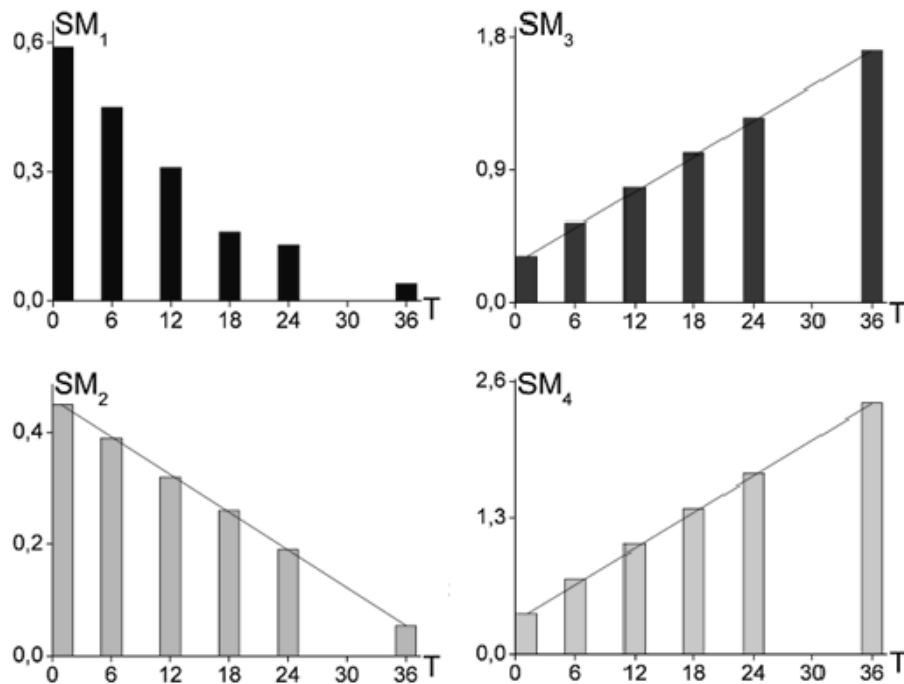


Рис. 6.7. Часові діаграми зміни величини статистичних моментів 1-4-го порядків ($SM_{i=1;2;3;4}$), що характеризують розподіли лінійного перерізу $C_{15,b}$ мапи вейвлет-коефіцієнтів $W_{a,b}$ величини лінійного двопроменезаломлення кристалічної фракції шарів СТ з різною ДНС (Т, год).

З одержаних даних (рис. 6.7) видно, що величини $SM_{1;2;3;4}$, що характеризують розподіли величини амплітуди вейвлет-коефіцієнтів мап

поляризаційно відтвореного ЛД колагенових мереж полікристалічної складової шарів СТ померлих з різною ДНС, лінійно змінюються в межах 36 год. Водночас найчутливішими до посмертних змін фібрилярної структури колагенових волокон таких зразків, як і у випадку статистичного аналізу даних мікроскопічної поляризаційної томографії, виявилися часові зміни величини асиметрії та ексцесу (SM_3 , SM_4). Кількісно це виявлялося в зростанні кутів нахилу лінійних залежностей величини статистичних моментів вищих порядків, що характеризують розподіли величини амплітуди вейвлет-коефіцієнтів мап поляризаційно відтвореного ЛД колагенових мереж, порівняно з аналогічними параметрами мап поляризаційних проявів структури колагенових сіток шарів СТ людини при різній ДНС. Завдяки цьому зростала чутливість методу вейвлет-аналізу та точність визначення ДНС покращувалася на 5 хв (табл. 6.4).

Таблиця 6.4 – Точність ($\pm\Delta T$) визначення давності настання смерті методом вейвлет-аналізу поляризаційного відтворення розподілів лінійного двопроменезаломлення полікристалічної складової шарів скловидного тіла, хв

M_i	T=1	T=6	T=12	T=18	T=24	T=36
SM_1	35	36	36	36	37	37
SM_2	31	32	32	32	33	33
SM_3	18	19	19	20	20	21
SM_4	14	15	15	15	15	16

Аналіз одержаних даних про часові залежності посмертних змін величини набору статистичних моментів 1-4-го порядків, що характеризують розподіли величини амплітуд вейвлет-коефіцієнтів дрібномасштабної структури координатних розподілів величини ЛД колагенових мереж шарів СТ в різні проміжки ДНС, виявив максимальний рівень (виділено сірим) точності у визначенні ДНС в межах 14-16 хв, що раніше не було досягнуто

всією сукупністю методик поляризаційної та кореляційної мікроскопії [6-15, 141, 162-165].

Водночас актуальним є питання встановлення діагностичної ефективності відтворення поляризаційних проявів БФ шарів СТ в діагностиці ДНС.

6.3. Трансформація білкової складової препаратів скловидного тіла людини в різні проміжки давності настання смерті

На рис. 6.8, 6.9 наведені мапи (фрагменти 1) та гістограми (фрагменти 2, 3) розподілів поляризаційно-відтвореної величини ЦД шарів СТ людини з ДНС 3 год (рис. 6.8) та ДНС 12 год (рис. 6.9). Одержані результати диференційного Мюллер-матричного поляризаційного відтворення розподілів величини ЦД ілюструють наявність відмінностей між оптичною анізотропією білкових комплексів зразків шарів СТ при різній ДНС.

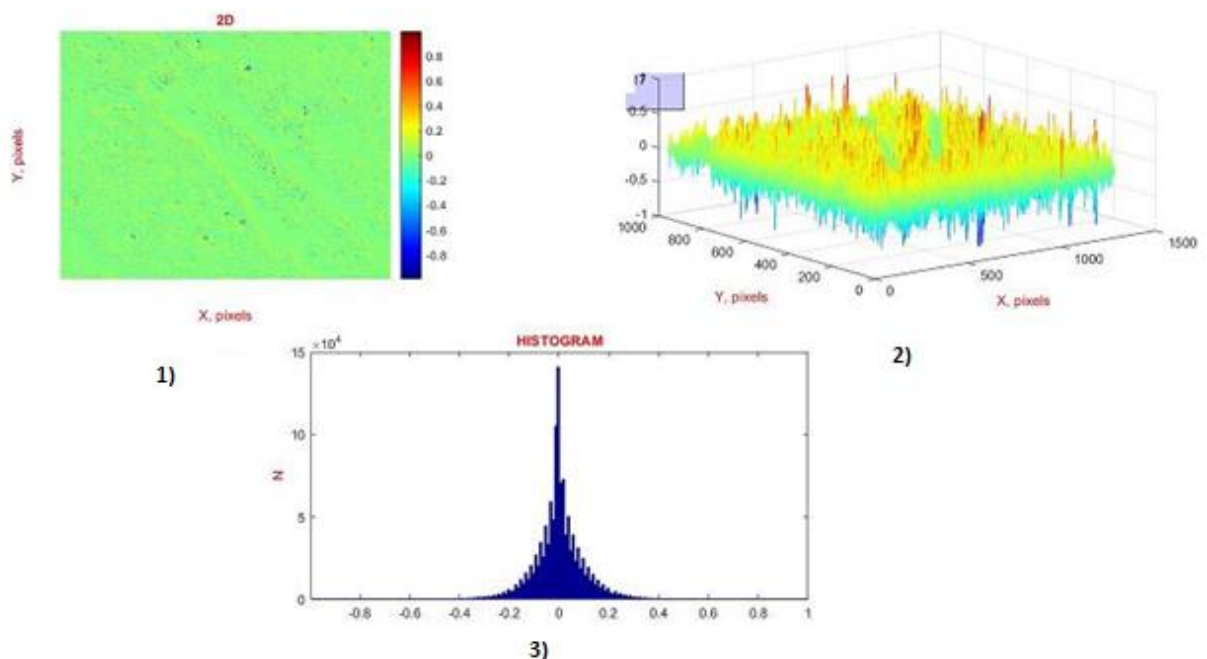


Рис. 6.8. Мапи (1) і розподіли (2, 3) величини циркулярного двопронезаломлення білкової фракції шарів СТ з ДНС 3 год.

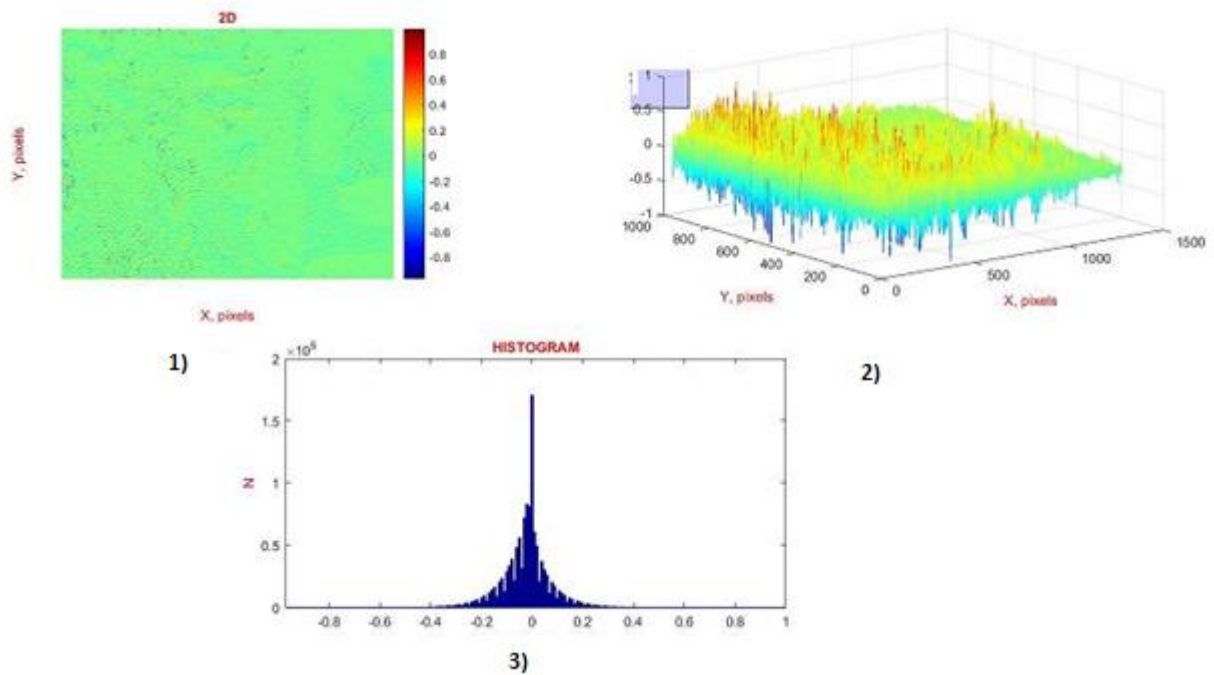


Рис. 6.9. Мапи (1) і розподіли (2, 3) величини циркулярного двопронезаломлення білкової фракції шарів СТ з ДНС 12 год.

Було показано, що координатні розподіли величини ЦД оптично активної БФ (рис. 6.9) зразка шару СТ при ДНС 12 год характеризуються меншими середнім значенням ($SM_1=0,36$) і діапазоном розкиду ($SM_2=0,22$) випадкових значень гістограми порівняно з аналогічними показниками статистичних параметрів ($SM_1=0,53$; $SM_2=0,32$), що характеризують координатні розподіли величини ЦД, поляризаційно відтвореними для зразка шару СТ з ДНС 3 год (рис. 6.8).

Виявлений факт кількісно ілюструє посмертну деструкцію білків при зростанні ДНС шарів СТ. Був встановлений наступний сценарій статистичних змін мап ЦД шарів СТ людини: зростання ДНС супроводжувалося протилежними тенденціями – зменшенням статистичних моментів 1-го та 2-го порядків, що характеризують координатні розподіли величини ЦД. Навпаки, величини асиметрії й ексцесу БФ полікристалічних структур шарів СТ людини збільшувалися (табл. 6.5).

Таблиця 6.5 – Часова динаміка зміни величини статистичних моментів 1-4-го порядків ($SM_{i=1;2;3;4}$), що характеризують розподіли величини циркулярного двопронезаломлення білкової фракції шарів скловидного тіла з різною давністю настання смерті (Т, год)

$SM_i \times 10^{-2}$	T=1	T=3	T=6	T=12	T=18	T=24
SM_1	0,58± 0,024	0,53± 0,022	0,47± 0,021	0,36± 0,017	0,26± 0,012	0,14± 0,006
p	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
SM_2	0,36± 0,014	0,32± 0,013	0,29± 0,012	0,22± 0,0095	0,14± 0,006	0,08± 0,004
p	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
SM_3	0,31± 0,013	0,39± 0,016	0,47± 0,019	0,62± 0,028	0,78± 0,034	0,91± 0,044
p	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
SM_4	0,48± 0,021	0,59± 0,027	0,69± 0,032	0,91± 0,042	1,11± 0,051	1,31± 0,061
p	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05

Аналіз одержаних методом мікроскопічної поляризаційної томографії розподілів ЦД білкових комплексів шарів СТ виявив наступне:

- лінійний діапазон посмертної зміни величини статистичних моментів 1-4-го порядків, що характеризують координатні розподіли величини ЦД зразків шарів СТ людини за величиною ДНС, складає 24 год;
- величина середнього (SM_1) зменшується в межах діапазону визначених для всіх груп зразків середніх значень від 0,58 до 0,14;
- величина дисперсії (SM_2) знижується в межах діапазону встановлених для всіх груп зразків середніх значень від 0,36 до 0,08;
- величина асиметрії (SM_3) зростає в межах діапазону визначених для всіх груп зразків середніх значень від 0,31 до 0,91;
- величина ексцесу (SM_4) збільшується від 0,48 до 1,31.

Рис. 6.10 ілюструє лінійні діаграми зміни величини набору статистичних моментів $SM_{1;2;3;4}$, що характеризують мапи ЦД білкової фракції зразків СТ померлих з різною ДНС.

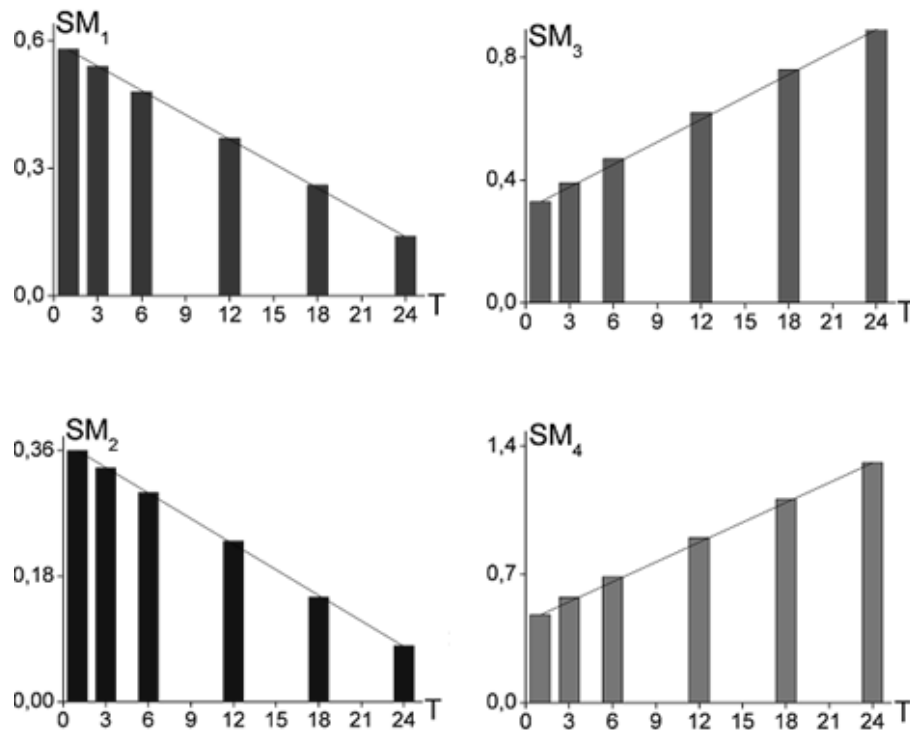


Рис. 6.10. Часові діаграми зміни величини статистичних моментів 1-4-го порядків ($SM_{i=1;2;3;4}$), що характеризують розподіли величини циркулярного двопронезаломлення білкової фракції шарів СТ з різною ДНС (T, год).

З одержаних даних (рис. 6.10) видно, що величини середнього, дисперсії, асиметрії й ексцесу, що характеризують мапи поляризаційних проявів оптичної активності (ЦД) білкової фракції шарів СТ людини з різною ДНС, лінійно змінюються в межах 24 год. Водночас найчутливішими, як і у випадку методів азимутально-інваріантної поляризаційної мікроскопії (розділ 4), Мюллер-матричного картографування (розділ 5) і диференційного Мюллер-матричного картографування ПС шарів СТ (розділ 6), до посмертних змін структури таких зразків виявилися часові зміни асиметрії SM_3 й ексцесу SM_4 .

Кількісно покращення чутливості методу мікроскопічного поляризаційного відтворення розподілів величини ЦД виявлялося в зростанні кутів нахилу лінійних залежностей посмертних змін величини статистичних моментів вищих порядків (табл. 6.6).

Таблиця 6.6 – Точність ($\pm\Delta T$) визначення давності настання смерті методом матричного диференційного картографування циркулярного двопротенезаломлення білкової складової шарів скловидного тіла, хв

SM_i	T=1	T=3	T=6	T=12	T=18	T=24
SM_1	44	45	45	45	46	47
SM_2	40	41	41	40	42	43
SM_3	29	29	29	30	30	30
SM_4	24	25	24	25	25	25

Аналіз одержаних даних про часові залежності посмертних змін величини набору статистичних моментів 1-4-го порядків, що характеризують розподіли величини ЦД білкової фракції шарів СТ в різні проміжки ДНС, виявив максимальний рівень (виділено сірим) точності у визначенні ЧНС в межах 24-25 хв, що на 5 хв нижче, ніж для методики томографічного відтворення розподілів ЛД полікристалічних колагенових сіток шарів СТ. Тому ми додатково розглянули інформаційні можливості масштабно-селективного вейвлет-аналізу мап ЦД для покращення ефективності методу мікроскопічної поляризаційної томографії розподілів БФ шарів СТ.

6.4. Вейвлет-аналіз часової зміни розподілів величини циркулярного двопротенезаломлення білкової фракції препаратів скловидного тіла в постмортальному періоді

На фрагментах серії рис. 6.11 і 6.12 представлені результати мапи та лінійні перерізи амплітуд вейвлет-коефіцієнтів $K_{a,b}$ (фрагменти 1), що

характеризують масштабну ($a=15$) структуру (фрагменти 2) координатних розподілів величини ЦД білкової фракції оптично-анізотропних структур шарів СТ біоманекенів з різною ДНС (3 год – рис. 6.11; 12 год – рис. 6.12).

Порівняльний аналіз результатів дослідження координатних розподілів амплітуд вейвлет-коефіцієнтів $W_{a,b}(x,y)$, що характеризують мапи ЦД білкової складової зразків шарів СТ біоманекенів з різною ДНС, виявив найбільші відмінності між ними на рівні малих масштабів a_{\min} вейвлет-функції.

Кількісно сценарій часової динаміки посмертних змін масштабної структури координатних розподілів БФ зразків шарів СТ людини з різною ДНС ілюструють величини статистичних моментів 1-4-го порядків, що характеризують розподіли величини амплітуди вейвлет-коефіцієнтів $S_{a=15,b}$ (табл. 6.7).

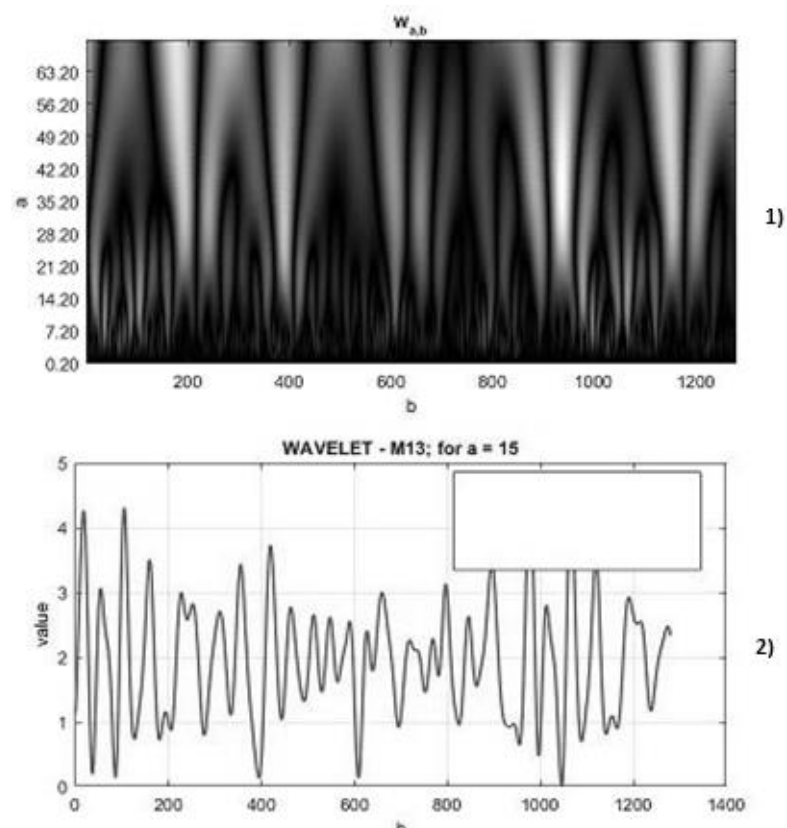


Рис. 6.11. Мапи $W_{a,b}$ (1) і лінійні залежності (2) величини амплітуди вейвлет-коефіцієнтів $S_{15,b}$ циркулярного двопронезаломлення білкової фракції СТ людини з ДНС 3 год.

SM_i	T=1	T=6	T=12	T=18	T=24	T=36
SM_3	0,12±	0,29±	0,47±	0,64±	0,82±	1,16±
	0,006	0,013	0,021	0,031	0,041	0,057
p	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
SM_4	0,23±	0,46±	0,69±	0,91±	1,14±	1,69±
	0,011	0,021	0,034	0,043	0,054	0,078
p	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05

Аналіз наведених даних виявив наступне:

- лінійний діапазон посмертної зміни величини статистичних моментів 1-4-го порядків, що характеризують розподіли величини амплітуди вейвлет-коефіцієнтів $C_{a=15,b}$ мап ЦД при різних значеннях ДНС, збільшується порівняно з даними статистичного аналізу даних диференційного Мюллер-матричного картографування структури білкової фракції шарів СТ від 24 до 36 год;
- величина середнього SM_1 розподілів величини амплітуди вейвлет-коефіцієнтів $C_{a=15,b}$ розподілів величини ЦД білкової фракції шарів СТ змінюється в межах діапазону визначених для всіх груп зразків середніх значень від 0,41 до 0,02;
- величина дисперсії SM_2 розподілів величини амплітуди вейвлет-коефіцієнтів $C_{a=15,b}$ розподілів величини ЦД білкової фракції шарів СТ варіює в межах діапазону встановлених для всіх груп зразків середніх значень від 0,32 до 0,03;
- величина асиметрії SM_3 розподілів величини амплітуди вейвлет-коефіцієнтів $C_{a=15,b}$ розподілів величини ЦД білкової фракції шарів СТ змінюється в межах діапазону визначених для всіх груп зразків середніх значень від 0,12 до 1,16;
- величина ексцесу SM_4 розподілів величини амплітуди вейвлет-коефіцієнтів $C_{a=15,b}$ розподілів величини ЦД білкової фракції шарів СТ

варіює в межах діапазону встановлених для всіх груп зразків середніх значень від 0,23 до 1,69.

Рис. 6.13 ілюструє лінійні діаграми зміни величини набору статистичних моментів $SM_{1;2;3;4}$, що характеризують гістограми розподілів значень амплітуд вейвлет-коефіцієнтів мап поляризаційно відтвореного ЦД білкової фракції зразків шарів СТ людини з різною ДНС.

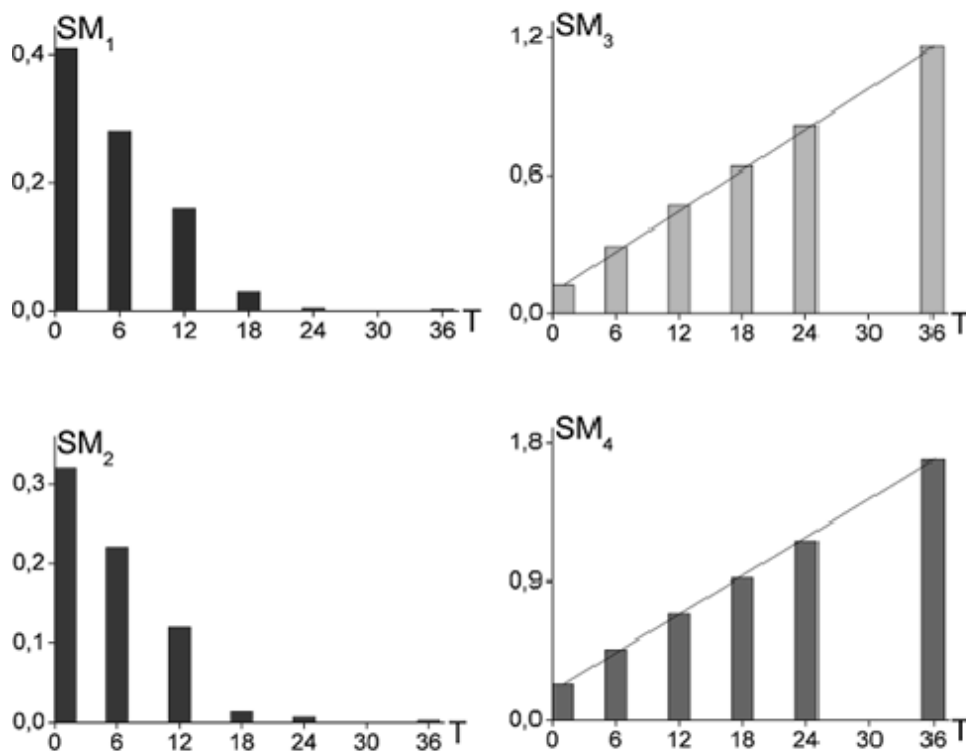


Рис. 6.13. Часові діаграми зміни величини статистичних моментів 1-4-го порядків ($SM_{i=1;2;3;4}$), що характеризують розподіли лінійного перерізу $S_{15,b}$ мапи вейвлет-коефіцієнтів $W_{a,b}$ циркулярного двоприменезаломлення білкової фракції шарів СТ людини з різною ДНС (Т, год).

З одержаних даних (рис. 6.13) видно, що величини всіх статистичних моментів 1-4-го порядків, що характеризують розподіли величини амплітуди вейвлет-коефіцієнтів мапи ЦД білкової фракції репрезентативних вибірок сукупності зразків шарів СТ людини з різною ДНС, лінійно змінюються в межах 36 год. Водночас були виявлені найчутливіші до посмертних змін

структури оптично активної білкової фракції таких зразків статистичні параметри – статистичні моменти 3-го та 4-го порядків, що характеризують асиметрію й ексцес розподілів даних вейвлет-аналізу поляризаційно відтворених мап ЦД.

Кількісно це виявлялося в зростанні кутів нахилу відповідних лінійних залежностей часових посмертних змін величини статистичних моментів вищих порядків, що характеризують розподіли величини амплітуди вейвлет-коефіцієнтів поляризаційно відтворених мап ЦД, порівняно з аналогічними параметрами мап ЛД білкової фракції шарів СТ людини з різною ДНС. Внаслідок цього точність визначення ДНС збільшувалася на 5 хв (табл. 6.8).

Таблиця 6.8 – Точність ($\pm\Delta T$) встановлення давності настання смерті методом вейвлет-аналізу матричного диференційного картографування циркулярного двопронезаломлення білкової складової шарів скловидного тіла, хв

SM_i	T=1	T=6	T=12	T=18	T=24	T=36
SM_1	40	41	42	41	42	43
SM_2	34	35	36	37	38	39
SM_3	24	24	23	25	24	26
SM_4	19	20	20	21	21	21

Аналіз одержаних даних про часові залежності посмертних змін величини набору середнього, дисперсії, асиметрії й ексцесу, що характеризують розподіли величини амплітуд вейвлет-коефіцієнтів мап поляризаційних проявів оптичної активності (ЦД) білкової фракції шарів СТ людини виявив максимальний рівень (виділено сірим) точності у визначенні ДНС в межах 19-21 хв.

Висновки. Досліджено методом мікроскопічної поляризаційної томографії набір мап і гістограм розподілів випадкових значень ЛД та ЦД шарів СТ людини з різною ДНС. За часовою динамікою посмертних змін

полікристалічної та білкової фракції шарів СТ людини встановлено діапазон чутливості у визначенні ДНС 24 год з точністю 20-25 хв.

Продемонстровано ефективність масштабно-селективного вейвлет-аналізу розподілів величини ЛД та ЦД шарів СТ людини у встановлені ДНС: забезпечує збільшення діапазону чутливості до 36 год та підвищення точності визначення ДНС до 15-20 хв.

Основні результати даного розділу висвітлено в наступних публікаціях:

1. Dubolazov AV, Olar OV, Pidkamin LY, Arkhelyuk AD, Motrich AV, Shaplavskiy MV, et al. Polarization-phase reconstruction of polycrystalline structure of biological tissues. Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering. 2019;11087:1108714. doi: [10.1117/12.2529182](https://doi.org/10.1117/12.2529182)
2. Саркісова ЮВ, Бачинський ВТ, Ушенко ОГ, Мельник ММ. Поляризаційна мікроскопічна томографія полікристалічної структури препаратів склоподібного тіла у діагностиці давності настання смерті. Сучасні медичні технології. 2019;4:54-61. doi: [10.34287/MMT.4\(43\).2019.10](https://doi.org/10.34287/MMT.4(43).2019.10)
3. Sarkisova Yu, Bachynskiy V, Palamar A, Palibroda N, Patratii M. Diagnostic possibilities of analysis of the map of linear birefringence of the crystal fraction of vitreous body for accurate determination of the time since death. Proceedings of CBU in Medicine and Pharmacy. 2020;1:82-9. doi: [10.12955/pmp.v1.103](https://doi.org/10.12955/pmp.v1.103)
4. Sarkisova YV. Polarization microscopic tomography of the protein structure of vitreous body preparations in the diagnosis of the time since death. В: Матеріали підсумкової 102-ї наук.-практ. конф. з міжнар. участю професорсько-викладацького персоналу Буковинського державного медичного університету; 2021 Лют 08, 10, 15; Чернівці. Чернівці: Медуніверситет; 2021, с. 17-8.
5. Саркісова ЮВ, Бачинський ВТ, Ванчуляк ОЯ, Ушенко ОГ, Ушенко ЮО, Дуболазов ОВ, та ін., винахідники; Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, патентовласник. Спосіб азимутально-

інваріантного визначення давності настання смерті за Мюллер-матричною реконструкцією двопронезаломлення шарів скловидного тіла трупа людини. Патент України № 143821. 2020 Серп 10.

РОЗДІЛ 7

**СПЕКТРАЛЬНО-СЕЛЕКТИВНА ЛАЗЕРНО-ІНДУКОВАНА
АВТОФЛУОРЕСЦЕНТНА МІКРОСКОПІЯ ПРЕПАРАТІВ
СКЛОВИДНОГО ТІЛА ЛЮДИНИ В ДІАГНОСТИЦІ ДАВНОСТІ
НАСТАННЯ СМЕРТІ**

У даному розділі представлені короткі теоретичні відомості щодо природи флуоресценції, типів флуорофорів та особливостей формування флуоресцентного випромінювання різноманітними молекулярними комплексами біологічних шарів. На основі цих даних описана часова динаміка посмертних змін координатних розподілів величини інтенсивності автофлуоресценції кристалічної та аморфної складових шарів СТ людини. Продемонстрована ефективність застосування даної методики для високоточної діагностики ДНС.

Шар СТ	
Лазерна автофлуоресцентна мікроскопія	
Картографування автофлуоресценції полікристалічної складової шарів СТ людини з різною ДНС	Картографування автофлуоресценції аморфної складової шарів СТ людини з різною ДНС
Координатні розподіли величини інтенсивності автофлуоресценції полікристалічної складової шарів СТ людини з різною ДНС	Координатні розподіли величини інтенсивності автофлуоресценції аморфної складової шарів СТ людини з різною ДНС
Часова динаміка зміни статистичних моментів 1-4-го порядків, що характеризують координатні розподіли інтенсивності автофлуоресценції полікристалічної й аморфної складових СТ людини в постмортальному періоді	
Точність визначення ДНС методом картографування автофлуоресценції полікристалічної складової шарів СТ	Точність визначення ДНС методом картографування автофлуоресценції аморфної складової шарів СТ

Рис. 7.1. Структурно-логічна схема визначення ДНС методом спектрально-селективного картографування розподілів інтенсивності автофлуоресценції шарів СТ.

7.1. Біохімічні та медичні аспекти флуоресцентної діагностики

Залежно від біологічного походження або структури молекулярного комплексу випромінюваного флуорофору розрізняють різні напрями флуоресцентної діагностики (ФД) біохімічної структури досліджуваного об'єкта шляхом детектування розподілів інтенсивності флуоресцентного випромінювання з різними довжинами хвиль або спектрами.

Таку ФД зразків гістологічних зрізів БТ можна умовно розділити на два напрями:

- фотометричний аналіз спектра автофлуоресценції тканини (нативної або індукованої);
- фотометричний аналіз спектра флуоресценції екзогенних флуорофорів.

7.1.1. Явище нативної автофлуоресценції біологічних тканин.

Біологічні тканини органів людини містять велику кількість різноманітних природних біохімічних флуорофорів. Найбільш розповсюдженими є

- флавіни;
- протеїни;
- порфірини.

Кожна група флуорофорів володіє індивідуальними за розподілами величини інтенсивності та довжинами хвиль спектрами поглинання та випромінювання.

На рис. 7.2 представлено спектральне різноманіття флуоресцентного випромінювання різних за біохімічною структурою флуорофорів тканин органів людини.

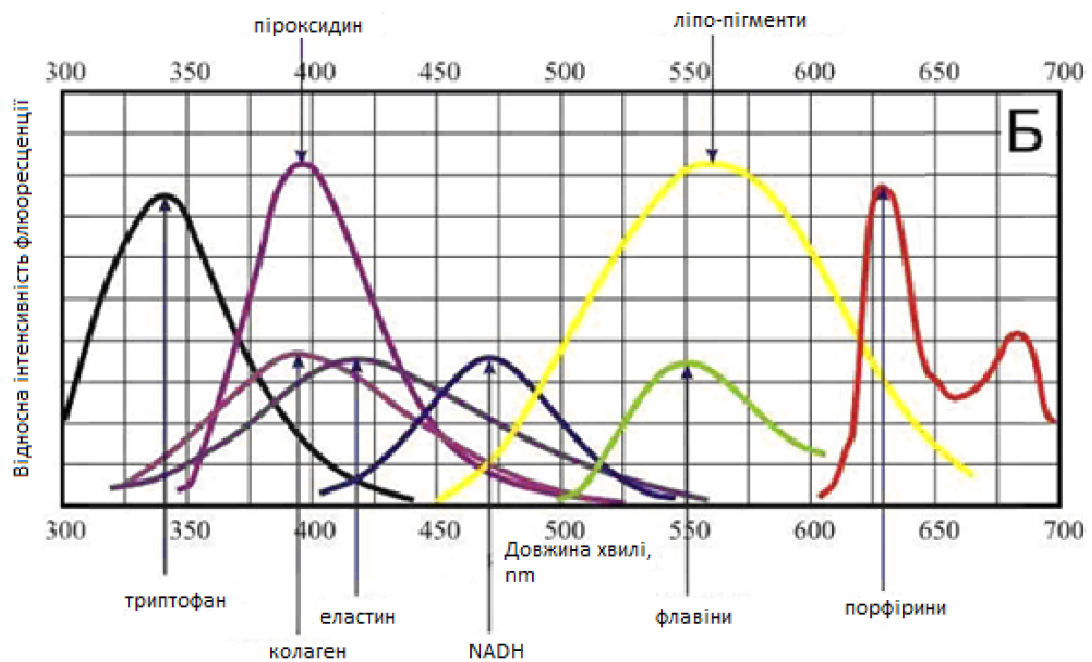
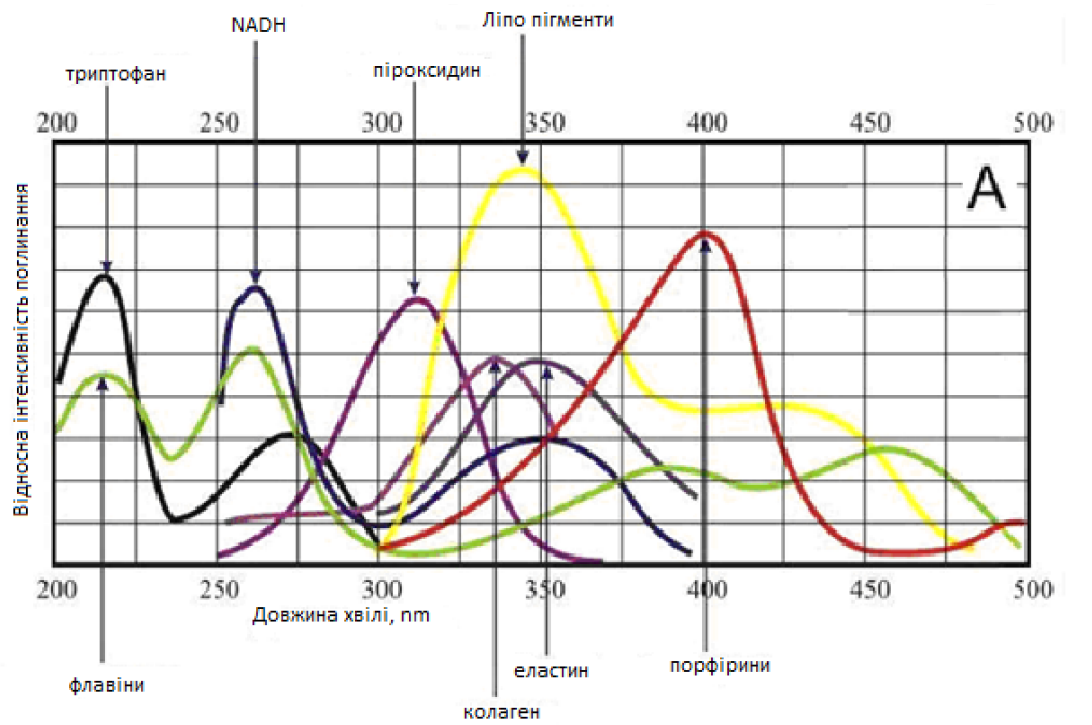


Рис. 7.2. Спектри електромагнітного поглинання (А) та флуоресцентного випромінювання (Б) основних флуорофорів БТ органів людини.

В *ультрафіолетовій* частині спектра електромагнітного випромінювання флуоресціюють:

1. позаклітинні білки:
 - колаген (структурний білок сполучної тканини та найбільш

розповсюджений протеїн. Фотометричний максимум спектра його поглинання складає близько 340 нм, а електромагнітного випромінювання – 380 нм. Відомі наступні поєднання максимумів збудження та наступної електромагнітної люмінесценції колагену: 280 і 310 нм, 265 і 385 нм, 330 і 390 нм, 450 і 530 нм відповідно;

- еластин – максимум поглинання припадає приблизно на 350 нм, а електромагнітного випромінювання (емісії) – 410 нм;
2. ароматичні амінокислоти внутрішньоклітинних білків – триптофан, тирозин, фенілаланін. Встановлено, що основна інтенсивність флуоресценції припадає на триптофан, оскільки його квантовий вихід набагато вищий за квантовий вихід тирозину та фенілаланіну.

Набагато більше біохімічних речовин випромінюють (люмінесціюють) у синій і жовто-зеленій областях спектра:

- відновлені піридиннуклеотиди (нікотинамідаденіндинуклеотид (НАД-Н), нікотинамідаденіндинуклеотидфосфат (НАДФ-Н)). Вони володіють характерними смугами поглинання в ультрафіолетовому діапазоні (260 і 340 нм) і флуоресцентного випромінювання в інтервалі 465-480 нм. При переході в окиснений стан НАД-Н і НАДФ-Н втрачають смугу поглинання 340 нм і здатність до електромагнітної люмінесценції. Цей факт має діагностичне значення, оскільки біологічна тканина з посмертними змінами характеризується нижчим рівнем рН і порушенням балансу між вмістом окисненої та відновленої форм НАД, що проявляється зниженням загальної інтенсивності електромагнітного випромінювання;
- окиснені флавопротеїни (флавінмононуклеотид (ФМН), флавінаденіндинуклеотид (ФАД)). Флавопротеїни в окисненій формі також володіють характерними спектрами поглинання (450, 375 і 263 нм) і люмінесценції (520-530 нм). При переході цих груп у відновлений стан вони втрачають смуги поглинання 450 нм;
- вітаміни (інтенсивна флуоресценція вітаміну А з максимумом

випромінювання 480 нм);

- продукти метаболізму, зокрема піридоксал, фолієва кислота, її похідні тощо.

Автофлуоресценція біологічних тканин у *червоній* області електромагнітного спектра характеризується меншою інтенсивністю порівняно з ультрафіолетовою та короткохвильовою видимою областями. Було встановлено, що вона переважно пов'язана з ендогенними порфіринами.

У нашій роботі була досліджена можливість визначення ДНС людини шляхом використання техніки лазерної спектрально-селективної автофлуоресценції шарів СТ (розділ 2, підрозділ 2.4).

Для спектральної селекції проявів різних типів флуорофорів були використані два типи інтерференційних фільтрів:

- $\lambda_1=0,55$ мкм – аморфна складова СТ;
- $\lambda_1=0,45$ мкм – полікристалічна (білкова) складова СТ.

7.2. Мапи лазерної автофлуоресценції аморфної складової шарів скловидного тіла

Представлені результати статистичного аналізу часової динаміки розподілів величини інтенсивності лазерної автофлуоресценції, що характеризує прояви аморфної складової зразків шарів СТ людини з різною ДНС. Експериментальні вимірювання координатних розподілів величини інтенсивності лазерної автофлуоресценції шарів СТ здійснювалися за методикою, що представлена в підрозділі 2.4 розділу 2.

На рис. 7.3 - 7.5 наведені мапи (1) та розподіли (2) величини інтенсивності лазерної автофлуоресценції ($\lambda_1=0,55$ мкм) аморфної складової шарів СТ людини з ДНС 3 год (рис. 7.3), 6 год (рис. 7.4) та 12 год (рис. 7.5).

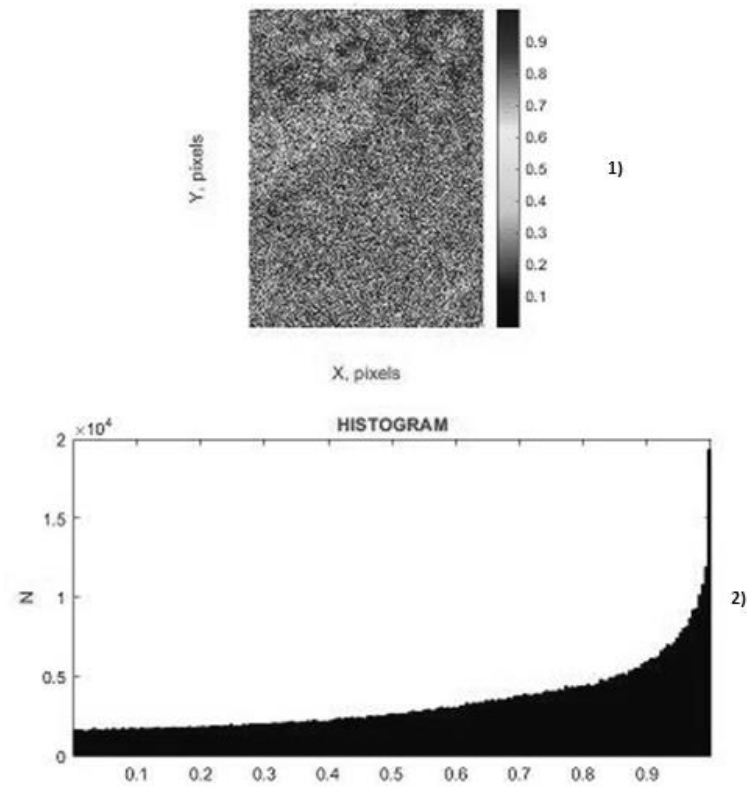


Рис. 7.3. Мапи (1) і розподіли (2) величини інтенсивності лазерної спектрально-селективної автофлуоресценції ($\lambda_1=0,55$ мкм) аморфної складової шарів СТ людини з ДНС 3 год.

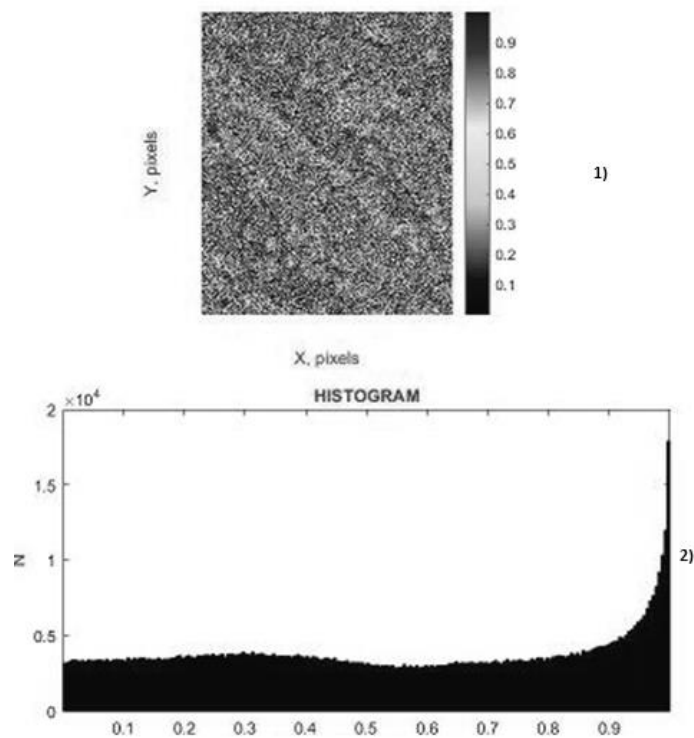


Рис. 7.4. Мапи (1) та розподіли (2) величини інтенсивності лазерної

спектрально-селективної автофлуоресценції ($\lambda_1=0,55$ мкм) аморфної складової шарів СТ людини з ДНС 6 год.

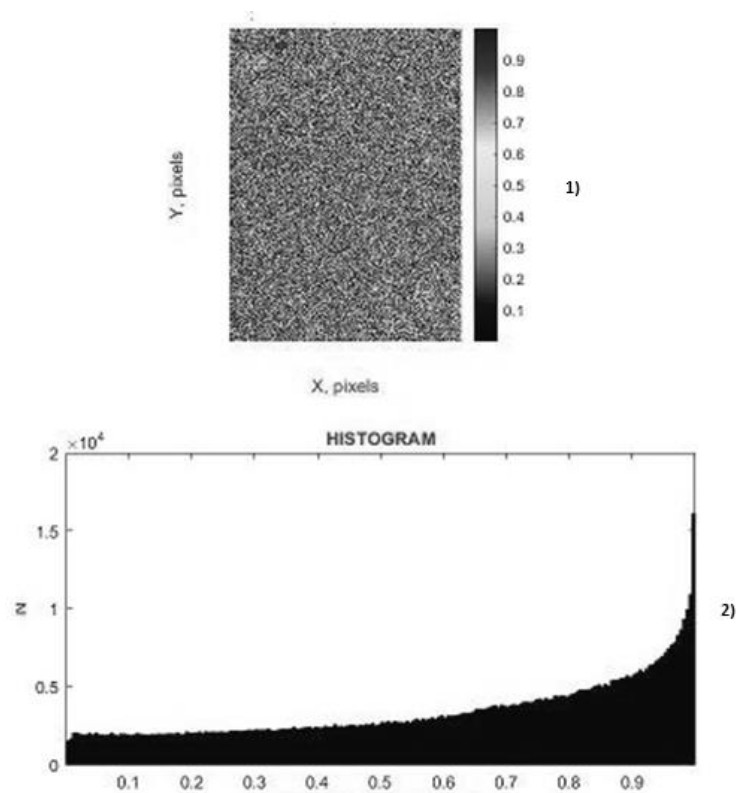


Рис. 7.5. Мапи (1) і розподіли (2) величини інтенсивності лазерної спектрально-селективної автофлуоресценції ($\lambda_1=0,55$ мкм) аморфної складової шарів СТ людини з ДНС 12 год.

Одержані методом спектрально-селективної автофлуоресцентної мікроскопії результати ілюструють наявність суттєвих відмінностей між даними поляризаційної мікроскопії (див. розділ 4, табл. 4.1, 4.3), диференційного Мюллер-матричного картографування (див. розділ 5, табл. 5.1, 5.3) та мікроскопічної поляризаційної томографії (див. розділ 6, табл. 6.1, 6.3) щодо структури зразків шарів СТ в межах усіх груп померлих з різною ДНС.

Було експериментально виявлено, що координатні розподіли величини лазерної автофлуоресценції ($\lambda_1=0,55$ мкм) аморфної складової шарів СТ людини з більшою ДНС характеризувалися меншими середнім значенням ($SM_1=0,67$) і діапазоном розкиду ($SM_2=0,23$) випадкових значень

інтенсивності флуоресценції порівняно з гістограмами ($SM_1=0,85$, $SM_2=0,35$), що були одержані для полікристалічної складової зразка шарів СТ з ДНС 3 год. Кількісно дану часову динаміку посмертної зміни інтенсивності автофлуоресценції аморфної структури шарів СТ людини ілюструють середні значення та похибки в межах груп статистичних моментів 1-4-го порядків при різних значеннях ДНС (табл. 7.1).

Таблиця 7.1 – Часова динаміка зміни величини статистичних моментів 1-4-го порядків ($SM_{i=1;2;3;4}$), що характеризують розподіли величини інтенсивності лазерної спектрально-селективної автофлуоресценції ($\lambda_1=0,55$ мкм) аморфної складової шарів скловидного тіла людини з різною давністю настання смерті (Т, год)

SM_i	T=1	T=6	T=12	T=18	T=24	T=36
SM_1	0,91± 0,042	0,85± 0,039	0,79± 0,035	0,67± 0,031	0,55± 0,023	0,42± 0,019
p	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
SM_2	0,39± 0,017	0,35± 0,015	0,31± 0,013	0,23± 0,011	0,16± 0,007	0,08± 0,004
p	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
SM_3	0,12± 0,005	0,23± 0,009	0,34± 0,013	0,56± 0,019	0,79± 0,034	0,99± 0,042
p	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
SM_4	0,18± 0,008	0,33± 0,014	0,47± 0,021	0,77± 0,036	1,06± 0,045	1,19± 0,051
p	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05

Виявлені дані спектрально-селективної ($\lambda_1=0,55$ мкм) лазерної автофлуоресцентної мікроскопії можна пов'язати з деструктивними посмертними змінами біохімічного складу шарів СТ, флуоресцентні прояви яких супроводжується зменшенням величини інтенсивності випромінювання

в товсто-зеленій ділянці відповідного спектрального діапазону довжин електромагнітних хвиль.

Було встановлено наступне:

- лінійний діапазон зміни величини статистичних моментів 1-4-го порядків $SM_{i=1;2;3;4}$, що характеризують розподіли величини інтенсивності автофлуоресценції аморфної структури шарів СТ людини за величиною ДНС, складає 36 год;
- величина SM_1 (середнього) автофлуоресцентних мап аморфної структури шарів СТ людини змінюється в межах від 0,91 до 0,42;
- величина SM_2 (дисперсії) автофлуоресцентних мап аморфної структури шарів СТ людини варіює в межах від 0,39 до 0,08;
- величина SM_3 (асиметрії) автофлуоресцентних мап аморфної структури шарів СТ людини змінюється в межах від 0,12 до 0,99;
- величина SM_4 (ексцесу) автофлуоресцентних мап аморфної структури шарів СТ людини варіює в межах від 0,18 до 1,19.

Рис. 7.6 ілюструє лінійні та кругові діаграми посмертної зміни величини набору статистичних моментів $SM_{1;2;3;4}$, що характеризують координатні розподіли величини інтенсивності лазерної автофлуоресценції для $\lambda_1=0,55$ мкм.

З одержаних даних (рис. 7.6) видно, що порівняно з даними поляризаційної мікроскопії (див. розділ 4, табл. 4.1, 4.3), диференційного Мюллер-матричного картографування (див. розділ 5, табл. 5.1, 5.3) та мікроскопічної поляризаційної томографії (див. розділ 6, табл. 6.1, 6.3) щодо структури зразків шарів СТ в межах досліджуваних зразків з різною ДНС, величини $SM_{1;2;3;4}$, що характеризують мапи аморфної складової шарів СТ людини, лінійно змінюються в межах 36 год.

Найчутливішими до посмертних змін аморфної структури шарів СТ виявилися часові зміни асиметрії SM_3 й ексцесу SM_4 , що характеризують координатні розподіли величини інтенсивності флуоресценції.

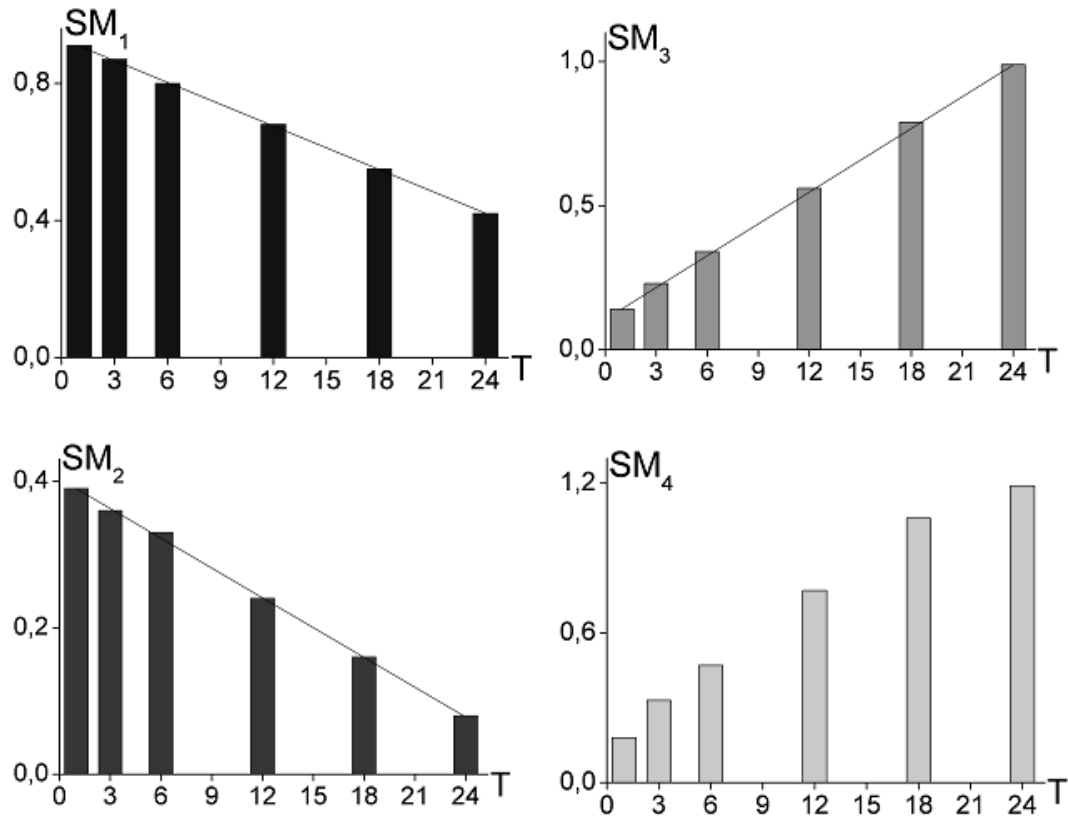


Рис. 7.6. Часові діаграми зміни величини статистичних моментів 1-4-го порядків ($SM_{i=1;2;3;4}$), що характеризують розподіли величини інтенсивності лазерної спектрально-селективної автофлуоресценції ($\lambda_1=0,55$ мкм) шарів СТ людини з різною ДНС (Т, год).

Кількісно такий процес виявлявся в зростанні кутів нахилу лінійних часових залежностей величини зазначених статистичних моментів вищих порядків.

За алгоритмом, наведеним в розділі 2 (підрозділ 2.6), були одержані наступні результати точності визначення ДНС методом спектрально-селективної флуоресцентної мікроскопії аморфної складової шарів СТ людини з різною ДНС (табл. 7.2).

Таблиця 7.2 – Точність встановлення давності настання смерті методом лазерної спектрально-селективної ($\lambda_1=0,55$ мкм) флуоресцентної мікроскопії шарів скловидного тіла, хв

SM _i	T=1	T=6	T=12	T=18	T=24	T=36
SM ₁	41	42	42	43	43	43
SM ₂	37	37	38	39	38	39
SM ₃	26	26	27	27	26	27
SM ₄	20	21	21	22	22	22

Аналіз одержаних даних про часові залежності посмертних змін величини набору середнього, дисперсії, асиметрії й ексцесу, що характеризують розподіли величини інтенсивності мап флуоресценції аморфної фракції шарів СТ людини, виявив високий рівень (виділено сірим) точності у визначенні ДНС в межах 20-22 хв.

7.3. Мапи лазерної автофлуоресценції полікристалічної складової шарів скловидного тіла

На рис. 7.7 - 7.9 наведені мапи (1) та розподіли (2) величини інтенсивності лазерної автофлуоресценції в іншій ділянці спектра ($\lambda_2=0,45$ мкм) полікристалічної білкової складової шарів СТ людини з ДНС 3 год (рис. 7.7), 6 год (рис. 7.8) та 12 год (рис. 7.9).

Одержані методом спектрально-селективної автофлуоресцентної мікроскопії результати для випромінювання полікристалічної фракції ($\lambda_2=0,45$ мкм) ілюструють (як і у випадку аморфної складової $\lambda_1=0,55$ мкм) наявність суттєвих відмінностей між даними поляризаційної мікроскопії (див. розділ 4, табл. 4.1, 4.3), диференційного Мюллер-матричного картографування (див. розділ 5, табл. 5.1, 5.3) та мікроскопічної поляризаційної томографії (див. розділ 6, табл. 6.1, 6.3) щодо структури зразків шарів СТ в межах усіх зразків СТ з різною ДНС.

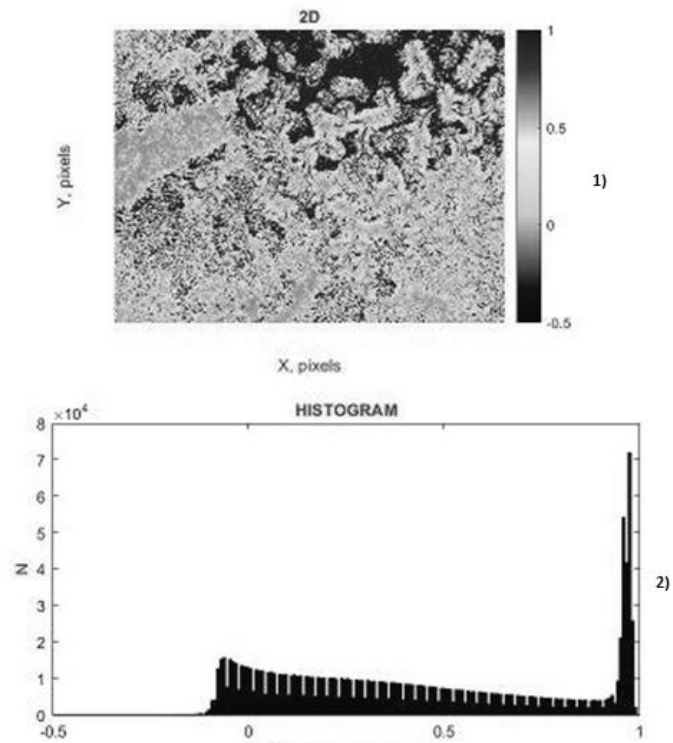


Рис. 7.7. Мапи (1) і розподіли (2) величини інтенсивності лазерної спектрально-селективної автофлуоресценції ($\lambda_2=0,45$ мкм) полікристалічної складової шарів СТ людини з ДНС 3 год.

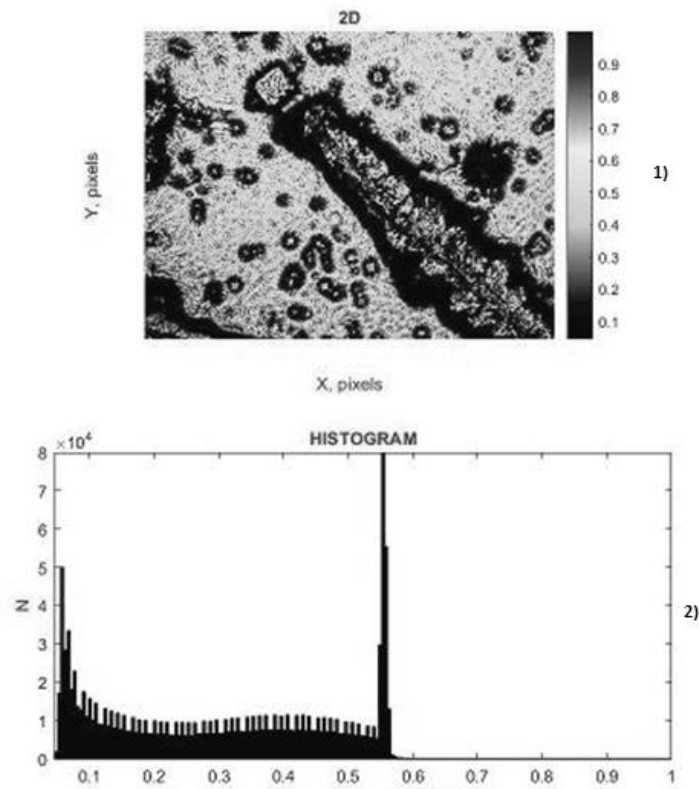


Рис. 7.8. Мапи (1) і розподіли (2) величини інтенсивності лазерної спектрально-селективної автофлуоресценції ($\lambda_2=0,45$ мкм) полікристалічної

складової шарів СТ людини з ДНС 6 год.

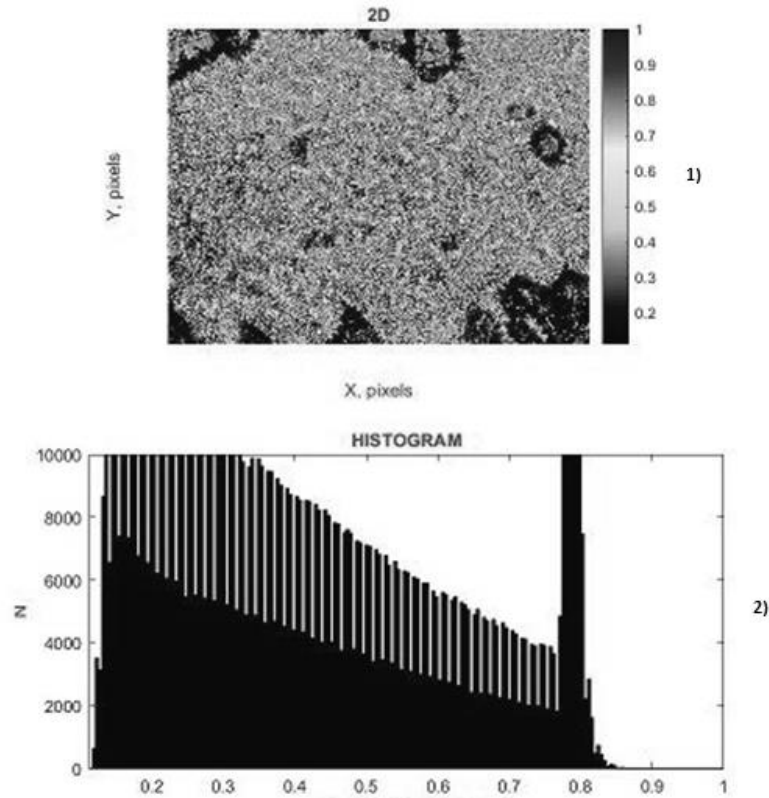


Рис. 7.9. Мапи (1) і розподіли (2) величини інтенсивності лазерної спектрально-селективної автофлуоресценції ($\lambda_2=0,45$ мкм) полікристалічної складової шарів СТ людини з ДНС 12 год.

Експериментально було продемонстроване “затухання” лазерної флуоресценції зі збільшенням ДНС: координатні розподіли величини лазерної автофлуоресценції ($\lambda_2=0,45$ мкм) полікристалічної складової шарів СТ людини з більшою ДНС характеризувалися меншими середнім значенням ($SM_1=0,52$) і діапазоном розкиду ($SM_2=0,25$) випадкових значень інтенсивності флуоресценції порівняно з гістограмами, що були одержані для полікристалічної складової зразка шарів СТ з ДНС 3 год ($SM_1=0,78$; $SM_2=0,42$). Водночас, із збільшенням ДНС, відмічалось зростання величини значень асиметрії SM_3 та ексцесу SM_4 , що характеризують координатні розподіли величини інтенсивності флуоресцентного випромінювання в синій ділянці спектра електромагнітних хвиль для $\lambda_2=0,45$ мкм (табл. 7.3).

Таблиця 7.3 – Часова динаміка зміни величини статистичних моментів 1-4-го порядків ($SM_{i=1;2;3;4}$), що характеризують розподіли величини інтенсивності лазерної спектрально-селективної автофлуоресценції ($\lambda_2=0,45$ мкм) полікристалічної складової шарів скловидного тіла людини з різною давністю настання смерті (Т, год)

SM_i	T=1	T=6	T=12	T=18	T=24	T=36
SM_1	0,83±	0,78±	0,67±	0,52±	0,36±	0,21±
	0,039	0,033	0,029	0,022	0,014	0,009
p	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
SM_2	0,47±	0,42±	0,36±	0,25±	0,15±	0,03±
	0,021	0,018	0,015	0,011	0,007	0,002
p	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
SM_3	0,22±	0,35±	0,48±	0,75±	1,01±	1,27±
	0,009	0,015	0,018	0,031	0,044	0,057
p	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
SM_4	0,11±	0,51±	0,71±	1,11±	1,52±	1,91±
	0,005	0,022	0,031	0,046	0,069	0,087
p	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05

Аналіз одержаних методом спектрально-селективної флуоресцентної мікроскопії даних про посмертні зміни полікристалічної фракції шарів СТ виявив наступне:

- лінійний діапазон зміни величини набору всіх статистичних моментів 1-4-го порядків, що характеризують координатні розподіли величини інтенсивності флуоресценції полікристалічної структури зразків шарів СТ людини за величиною ДНС, складає 36 год;
- величина SM_1 зменшується в межах діапазону визначених для всіх груп зразків середніх значень від 0,83 до 0,21;
- величина SM_2 знижується в межах діапазону встановлених для всіх груп зразків середніх значень від 0,47 до 0,03;

- величина SM_3 зростає в межах діапазону визначених для всіх груп зразків середніх значень від 0,22 до 1,27;
- величина SM_4 збільшується в межах діапазону визначених для всіх груп зразків середніх значень від 0,11 до 1,91.

Рис. 7.10 ілюструє лінійні діаграми зміни величини набору статистичних моментів $SM_{1;2;3;4}$, що характеризують розподіли інтенсивності мап автофлуоресценції полікристалічної фракції зразків СТ людини з різною ДНС.

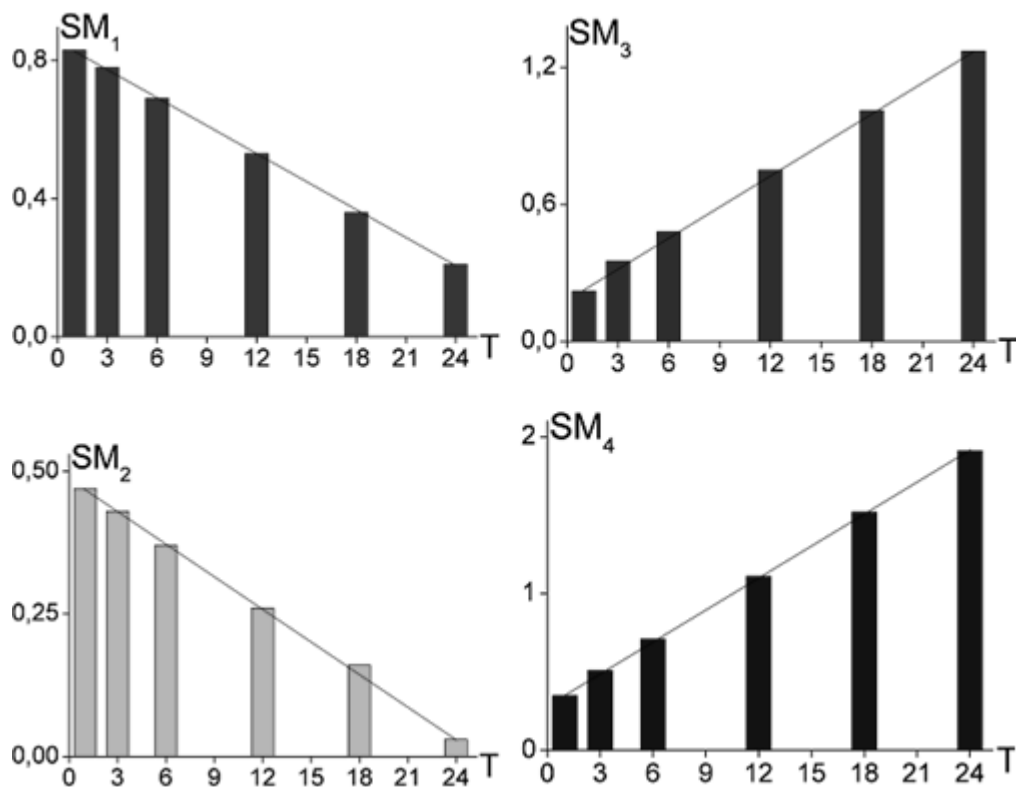


Рис. 7.10. Часові діаграми зміни величини статистичних моментів 1-4-го порядків ($SM_{i=1;2;3;4}$), що характеризують розподіли величини інтенсивності лазерної спектрально-селективної автофлуоресценції ($\lambda_2=0,45$ мкм) шарів СТ людини з різною ДНС (Т, год).

З одержаних даних (рис. 7.10) часового моніторингу видно, що величини статистичних моментів 1-4-го порядків, що характеризують мапи лазерно-індукованої флуоресценції білкової фракції шарів СТ людини з різною ДНС, лінійно змінюються в межах 36 год.

Найчутливішими, як і у випадку методів азимутально-інваріантної поляризаційної мікроскопії (розділ 4), диференційного Мюллер-матричного картографування (розділ 5) та поляризаційної томографії (розділ 6), до посмертних змін полікристалічної структури таких зразків виявилися часові зміни асиметрії та ексцесу (SM_3 і SM_4), що характеризують розподіли величини інтенсивності флуоресценції.

Кількісно покращення чутливості та точності методу спектрально-селективної лазерної флуоресцентної мікроскопії виявлялося в зростанні кутів нахилу лінійних залежностей посмертних змін величини всього набору статистичних моментів вищих порядків (SM_3 та SM_4), що характеризують розподіли величини інтенсивності автофлуоресценції шарів СТ людини з різною ДНС (табл. 7.4).

Таблиця 7.4 – Точність визначення давності настання смерті методом лазерної спектрально-селективної ($\lambda_2=0,45$ мкм) флуоресцентної мікроскопії шарів скловидного тіла, хв

SM_i	T=1	T=6	T=12	T=18	T=24	T=36
SM_1	37	37	37	38	38	39
SM_2	34	34	35	35	35	36
SM_3	22	23	23	23	24	24
SM_4	15	15	15	16	16	17

Аналіз одержаних даних про часові залежності посмертних змін величини набору статистичних моментів 1-4-го порядків, що характеризують координатні розподіли величини інтенсивності мап флуоресценції полікристалічної фракції шарів СТ людини, виявив максимально високий рівень (виділено сірим) точності у визначенні ДНС в межах 15-17 хв протягом 36 год.

Висновки. Досліджено методом спектрально-селективної лазерної флуоресцентної мікроскопії набір мап і гістограм розподілів випадкових

значень інтенсивності флуоресценції аморфної ($\lambda_1=0,55$ мкм) та полікристалічної ($\lambda_2=0,45$ мкм) складової шарів СТ людини з різною ДНС.

Встановлено діапазон чутливості 36 год і точність визначення ДНС для методу спектрально-селективної лазерної автофлуоресцентної мікроскопії шарів СТ – 15-20хв.

Основні результати даного розділу висвітлено в наступних публікаціях:

1. Саркісова ЮВ, Бачинський ВТ, Паливода ОГ. Можливості багатовимірної поляризаційної та автофлуоресцентної мікроскопії біологічних тканин та рідких середовищ організму людини для діагностики давності настання смерті. Судово-медична експертиза. 2019;1:17-23. doi: [10.24061/2707-8728.1.2019.3](https://doi.org/10.24061/2707-8728.1.2019.3)
2. Саркісова ЮВ, Маланчук СМ. Спектрально-селективна лазерно-індукована автофлуоресцентна мікроскопія полікристалічної фракції склистого тіла людини в діагностиці давності настання смерті. Судово-медична експертиза. 2020;1:61-9. doi: [10.24061/2707-8728.1.2020.8](https://doi.org/10.24061/2707-8728.1.2020.8)
3. Саркісова Ю. Перспективна можливість встановлення давності настання смерті за змінами статистичної структури лазерно-індукованої флуоресценції молекул білків і нікотинамідаденіндинуклеотиду відновленого мазків склоподібного тіла людини. В: Матеріали ХХІІІ Міжнародного медичного конгресу студентів та молодих вчених; 2019 Квіт 15-17; Тернопіль. Тернопіль: Укрмедкнига; 2019, с. 330.
4. Саркісова ЮВ. Дослідження судово-медичної ефективності визначення давності настання смерті за змінами статистичної структури спектрально-селективних розподілів інтенсивності лазерно-індукованої флуоресценції зразків склоподібного тіла людини. В: Матеріали ХVІ Міжнар. наук. конф. студентів, молодих вчених та фахівців Актуальні питання сучасної медицини; 2019 Бер 28-29; Харків. Харків; 2019, с. 236-7.
5. Саркісова ЮВ, Гараздюк МС, Паливода ОГ, Андрійчук АО. Спектрально-селективна лазерна автофлуоресцентна мікроскопія препаратів аморфної

складової склоподібного тіла ока людини у діагностиці давності настання смерті. В: Матеріали наук.-практ. конф. з міжнар. участю Актуальні проблеми морфології в теоретичній та практичній медицині; 2019 Жов 24-25; Чернівці. Чернівці: БДМУ; 2019, с. 90-1.

6. Саркісова ЮВ, Бачинський ВТ, Ванчуляк ОЯ, Ушенко ОГ, Ушенко ЮО, Дуболазов ОВ, та ін., винахідники; Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, патентовласник. Спосіб визначення давності настання смерті методом спектрально-селективної лазерної флуоресцентної мікроскопії шарів скловидного тіла. Патент України № 143815. 2020 Серп 10.

АНАЛІЗ ТА УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Даний розділ присвячений обговоренню отриманих результатів дослідження можливостей високоточного встановлення ДНС на довготривалому часовому інтервалі за даними азимутально-інваріантної поляризаційної, диференційної Мюллер-матричної та спектрально-селективної автофлуоресцентної мікроскопії шляхом статистичного та вейвлет-аналізу часової динаміки зміни оптично-анізотропної та біохімічної структури частково деполаризуючих шарів СТ людини. Значна увага в розділі приділяється розкриттю сутності зв'язків між проявами посмертних змін структурних елементів СТ та їхніми відбитками в зміні структури отриманих зображень. Було проведено порівняння отриманих даних з наявними в сучасних літературних джерелах.

З огляду на актуальний стан речей у практичній судово-медичній експертизі та велику кількість наукових праць світових вчених, присвячених точному визначенню посмертного інтервалу, ми дійшли висновку, що встановлення ДНС є однією з ключових і на сьогодні не до кінця вирішених проблем [166-168]. Визначення точного ЧНС є критично важливим кроком у більшості розслідувань і залишається одним з найскладніших для встановлення змінних [123, 169-172]. Адже саме на основі отриманих точних даних прогнозування діапазону часу після смерті можливо спростувати чи підтвердити алібі, свідчення свідків, звузити коло підозрюваних під час криміналістичного аналізу [26-29, 173-174].

Точне значення ДНС важко визначити за допомогою одного методу, адже розв'язання даної проблеми потребує врахування всіх аспектів танатогенезу, впливу факторів зовнішнього середовища й інших обставин справи [175-177]. Тому у світових наукових дослідженнях простежується тенденція до застосування комплексних досліджень, заснованих на останніх досягненнях медицини, хімії, фізики, криміналістики, що зі свого боку дозволяє встановити приблизний діапазон ДНС [1, 3, 124].

Відомо, що після смерті в організмі починають відбуватися багато фізичних, метаболічних, аутолітичних, фізіо- та біохімічних процесів. Усі ці зміни проходять впорядковано з плином часу, тому їх оцінка дозволяє зробити припущення щодо можливої ДНС [100, 114, 121].

Для визначення ДНС застосовують наступні методи: оцінка посмертних явищ (трупні плями, залякання, охолодження, висихання), суправітальних реакцій, мікробний і біохімічний аналізи, вивчення ентомофауни тощо [121, 178, 179]. Хоча більшість із цих методів часто застосовуються для оцінки ДНС в щоденній практичній роботі судово-медичних експертів, вони все ж володіють певними неточностями й обмеженнями, часто залежать від екологічних, географічних умов та індивідуальних особливостей організму (вік, стать, фізіологічні особливості та патологічні стани) [180, 181].

Найчастіше в практичній судово-медичній експертизі для визначення ДНС користуються методом оцінки динаміки охолодження трупа [38-42, 122, 182]. Це один з корисних показників для оцінки часу смерті протягом перших 24 год. Посмертна крива охолодження тіла має сигмоподібну форму, що включає початкове плато з подальшими фазами швидкого та повільного охолодження. Фаза плато обумовлена метаболічними процесами та зазвичай триває від 0,5 до 1 год, але може зберігатися до 3-5 год [33-35]. Крива падіння температури визначалася відповідно до коефіцієнта охолодження Ньютона. На основі цих даних для оцінки ДНС за зміною температури тіла був розроблений “метод номограм”, що широко застосовується у вітчизняній і закордонній практиці [34]. Проте слід зауважити, що встановлені темпи охолодження тіла діють лише для певного кліматичного регіону, адже висока температура повітря сповільнює втрату тепла та може навіть підвищити посмертну температуру через швидке гниття. Також під час оцінки часу смерті за температурним методом слід враховувати масу тіла, кількість підшкірної жирової клітковини, наявність одягу та покриттів, температуру повітря та вологість, а також середовище, де тіло залишилося після смерті [3,

183].

Результати оцінки трупного залякання та трупних плям також залежать від значної кількості факторів: температура тіла, кліматичні умови, наявні передсмертні патологічні стани, інфекційні процеси, вік, м'язова маса та ступінь м'язової активності безпосередньо перед смертю. Все вищеперераховане викликає значну похибку визначення ДНС [5, 31, 121, 184]

Дослідження суправітальних реакцій дозволяють встановити межі посмертного інтервалу лише протягом кількох годин після смерті. Проте на їхні результати також впливають температура тіла та довілля, вживання певних лікарських засобів, наявність захворювань тощо [20, 22, 170, 171].

Через недостатню точність морфологічних методик світові наукові дослідження протягом десятиріч спрямовані на вивчення біохімічних методів встановлення ДНС, адже вони засновані на систематичних патофізіологічних змінах та є більш точними, оскільки вплив зовнішніх умов менший [174, 185, 186].

Проаналізувавши низку наукових праць, ми виявили, що значний інтерес для науковців представляють зміни СТ людини, зокрема вмісту K^+ і Na^+ залежно від ДНС [96, 113, 187]. Багатьма світовими вченими була проведена велика кількість біохімічних досліджень СТ в посмертному періоді, спрямованих на встановлення ключових даних, що забезпечать точне встановлення ДНС при різних патологічних станах [91, 115-117].

Відомо, що K^+ в організмі знаходиться переважно внутрішньоклітинно, тому підвищення його кількості в СТ зі збільшенням тривалості посмертного періоду пов'язане з вивільненням його з клітин сітківки та судинної оболонки [98, 113, 188, 189].

Згідно з даними науковців, кількість K^+ у СТ закономірно зростає паралельно до термінів ДНС [190]. Автори зазначають точність визначення ДНС 3-6 год у випадках раптової смерті, 6-12 год при механічних травмах і до 12 год при інших видах смерті [113]. Відповідно до даних J.M. Skeie, C.N.

Roubal, V.B. Mahajan [93], надійність вищеописаного методу дослідження зменшується зі збільшенням ДНС. Дослідження авторів показали, що рівень K^+ у СТ може варіювати між очима однієї та тієї ж людини в один і той же час. Крім того, супутні патологічні стани та фактори, що прискорюють розкладання, також можуть впливати на кількість K^+ у СТ [93]. У праці J. Ortmann і співавт. [96] рекомендовано враховувати географічні передумови та вік досліджуваного об'єкта. Науковці вказують на виявлений вплив температури навколишнього середовища на кількість K^+ СТ: чим вища середня температура навколишнього середовища, тим різкіший підйом K^+ . Також вчені зазначають, що вік об'єкта суттєво вплинув на збільшення кількості K^+ СТ: чим молодшим був суб'єкт, тим швидше відбувалося зростання. Також слід зазначити, що кількість K^+ у СТ буде змінюватися залежно від приладів, які використовували для вимірювання, що значно ускладнює інтерпретацію та порівняння отриманих результатів [191].

В отриманих нами результатах дослідження можливостей методу визначення кількості K^+ і Na^+ у СТ людини для судово-медичного встановлення ДНС простежується пряма залежність ступеня й інтенсивності підвищення кількості K^+ СТ від збільшення посмертного інтервалу. В усіх випадках у середньому в перші 6 год його кількість становила 7,1 ммоль/л, через 6-12 год – 9,4 ммоль/л, 12-18 год – 12,3 ммоль/л, 18-24 год – 15,8 ммоль/л, 24-36 год – 19,6 ммоль/л, 36-48 год – 24,7 ммоль/л. Діапазон коливань рівня K^+ збільшувався в пізніші години посмертного періоду. Значне зростання діапазону було відмічене після 20-годинного проміжку. Також було встановлено, що кількість Na^+ СТ в середньому коливалася між 120 та 200 ммоль/л. Проте, беручи до уваги, що графік результатів наближався до горизонтального, що не передбачає кореляції між ДНС та кількістю Na^+ і не є статистично значущим, а також значний розкид результатів Na^+ при різних значеннях ДНС, визначення даного електроліту не відіграє важливої ролі у встановленні ЧНС [192].

Отже, була визначена точність встановлення ДНС до 4-6 год на

інтервалі до 18 год від моменту смерті та 8-12 год у пізніші терміни. Ця тенденція також простежується в результатах світових наукових досліджень [192].

Велика кількість праць присвячена вивченню особливостей зміни різноманітних біохімічних параметрів БТ і середовищ організму людини (кров, скелетний і серцевий м'язи, підшлункова залоза та головний мозок, спинномозкова, перикардіальна, суглобова рідини тощо) на різних проміжках посмертного інтервалу [35, 47-50, 90, 91, 97, 193].

Проте, попри те, що визначення біохімічних змін у тілі людини покращує точність встановлення ДНС, деякі похибки в результатах можуть виникати завдяки наступним факторам: наявні захворювання, причина смерті, агональний період, фактори навколишнього середовища, а також властивості речовини, що досліджується [33, 40, 194]. Слід зазначити, що значна кількість біохімічних методів мають відносно низьку чутливість, високу собівартість, є трудомісткими та вимагають спеціальних навичок, тому не отримали широкого поширення в судово-медичній практиці [37,195].

Нині в судово-медичній практиці відомо багато методів дослідження БТ і рідин організму людини, але незалежно від величезної кількості проведених досліджень існує потреба в більш надійних і точних методах встановлення ДНС, особливо в міру збільшення тривалості цього інтервалу [59, 196-199].

Останніми роками інтенсивно впроваджуються в практику біофізичні методи дослідження БТ і середовищ організму людини з використанням лазерних поляризаційних технологій для вивчення оптичних змін їхньої мікроскопічної структури. Широке впровадження цього напрямку діагностики протягом останніх років зумовлено його перспективністю, оскільки він базується на використанні апаратної обчислювальної техніки, що дозволяє отримувати об'єктивні, точні, відтворювані дані, а отже, точніше визначати ДНС [200-208]. Відмітною особливістю біофізичних методів, що є важливим аспектом для судово-медичної експертизи, є висока чутливість поляризації

оптичних променів до тонких змін морфологічної структури БТ. Під час проходження поляризованого оптичного променя крізь біологічний об'єкт присутня багатократна зміна станів поляризації залежно від локальних особливостей структури певної БТ. Отже, класичне світлове мікроскопічне зображення являє собою складне поляризаційно-неоднорідне зображення, яке за допомогою спеціальних оптичних пристроїв може бути візуалізованим у вигляді поляризаційних мап (розподіл величини азимута й еліптичності поляризації). Саме на аналізі вказаних параметрів ґрунтується застосування лазерних поляризаційних методів у судовій медицині [209-214]

У роботах В.Т. Бачинського, О.Я. Ванчуляка, О.В. Павлюковича, М.С. Гараздюк [6-15, 162-165, 215, 216] продемонстровані можливості застосування комплексу поляризаційних методик для потреб практичної судової медицини, зокрема для встановлення давності утворення тілесних ушкоджень, причини смерті та давності її настання, на основі оцінки зміни властивостей лазерного випромінювання в результаті проходження через БТ та СО людини (шкіра, поперечно-посмуговані м'язи живота, міокард, тканина головного мозку, легень, печінки, нирок, селезінки, тонкої кишки, ліквор, кров, гематоми внутрішніх органів, зразки шкіри з ділянок саден).

Результатами наукових досліджень було встановлення часових діапазонів визначення ДНС з певною точністю для різних БТ і СО. Для м'язової тканини була встановлена точність визначення ДНС ± 45 хв на інтервалі 1-140 год, тканини мозку – ± 30 хв на часовому проміжку від 1 до 80 год [5, 7, 8]. Комплексне застосування сукупності поляризаційного, матричного, статистичного та кореляційного методів аналізу зображень плівок ліквору дозволяє встановити ДНС на часовому проміжку 14 год після настання смерті з точністю ± 15 хв при одночасному збереженні можливості визначення ДНС на довготривалому проміжку (40 год) з поступовим зменшенням точності встановлення до ± 45 хв [14, 15].

Провівши аналіз результатів, отриманих науковцями, ми виявили перспективність використання методів багатовимірної поляризаційної

мікроскопії для розширення часового інтервалу точного визначення ДНС на основі моніторингу посмертних змін СТ людини.

Було проведено дослідження діагностичних можливостей методу азимутально-інваріантної поляризаційної мікроскопії мікроскопічних зображень СТ людини в часовому моніторингу посмертних змін оптичних проявів полікристалічних мереж з метою визначення ДНС.

Було встановлено, що полікристалічна структура шарів СТ людини при різній ДНС зазнає певної трансформації. Зі збільшенням ДНС зменшується рівень оптичної анізотропії СТ – розупорядковується колагенова мережа та знижується концентрація білкових комплексів. Цей процес посмертних змін виявляється в зменшенні глибини фазової модуляції лазерного випромінювання полікристалічними структурами СТ. Статистично зростання ступеня посмертної деструкції полікристалічної складової СТ супроводжується зниженням середнього (SM_1) і дисперсії (SM_2), а зменшення рівня ЛД та ЦД СТ призводить до збільшення величини статистичних моментів 3-го та 4-го порядків, що характеризують розподіли ФП та ММІ мікроскопічних зображень шарів СТ людини [157-159].

Отже, методом азимутально-інваріантного Стокс-поляриметричного та Мюллер-матричного картографування поляризаційних мап і гістограм розподілів випадкових значень ФП та ММІ мікроскопічних зображень шарів СТ біоманекенів з різною ДНС встановлена часова динаміка зміни величини статистичних моментів 1-4-го порядків. Найбільшого діапазону змін набували статистичні моменти 3-го та 4-го порядків, що характеризують асиметрію й ексцес гістограм розподілів випадкових значень ФП (SM_3 – зростання в 1,93 раза, SM_4 – збільшення у 2,04 раза) та фазового ММІ (SM_3 – зростання в 1,9 раза, SM_4 – збільшення в 1,95 раза) мікроскопічних зображень шарів СТ.

Для методу Стокс-поляриметрії був встановлений діапазон чутливості 24 год з точністю визначення 50 хв, Мюллер-матричного картографування шарів СТ людини – 45 хв.

З огляду на те, що посмертні зміни полікристалічної структури СТ починаються зі змін структури дрібномасштабних протеїнових комплексів, максимальні відмінності між посмертними станами зразків СТ при різній ДНС слід шукати на дрібних масштабах зміни структури мап мікроскопічних зображень. Тому для покращення ефективності методу азимутально-інваріантної поляризаційної мікроскопії застосували масштабно-селективний вейвлет-аналіз координатних розподілів величини ФП та ММІ мікроскопічних зображень шарів СТ людини.

За результатами масштабно-селективного аналізу було встановлене збільшення діапазону чутливості методу до 36 год після настання смерті та підвищення точності визначення ДНС методом Стокс-поляриметрії до 45 хв, Мюллер-матричного картографування – 40 хв. Отже, можна констатувати, що масштабно-селективний аналіз зображень СТ покращує чутливість часового моніторингу посмертних змін оптично активних молекулярних сполук.

Відомо, що недоліком Стокс-поляриметричного та Мюллер-матричного картографування є погана відтворюваність методів внаслідок азимутальної залежності величини азимута й еліптичності поляризації від повороту зразка відносно напрямку опромінення або при зміні стану поляризації зондуючого пучка [136, 137]. Зазначені методики належать до випадку діагностики структури оптично-тонких біологічних шарів, що не деполаризують лазерне випромінювання, а лише перетворюють його. Водночас досягти такого наближення в реальній практиці судово-медичного експерименту практично неможливо. Оскільки СТ належить до частково деполаризуючих БТ, було проведене подальше дослідження зразків методом диференційного Мюллер-матричного картографування мап і гістограм розподілів випадкових значень ДЕПС та ДЕБФ шарів СТ людини з різною ДНС [207, 214].

Були визначені кількісні параметри відмінності між статистичними моментами 3-4-го порядків, що характеризують ДЕПС (SM_3 – зростання в

1,89 раза, SM_4 – збільшення в 1,96 раза) та ДЕБФ (SM_3 – зростання в 1,83 раза, SM_4 – збільшення в 1,82 раза) шарів СТ людини, встановлені діапазон чутливості 24 год та точність визначення ДНС 35 хв для методу диференційного Мюллер-матричного картографування полікристалічної складової, 40 хв – білкової фракції шарів СТ людини.

Для покращення ефективності методу диференційного Мюллер-матричного картографування застосували масштабно-селективний вейвлет-аналіз координатних розподілів величини ДЕПС та ДЕБФ шарів СТ людини [129, 166]. Було продемонстровано, що масштабно-селективний аналіз забезпечує збільшення діапазону чутливості до 36 год і підвищення точності визначення ДНС методом диференційного Мюллер-матричного картографування полікристалічної складової до 30 хв, білкової фракції до 35 хв.

Для вдосконалення способу встановлення ДНС була апробована методика поляризаційної томографії (реконструкції) розподілів середніх значень величини двоприменезаломлення полікристалічної та білкової складових зразків СТ людини для точного визначення ДНС. Цей метод забезпечує одержання діагностично-важливих взаємозв'язків між розподілами середніх значень параметрів анізотропії біологічних шарів і її просторовими трансформаціями. Шляхом оцінки посмертних змін поляризаційно-фазової структури лазерних зображень шарів СТ на основі Мюллер-матричного відтворення ЛД полікристалічної складової та ЦД білкової фракції шарів СТ людини з різною ДНС був встановлений діапазон чутливості 24 год та точність визначення 20 хв для методу поляризаційної томографії розподілів ЛД полікристалічної складової, 25 хв для ЦД білкової фракції шарів СТ.

Було експериментально встановлено, що найбільш динамічно змінюються значення статистичних моментів 3-4-го порядків, що характеризують розподіли ЛД полікристалічної складової та ЦД білкової фракції шарів СТ людини при різних значеннях ДНС.

Як і при застосуванні попередніх методик, актуальним є завдання покращення ефективності методу мікроскопічної поляризаційної томографії шарів СТ шляхом статистичного аналізу ЛД та ЦД на різних масштабах вейвлет-функції. Були визначені кількісні параметри відмінності між статистичними моментами 3-4-го порядків, що характеризують розподіли вейвлет-коефіцієнтів ЛД (SM_3 – зростання у 2,16 раза, SM_4 – збільшення в 1,91 раза) та ЦД (SM_3 – зростання у 2,93 раза, SM_4 – збільшення у 2,72 раза) шарів СТ людини у встановленні ДНС. Було показано, що масштабно-селективний аналіз забезпечує зростання діапазону чутливості до 36 год і підвищення точності визначення ДНС для методу поляризаційної томографії розподілів ЛД полікристалічної складової шарів СТ до 15 хв, ЦД білкової фракції – 20 хв [218, 219].

Новим кроком у розвитку методів оптичної діагностики біологічних шарів стало успішне поєднання поляриметричного та флуоресцентного методів. Спектрально-селективна лазерна флуоресцентна мікроскопія є однією з найчутливіших методик завдяки оцінці концентраційних параметрів молекул (чим більша кількість флуорофорів, тим вища інтенсивність флуоресценції) [124, 219, 220]. Явище флуоресценції формується внаслідок поглинання оптичного випромінювання різноманітними біологічними сполуками з подальшим перевипромінюванням в інші спектральні ділянки [73, 220-222]. Завдяки різноорієнтованій просторовій будові фібрил флуорофорів виникають різні напрями коливань окремих діапазонів флуоресценції, відповідно до цього формується розподіл азимутів поляризації флуоресцентного випромінювання, що має важливе діагностичне значення для оцінки посмертних змін.

Для розширення функціональних можливостей і підвищення точності визначення ДНС був апробований метод спектрально-селективної лазерної флуоресцентної мікроскопії зображень СТ людини. Була досліджена часова динаміка посмертних змін величини статистичних моментів 3-4-го порядків, що характеризують розподіли випадкових значень інтенсивності флуоресценції аморфної ($\lambda_1=0,55$ мкм) і полікристалічної ($\lambda_2=0,45$ мкм)

складових шарів СТ людини з різною ДНС.

Був встановлений діапазон чутливості 36 год з точністю визначення ДНС 20 хв для методу спектрально-селективної лазерної флуоресцентної мікроскопії аморфної складової та 15 хв для полікристалічної білкової фракції шарів СТ людини.

У роботі був запропонований новий алгоритм аналітичного визначення ДНС. В його основу були покладені фундаментальні результати, одержані науковцями школи В.Т. Бачинського ВДНЗ України “Буковинський державний медичний університет” у вирішенні актуального завдання – встановлення сукупності диференційних судово-медичних критеріїв для об’єктивного визначення ДНС. Зокрема було виявлено, що часова динаміка зміни морфологічної структури біологічних тканин у посмертному періоді супроводжується динамічними закономірностями зміни структури їхніх поляризаційних зображень, що є підґрунтям для встановлення ДНС.

Нами було доведено, що комплексне застосування сукупності методів азимутально-інваріантної поляризаційної, диференційної Мюллер-матричної, мікроскопічної поляризаційної томографії та спектрально-селективної автофлуоресцентної мікроскопії зображень шарів СТ дозволяє визначати ДНС в термін до 36 год при похибці 15-20 хв.

Досліджена сукупність методів лазерного аналізу поляризаційних зображень СТ дозволяє проводити точне встановлення ДНС на “коротко-” та “довготривалому” проміжках.

Спільним знаменником аналізу й обґрунтування вищенаведених експериментальних даних виявився практично лінійний характер часової зміни величини статистичних моментів 1-4-го порядків, що характеризують розподіли об’єктивних параметрів посмертних лазерних мікроскопічних зображень гістологічних зрізів БТ. Даний факт був покладений нами в основу узагальнення результатів науковців школи В.Т. Бачинського в сенсі одержання аналітичного алгоритму визначення та збільшення точності встановлення ДНС при збереженні величини часових інтервалів на основі моніторингу зміни статистичної

структури посмертних мікроскопічних зображень СТ.

Було проведено обґрунтування оптичної моделі СТ з фундаментального (суперпозиція ізотропно-анізотропних властивостей) і прикладного (визначення ДНС) поглядів. Наведені детальний опис і приклади методик експериментальних вимірювань.

ВИСНОВКИ

1. У роботі теоретично обґрунтований та експериментально встановлений комплекс нових судово-медичних методів і об'єктивних критеріїв установаження давності настання смерті за даними азимутально-інваріантної поляризаційної, диференційної Мюллер-матричної, мікроскопічної поляризаційної томографії та спектрально-селективної автофлуоресцентної мікроскопії шляхом статистичного та вейвлет-аналізу часової динаміки зміни оптично-анізотропної та біохімічної структури шарів скловидного тіла людини.

2. Визначення кількості K^+ і Na^+ скловидного тіла в різні часові проміжки після смерті підтвердило можливість встановлення давності її настання з точністю до 4-6 год на інтервалі до 18 год і з точністю 8-12 год у пізніші терміни посмертного періоду.

3. Судово-медичними критеріями діагностики давності настання смерті є:

- за даними масштабно-селективного аналізу діапазону зміни асиметрії (SM_3 від 0,43 до 1,27) та ексцесу (SM_4 від 0,34 до 1,38) методом азимутально-інваріантного Мюллер-матричного картографування мап значень фазового Мюллер-матричного інваріанта шарів скловидного тіла людини на часовому проміжку 36 год після настання смерті з точністю встановлення до 40 хв;
- методом диференційного Мюллер-матричного картографування полікристалічної складової шарів скловидного тіла людини шляхом оцінювання часової динаміки зміни величини асиметрії та ексцесу (SM_3 від 0,24 до 1,43; SM_4 від 0,33 до 1,79) з діапазоном чутливості 36 год і точністю визначення 30 хв;
- методом мікроскопічної поляризаційної томографії реконструкції лінійного двопронезаломлення полікристалічної складової шарів скловидного тіла людини встановлений діапазон змін статистичних

моментів 3-4-го порядків (SM_3 від 0,31 до 1,71; SM_4 від 0,38 до 2,39), що забезпечило точність визначення давності настання смерті до 14-16 хв;

- методом спектрально-селективної лазерно-індукованої автофлуоресцентної мікроскопії полікристалічної складової шарів скловидного тіла людини з встановленням статистичних моментів 3-4-го порядків, що характеризують розподіли інтенсивності автофлуоресценції в спектральному діапазоні $\lambda_2=0,45$ мкм (асиметрія – 0,22-1,27; ексцес – 0,11-1,91), що дозволяє проводити визначення давності настання смерті з точністю 15-17 хв на часовому інтервалі 36 год.

4. Визначено, що застосування масштабного-селективного вейвлет-аналізу забезпечує покращення операційних характеристик методів азимутально-інваріантної поляризаційної, диференційної Мюллер-матричної, мікроскопічної поляризаційної томографії й автофлуоресцентної мікроскопії шарів скловидного тіла людини для посмертної діагностики давності настання смерті.

5. Комплексне порівняльне дослідження інформативності сукупності систем багатомірної поляризаційної та автофлуоресцентної мікроскопії шляхом статистичного та вейвлет-аналізу часової динаміки зміни оптично-анізотропної та біохімічної структури частково деполаризуючих шарів скловидного тіла в діагностиці часу настання смерті виявило найбільш інформативні методики:

- масштабного-селективного вейвлет-аналізу координатних розподілів мап поляризаційно-відтвореного лінійного двопронезаломлення колагенових мереж полікристалічної складової шарів скловидного тіла людини (SM_3 від 0,31 до 1,71; SM_4 від 0,38 до 2,39);
- спектрально-селективної лазерної флуоресцентної мікроскопії полікристалічної фракції шарів скловидного тіла людини (SM_3 – 0,22-1,27; SM_4 – 0,11-1,91).

ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

Для встановлення давності настання смерті, запропонований наступний алгоритм:

1. При проведенні експертизи трупа відібрати скловидне тіло шляхом проколу шприцом в ділянці зовнішнього кута ока на відстані 5-6 мм від склеро-рогівкового з'єднання.

2. Для подальшого дослідження приготувати препарати скловидного тіла методом накрапання на оптично однорідне скло вилучених зразків та висушування краплі при кімнатній температурі.

3. Отримані шари скловидного тіла розташувати в оптичній схемі стокс-поляриметра між поляризаційним опромінювачем і мікрооб'єктивом.

4. Шари скловидного тіла послідовно зондувати лазерним пучком з наступними типами поляризації: лінійна з азимутами 0° , 90° , $+45^\circ$ і права циркуляція (\otimes).

5. Реєстрацію проводити рекомендуємо за допомогою CCD-камери.

6. З використанням методик азимутально-інваріантної поляризаційної, диференційної Мюллер-матричної, мікроскопічної поляризаційної томографії та спектрально-селективної автофлуоресцентної мікроскопії за допомогою персонального комп'ютера обчислити набір статистичних моментів 1-4-го порядків, що характеризують мапи експериментальних параметрів.

7. Побудувати номограми залежностей величини статистичних моментів $SM_{i=1;2;3;4}$ (експериментальні дані) від величини давності настання смерті.

8. Одержані залежності для кожного статистичного моменту $SM_{i=1;2;3;4}$ (експериментальні дані) апроксимувати методом найменших квадратів і на цій основі знайти відповідні апроксимувальні криві $M(\gamma)$.

9. Аналізувати одержані криві $M(\gamma)$ та визначити наявність лінійних ($\gamma_i = \text{const}$) ділянок і кути їхнього нахилу γ_i .

10. Шляхом лінійної апроксимації встановити “прижиттєву $\tau=0$ ” величину SM_i^0 (експериментальні дані).

Для визначення давності настання смерті використати наступне співвідношення:

$$T_x(\text{ДНС}) = \frac{SM_i^{(1)} - SM_i^{(0)}}{SM_i^{(2)} - SM_i^{(1)}} (T_2 - T_1),$$

де τ_1 – час початку вимірювань величини статистичного моменту $SM_i^{(1)}$;

τ_2 – час завершення вимірювань лінійної зміни величини статистичного моменту $SM_i^{(1)}$;

γ – кут нахилу лінійної ділянки інформаційної залежності $SM_i(\tau)$.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Madea B, editor. Estimation of the time since death. 3rd ed. Boca Raton: CRC Press; 2015. 282 p.
2. De-Giorgio F, Grassi S, d'Aloja E, Pascali VL. Post-mortem ocular changes and time since death: Scoping review and future perspective. *Leg Med (Tokyo)*. 2021 May;50:101862. doi: [10.1016/j.legalmed.2021.101862](https://doi.org/10.1016/j.legalmed.2021.101862)
3. Madea B. Methods for determining time of death. *Forensic Sci Med Pathol*. 2016 Dec;12(4):451-85.
4. Мішалов ВД, Михайличенко БВ, Завальнюк АХ, Войченко ВВ, Юхимець ІО, укладачі. Визначення давності настання смерті у судово-медичній експертизі: метод. рек. Київ: НМАПО ім. П.Л. Шупіка; 2014. 47 с.
5. Angelsky OV, Polyanskii PV, Mokhun II, Zenkova SYu, Bogatyryova HV, Felde ChV, et al. Optical measurements: polarization and coherence of light fields. In: Cocco L, editor. *Modern metrology concerns*. IntechOpen; 2012. p. 263-316.
6. Бачинський ВТ, Ванчуляк ОЯ, Сивокоровська А-ВС, Гараздюк МС, Паливода ОГ. Перспективи використання лазерних поляриметричних методів дослідження біотканин та середовищ організму людини. *Акт. проблеми сучас. медицини: Вісн. Укр. мед. стоматол. акад.* 2015;15(3 Ч 2):193-8.
7. Vanchuliak O, Bachinskiy V, Ushenko A. The method of spectrally selective laser Mueller matrix polarimetry for verification of acute coronary insufficiency. In: Hajek P, Sahota T, Jones MA, editors. *CBU International Conference Proceedings 2016 Innovations in Science and Education*; 2016 Mar 23-25; Prague, Czech Republic. Vol. 4. Prague; 2016. p. 706-10. doi: [10.12955/cbup.v4.836](https://doi.org/10.12955/cbup.v4.836)
8. Bachynskiy VT, Boychuk TM, Vanchuliak OY, Ushenko OG. Lazer-polarimetric methods of investigation of biological tissues in forensic

medicine-perspectives, realities and the future. Клін. та експерим. патологія. 2014;13(3):13-22. doi:[10.24061/1727-4338.XIII.3.49.2014.3](https://doi.org/10.24061/1727-4338.XIII.3.49.2014.3)

9. Ванчуляк ОЯ. Можливості використання фрактального аналізу лазерних зображень міокарда для діагностики гострої коронарної недостатності. Клін. та експерим. патологія. 2011;10(2 Ч 1):9-12.
10. Павлюкович ОВ, Бачинський ВТ, Мішалов ВД, Ванчуляк ОЯ. Дослідження статистичної структури деполяризації лазерного випромінювання тканиною печінки для диференціації настання смерті в результаті механічної асфіксії або крововтрати. Укр. мед. альманах. 2010;13(1):101-3.
11. Павлюкович ОВ. Динаміка зміни ступеня деполяризації лазерного випромінювання різних довжин хвиль, розсіяного тканиною печінки, для визначення причин та давності настання смерті. Клін. та експерим. патологія. 2010;9(1):55-9.
12. Бачинський В, Павлюкович О, Ванчуляк О. Вивчення поляризаційних мап тканини міокарда для визначення причини та давності настання смерті внаслідок механічної асфіксії або крововтрати. Буков. мед. вісн. 2010;14(1):110-3.
13. Павлюкович ОВ. Визначення давності настання смерті при деяких видах механічної асфіксії та масивній крововтраті методами лазерної поляриметрії [автореферат]. Київ: Нац. мед. акад. післядиплом. освіти ім. П.Л. Шупика; 2011. 20 с.
14. Vachynskiy VT, Garazdiuk M, Vanchuliak O, Bezhenar I, Garazdiuk O. Post mortem interval estimation: features of cerebrospinal fluid films autofluorescent laser polarimetry. Folia Societatis Medicinae Legalis Slovacae. 2016;6(2):67-72.
15. Бачинський ВТ, Ванчуляк ОЯ, Гараздюк МС, Гараздюк ОІ, Паливода ОГ. Актуальність дослідження ліквору в судово-медичній практиці. Суд.-мед. експертиза. 2015;(2):28-35.
16. Ushenko VO, Olar OV, Ushenko YuO, Gorsky MP, Soltys IV. Polarization

- correlometry of polycrystalline films of human liquids in problems of forensic medicine. Proc SPIE. 2015;9809, Twelfth International Conference on Correlation Optics:98091B.
17. Ushenko VO, Vanchuliak O, Sakhnovskiy MYu, Dubolazov OV, Grygoryshyn P, Soltys IV, et al. System of Mueller matrix polarization correlometry of biological polycrystalline layers. Proc SPIE. 2017;10352, Biosensing and Nanomedicine X:103520U. doi: [10.1117/12.2273789](https://doi.org/10.1117/12.2273789)
 18. Hauther KA, Cobaugh KL, Jantz LM, Sparer TE, DeBruyn JM. Estimating time since death from postmortem human gut microbial communities. J Forensic Sci. 2015 Sep;60(5):1234-40. doi: [10.1111/1556-4029.12828](https://doi.org/10.1111/1556-4029.12828)
 19. Javan GT, Finley SJ, Can I, Wilkinson JE, Hanson JD, Tarone AM. Human thanatomicrobiome succession and time since death. Sci Rep. 2016 Jul 14;6:29598. doi: [10.1038/srep29598](https://doi.org/10.1038/srep29598)
 20. Madea B, editor. Handbook of forensic medicine. Chichester: Wiley-Blackwell; 2014. xxiv, 1288 p.
 21. Young ST, Wells JD, Hobbs GR, Bishop CP. Estimating postmortem interval using RNA degradation and morphological changes in tooth pulp. Forensic Sci Int. 2013 Jun 10;229(1-3):163.e1-6. doi: [10.1016/j.forsciint.2013.03.035](https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2013.03.035)
 22. Гладких ДБ. Судово-медична діагностика давності настання смерті за суправітальною реакцією зіниць [автореферат]. Київ: Нац. мед. акад. післядиплом. освіти ім. П.Л. Шупика; 2015. 19 с.
 23. Гуров ОМ, Кондратенко ВЛ, Бурчинський ВГ, Гладких ДБ. Сучасний алгоритм судово-медичної діагностики давності настання смерті у ранній постмортальний період: метод. рек. Київ; 2017. 34 с.
 24. Савка І, Козань Н, Дунаєв О, Олійник І. Встановлення точних критеріїв діагностики давності настання смерті в судово-медичній практиці. Судово-медична експертиза. 2021; (1):18-24.
 25. Wilk LS, Hoveling RJ, Edelman GJ, Hardy HJ, van Schouwen S, van Venrooij H, Aalders MC. Reconstructing the time since death using noninvasive thermometry and numerical analysis. Science advances. 2020

May 29;6(22):eaba4243. doi: [10.1126/sciadv.aba4243](https://doi.org/10.1126/sciadv.aba4243)

26. Мішалов ВД, Войченко ВВ, Петрошак ОЮ, Дунаєв ОВ, Сулоєв КН, Костенко ЄЯ, та ін. Судово-медична оцінка особливостей біологічних тканин людини стосовно визначення давності настання смерті і заподіяння механічних ушкоджень. Суд.-мед. експертиза. 2019;(1):54-6.
27. Ольховський ВО, Григорян ЕК, Фурман ОО, Кожушко ІО. Судово-медична оцінка післясмертних змін при визначенні давності настання смерті. Буков. мед. вісн. 2019;23(2):109-13.
28. Мішалов ВД, Дунаєв ОВ, Костенко ЄЯ, Козлов СВ. Перспективи дослідження біологічних рідин для визначення давності смерті. Укр. журн. медицини, біології та спорту. 2019;4(4):218-23.
29. Григорян ЕК. Контент аналіз судово-медичної оцінки давності настання смерті. Укр. журн. медицини, біології та спорту. 2019;4(6):265-70.
30. Wang Q, Lin HC, Xu JR, Huang P, Wang ZY. Current Research and Prospects on Postmortem Interval Estimation. *Fa yi xue za zhi*, 2018; 34(5):459-67. doi: [10.12116/j.issn.1004-5619.2018.05.002](https://doi.org/10.12116/j.issn.1004-5619.2018.05.002)
31. Madea B, Knight B. Postmortem lividity: Hypostasis and timing of death. *Estimation of the time since death*. 2016;(3):59-62.
32. Hayman J, Oxenham M. *Estimation of the Time Since Death: Current Research and Future Trends*, 2020: 181-96.
33. Ruttly GN. The estimation of the time since death using temperatures recorded from the external auditory canal. Part II: Using single temperatures from this site to estimate the time since death with consideration of environmental or body "factors" that could affect the estimation. *Forensic Sci Med Pathol*. 2005 Jun;1(2):113-23.
34. Kaliszan M, Wujtewicz M. Eye temperature measured after death in human bodies as an alternative method of time of death estimation in the early post mortem period. A successive study on new series of cases with exactly known time of death. *Leg Med (Tokyo)*. 2019 May;38:10-3.
35. Cordeiro C, Ordonez-Mayan L, Lendoiro E, Febrero-Bande M, Vieira DN,

- Munoz-Barus JJ. A reliable method for estimating the postmortem interval from the biochemistry of the vitreous humor, temperature and body weight. *Forensic Sci Int.* 2019 Feb;295:157-68.
36. Hubig M, Muggenthaler H, Mall G. Confidence intervals in temperature-based death time determination. *Leg Med (Tokyo).* 2015 Jan;17(1):48-51.
 37. Weiser M, Erdmann B, Schenkl S, Muggenthaler H, Hubig M, Mall G, et al. Uncertainty in temperature-based determination of time of death. *Heat Mass Transfer.* 2018;54:2815-26.
 38. Laplace K, Baccino E, Peyron PA. Estimation of the time since death based on body cooling: a comparative study of four temperature-based methods. *Int J Legal Med.* 2021 Nov;135(6):2479-87.
 39. Laplace K, Baccino E, Peyron PA. Is infrared thermometry suitable for the determination of the time since death based on ear temperature? A comparative study of two measurement methods. *Int J Legal Med.* 2021 Jul;135(4):1669-74.
 40. Baccino E, Cattaneo C, Jouineau C, Poudoulec J, Martrille L. Cooling rates of the ear and brain in pig heads submerged in water: implications for postmortem interval estimation of cadavers found in still water. *Am J Forensic Med Pathol.* 2007 Mar;28(1):80-5.
 41. Henssge C, Madea B. Estimation of the time since death in the early post-mortem period. *Forensic Sci Int.* 2004 Sep 10;144(2-3):167-75.
 42. Sharma P, Kabir CS. A simplified approach to understanding body cooling behavior and estimating the postmortem interval. *Forensic Sci.* 2022;2:403-16.
 43. Gonnade U, Chavan KD. Study of early postmortem changes in skin for estimation of postmortem interval at pims, Ioni. *J Indian Acad Forensic Med.* 2018;40(4):396-400.
 44. Gumus A, Gumus B, Ozer E, Yucetas E, Yucetas U, Duz E, et al. Evaluation of the postmortem glucose and glycogen levels in hepatic, renal, muscle, and brain tissues: is it possible to estimate postmortem interval using these

- parameters? *J Forensic Sci.* 2016 Jan;61 Suppl 1:S144-9.
45. Madea B. Is there recent progress in the estimation of the postmortem interval by means of thanatochemistry? *Forensic Sci Int.* 2005 Jul 16;151(2-3):139-49.
 46. Salam HA, Shaat EA, Aziz MHA, MoneimSheta AA, Hussein HASM. Estimation of postmortem interval using thanatochemistry and postmortem changes. *Alex J Med.* 2012 Dec;48(4):335-44.
 47. Donaldson AE, Lamont IL. Estimation of post-mortem interval using biochemical markers. *Aust J Forensic Sci.* 2014;46(1):8-26.
 48. Palmiere C, Mangin P. Postmortem chemistry update part I. *Int J Legal Med.* 2012 Mar;126(2):187-98.
 49. Belsey SL, Flanagan RJ. Postmortem biochemistry: current applications. *J Forensic Leg Med.* 2016 Jul;41:49-57.
 50. Ortmann J, Doberentz E, Madea B. Immunohistochemical methods as an aid in estimating the time since death. *Forensic Sci Int.* 2017 Apr;273:71-9.
 51. De-Giorgio F, Ciasca G, Fecondo G, Mazzini A, De Spirito M, Pascali V. L. Estimation of the time of death by measuring the variation of lateral cerebral ventricle volume and cerebrospinal fluid radiodensity using postmortem computed tomography. *International Journal of Legal Medicine.* 2021;135(6):2615-23.
 52. Meurs J, Krap T, Duijst W. Evaluation of postmortem biochemical markers: Completeness of data and assessment of implication in the field. *Science & Justice.* 2019;59(2): 177-80. doi: [10.1016/j.scijus.2018.09.002](https://doi.org/10.1016/j.scijus.2018.09.002)
 53. Kumar S, Verma AK. Estimation of postmortem interval using the data of insulin level in the cadaver's blood. *Data Brief.* 2016;7:354-6. doi: [10.1016/j.dib.2016.02.059](https://doi.org/10.1016/j.dib.2016.02.059)
 54. Pittner S, Monticelli FC, Pfisterer A, Zissler A, Sanger AM, Stoiber W, Steinbacher P. Postmortem degradation of skeletal muscle proteins: A novel approach to determine the time since death. *Int. J. Legal Med.* 2016;130:421-31. doi: [10.1007/s00414-015-1210-6](https://doi.org/10.1007/s00414-015-1210-6)
 55. Prieto-Bonete G, Pérez-Carceles MD, Maurandi-López A, Pérez-Martínez C,

- Luna A. Association between protein profile and postmortem interval in human bone remains. *J. Proteomics*. 2019;192:54-63. doi: [10.1016/j.jprot.2018.08.008](https://doi.org/10.1016/j.jprot.2018.08.008)
56. Dubois LM, Perrault KA. Biochemical methods of estimating time since death. *Estimation of the Time Since Death: Current Research and Future Trends*. London: Elsevier, 2020. 268 p.
 57. Aiello D, Luca F, Siciliano C, Frati P, Fineschi V, Rongo R, Napoli A. Analytical strategy for MS-based thanatochemistry to estimate postmortem interval. *Journal of Proteome Research*. 2021; 20(5): 2607-17. doi: [10.1021/acs.jproteome.0c01038](https://doi.org/10.1021/acs.jproteome.0c01038)
 58. Borges BS, Dionisio TJ, Santos CF, da Silva RHA. Post-mortem interval and its relation with the RNA degradation in the dental pulp in submerged teeth. *Arab J Forensic Sci Forensic Med*. 2021;3(1):68-76.
 59. Scrivano S, Sanavio M, Tozzo P, Caenazzo L. Analysis of RNA in the estimation of post-mortem interval: a review of current evidence. *Int J Legal Med*. 2019 Nov;133(6):1629-40.
 60. Williams T, Soni S, White J, Can G, Javan GT. Evaluation of DNA degradation using flow cytometry: promising tool for postmortem interval determination. *Am J Forensic Med Pathol*. 2015 Jun;36(2):104-10.
 61. Pittner S, Ehrenfellner B, Zissler A, Racher V, Trutschnig W, Bathke AC, et al. First application of a protein-based approach for time since death estimation. *Int J Legal Med*. 2017 Mar;131(2):479-83.
 62. Metcalf JL, Wegener Parfrey L, Gonzalez A, Lauber CL, Knights D, Ackermann G, et al. A microbial clock provides an accurate estimate of the postmortem interval in a mouse model system. *Elife*. 2013 Oct 15;2:e01104.
 63. Roy R. Potential use of microbiota as a forensics tool to determine a post-mortem interval. *Duluth J Adv Writ*. 2020;1:13-22.
 64. Dash HR, Das S. Thanatomicrobiome and epinecrotic community signatures for estimation of post-mortem time interval in human cadaver. *Appl Microbiol Biotechnol*. 2020 Nov;104(22):9497-512.

65. Aragonés AM, Tapia-Paniagua ST. Review of cadaveric dating methods and new perspectives from the necrobiome. *Span J Leg Med.* 2022;48(1):30-5.
66. Tuccia F, Zurgani E, Bortolini S, Vanin S. Experimental evaluation on the applicability of necrobiome analysis in forensic veterinary science. *Microbiology Open.* 2019;8(9):e00828. doi:10.1002/mbo3.828
67. Speruda M, Piecuch A, Borzęcka J, Kadej M, Ogórek R. Microbial traces and their role in forensic science. *Journal of Applied Microbiology.* 2022;132(4):2547-57. doi:10.1111/jam.15426
68. Zhou W, Bian Y. Thanatomicrobiome composition profiling as a tool for forensic investigation. *Forensic Sciences Research.* 2018;3:105-10. doi:10.1080/20961790.2018.1466430
69. Oliveira M, Amorim A. Microbial forensics: new breakthroughs and future prospects. *Applied Microbiology and Biotechnology.* 2018;102:10377-91. doi:10.1007/s00253-018-9414-6
70. Javan GT, Finley SJ, Tuomisto S, Hall A, Benbow ME, Mills D. An interdisciplinary review of the thanatomicrobiome in human decomposition. *Forensic Science, Medicine and Pathology.* 2019;15:75-83.
71. Jat SS, Punia RK, Khichi MK, Sharma S. Effect of time since death on morphological changes of red and white blood cells-an autopsy based study at S.M.S. Medical College & Attached Group of Hospitals, Jaipur during the year 2016-2017. *Medico Legal Update.* 2019;19(2):145-50.
72. Wehner F, Wehner HD, Subke J. Delimitation of the time of death by immunohistochemical detection of calcitonin. *Forensic Sci Int.* 2001 Nov 1;122(2-3):89-94.
73. Estracanhalli ES, Kurachi C, Bagnato VS. Tissue fluorescence spectroscopy in death time estimation. In: Turk EE, editor. *Forensic Pathology Reviews.* Vol. 6. New York: Humana Press; 2011. p. 239-58.
74. Kimura A, Ishida Y, Nosaka M, Ishigami A, Yamamoto H, Kuninaka Y, et al. Application and limitation of a biological clock-based method for estimating time of death in forensic practices. 2022; 1-29. doi:10.21203/rs.3.rs-

2261620/v1

75. Sangwan A, Singh SP, Singh P, Gupta OP, Manas A, Gupta S. Role of molecular techniques in PMI estimation: An update. *Journal of Forensic and Legal Medicine*. 2021;83:102251.
76. Lu XJ, Li J, Wei X, Li N, Dang LH, An GS, Sun JH. A novel method for determining postmortem interval based on the metabolomics of multiple organs combined with ensemble learning techniques. *International Journal of Legal Medicine*. 2022; 1-13. doi:10.1007/s00414-022-02844-8
77. Patel P, Markx GH. Dielectric measurement of cell death. *Enzyme Microb Technol*. 2008;43(7):463-70.
78. Sapienza D, Asmundo A, Silipigni S, Barbaro U, Cinquegrani A, Granata F, et al. Feasibility study of MRI muscles molecular imaging in evaluation of farly post-mortem interval. *Sci Rep*. 2020 Jan 15;10(1):392.
79. Vanezis P, Trujillo O. Evaluation of hypostasis using a colorimeter measuring system and its application to assessment of the post-mortem interval (time of death). *Forensic Sci Int*. 1996 Mar 5;78(1):19-28.
80. Da Cunha EC, Ordóñez-Mayán L, Vázquez MLR, Vieira DN, Febrero-Bande M, Barús JIM, et al. The biochemistry of the vitreous humour in estimating the post-mortem interval—a review of the literature, and use in forensic practice in Galicia (northwestern Spain). *Forensic Science, Medicine and Pathology*. 2022; 1-30. doi:10.1007/s12024-022-00539-5
81. Duan WC, Lan LM, Guo YD, Zha L, Yan J, Ding YJ, Cai JF. Research Progress of Vitreous Humor Detection Technique on Estimation of Postmortem Interval. *Fa yi xue za zhi*. 2018;34(1):49-54. doi: 10.3969/j.issn.1004-5619.2018.01.010
82. Paul PM, Sneha S, Pradhan P, Kumar PS. Estimation of post-mortem interval from vitreous potassium: An autopsy based study. *Journal of Indian Academy of Forensic Medicine*. 2021;43(4):370-3.
83. Yang MZ, Zhang TY, Li HJ, Yang TT, Ding ZJ, Liu Q. Research Progress on Postmortem Interval Estimation by Vitreous Humor. *Fa yi xue za zhi*. 2018;

- 34(2): 165-70. doi: 10.3969/j.issn.1004-5619.2018.02.013
84. Pigaiani N, Bertaso A, De Palo EF, Bortolotti F, Tagliaro F. Vitreous humor endogenous compounds analysis for post-mortem forensic investigation. *Forensic Sci Int.* 2020 May;310:110235.
 85. Guidoboni G, Harris A, Sacco R, editors. *Ocular fluid dynamics: anatomy, physiology, imaging techniques, and mathematical modeling.* Cham: Birkhauser; 2019. XIV, 612 p.
 86. Siggers JH, Ethier CR. Fluid mechanics of the eye. *Annual Review of Fluid Mechanics.* 2012; 44(1):347-72.
 87. Sebag J, editor. *Vitreous: in health and disease.* New York: Springer; 2014. XXVIII, 925 p.
 88. Kishi S. Vitreous anatomy and the vitreomacular correlation. *Japanese journal of ophthalmology.* 2016; 60(4): 239-73. doi:10.1007/s10384-016-0447-z
 89. Giuliari GP, Bracha P, Sperry AB, Ciulla T. Vitreous Physiology. In: *Ocular Fluid Dynamics.* Birkhäuser, Cham. 2019; 267-75. doi:10.1007/978-3-030-25886-3_10
 90. Kokavec J, Min SH, Tan MH, Gilhotra JS, Newland HS, Durkin SR, et al. Biochemical analysis of the living human vitreous. *Clin Exp Ophthalmol.* 2016 Sep;44(7):597-609.
 91. Sebag J, Yee KMP. Chapter 16. Vitreous: from biochemistry to clinical relevance. In: Tasman W, Jaeger EA, editors. *Duane's ophthalmology [Internet]. Foundations Vol. 1.* Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2007 [cited 2022 Oct 19]. Available from: <http://www.oculist.net/downat0502/prof/ebook/duanes/pages/v7/v7c016.htm>
1
 92. Ishikawa AA, Bordin DM, de Campos EG, Blanes L, Doble P, De Martinis BS. A gas chromatography-mass spectrometry method for toxicological analysis of MDA, MDEA and MDMA in vitreous humor samples from victims of car accidents. *J Anal Toxicol.* 2018 Nov 1;42(9):661-6.

93. Skeie JM, Roybal CN, Mahajan VB. Proteomic insight into the molecular function of the vitreous. *PLoS One*. 2015 May 28;10(5):e0127567.
94. McNeil AR, Gardner A, Stables S. Simple method for improving the precision of electrolyte measurements in vitreous humor. *Clin Chem*. 1999 Jan;45(1):135-6.
95. Ang JL, Collis S, Dhillon B, Cackett P. The eye in forensic medicine: a narrative review. *Asia Pac J Ophthalmol (Phila)*. 2021 Sep 14;10(5):486-94.
96. Ortmann J, Markwerth P, Madea B. Precision of estimating the time since death by vitreous potassium – comparison of 5 different equations. *Forensic Sci Int*. 2016 Dec;269:1-7.
97. Madea B, Musshoff F. Postmortem biochemistry. *Forensic Sci Int*. 2007 Jan 17;165(2-3):165-71.
98. Patel UP, Patel J, Prajapati P, Govekar G. A study to evaluate of time since death from potassium level of vitreous humour. *Nat J Med Res*. 2016;6(3):255-8.
99. Murthy AS, Das S, Thazhath HK, Chaudhari VA, Adole PS. The effect of cold chamber temperature on the cadaver's electrolyte changes in vitreous humor and plasma. *J Forensic Leg Med*. 2019 Feb;62:87-91.
100. Jashnani KD, Kale SA, Rupani AB. Vitreous humor: biochemical constituents in estimation of postmortem interval. *J Forensic Sci*. 2010 Nov;55(6):1523-7.
101. Coe JI, Apple FS. Variations in vitreous humor chemical values as a result of instrumentation. *J Forensic Sci*. 1985 Jul;30(3):828-35.
102. Byard RW, Summersides G. Vitreous humor sodium levels in immersion deaths. *J Forensic Sci*. 2011 May;56(3):643-4.
103. Ave MT, Ordóñez-Mayán L, Camiña M, Febrero-Bande M, Muñoz-Barús JI. Estimation of the post-mortem interval: Effect of storage conditions on the determination of vitreous humour [K⁺]. *Science & Justice*. 2021; 61(5):597-602.
104. Focardi M, Lanzilao L, Bonari A, Lazzeretti M, Lorubbio M, Ognibene A, et al. Improvement in estimation of time since death by albumin and potassium

concentrations in vitreous humor. *Forensic Science International*. 2020;314:110393. doi:[10.1016/j.forsciint.2020.110393](https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2020.110393)

105. Penkova AN, Zhang S, Humayun MS, Fraser S, Moats R, Singh Sadhal S. Measurement of the hydraulic conductivity of the vitreous humor. *J Porous Media*. 2020;23(2):195-206.
106. Gottardo R, Palacio C, Shestakova KM, Moskaleva NE, Bortolotti F, Tagliaro F. A new method for the determination of ammonium in the vitreous humour based on capillary electrophoresis and its preliminary application in thanatochemistry. *Clin Chem Lab Med*. 2019 Mar 26;57(4):504-9.
107. Siddamsetty AK, Verma SK, Kohli A, Puri D, Singh A. Estimation of time since death from electrolyte, glucose and calcium analysis of postmortem vitreous humour in semi-arid climate. *Med Sci Law*. 2014 Jul;54(3):158-66.
108. Odriozola A, Riancho JA, de la Vega R, Agudo G, Garcia-Blanco A, de Cos E, et al. miRNA analysis in vitreous humor to determine the time of death a proof-of-concept pilot study. *Int J Legal Med*. 2013 May;127(3):573-8.
109. Ansari N, Lodha A, Menon SK. Smart platform for the time since death determination from vitreous humor cystine. *Biosens Bioelectron*. 2016 Dec 15;86:115-21.
110. Tumram NK, Bardale RV, Dongre AP. Postmortem analysis of synovial fluid and vitreous humour for determination of death interval: A comparative study. *Forensic Sci Int*. 2011 Jan 30;204(1-3):186-90.
111. Nidhi S, Yashoda R, Ritu S, Atul M. Estimation of post-mortem interval from the changes in vitreous biochemistry. *J Indian Acad Forensic Med*. 2011;33(2):171-4.
112. Cala AD, Vilain R, Tse R. Elevated postmortem vitreous sodium and chloride levels distinguish saltwater drowning (SWD) deaths from immersion deaths not related to drowning but recovered from saltwater (DNRD). *Am J Forensic Med Pathol*. 2013 Jun;34(2):133-8.
113. Zilg B, Bernard S, Alkass K, Berg S, Druid H. A new model for the estimation of time of death from vitreous potassium levels corrected for age

- and temperature. *Forensic Sci Int.* 2015 Sep;254:158-66.
114. Madea B, Ortmann J, Doberentz E. Estimation of the time since death-Even methods with a low precision may be helpful in forensic casework. *Forensic Sci Int.* 2019 Sep;302:109879.
115. Li W, Chang Y, Cheng Z, Ling J, Han L, Li X, et al. Vitreous humor: a review of biochemical constituents in postmortem interval estimation. *J Forensic Sci Med.* 2018;4(2):85-90.
116. Rathinam RD, Singh A, Jayaprakash K, Goyal P, Chikkara P, Khichi SK, et al. Vitreous potassium concentration as a predictor of postmortem interval: A cross-sectional study among natural death cases at a tertiary care center in rural Haryana. *Muller J Med Sci Res.* 2016;7(2):96-9.
117. Ahi RS, Garg V. Role of vitreous potassium level in estimating postmortem interval and the factors affecting it. *J Clin Diagn Res.* 2011;5(1):13-5.
118. Agoro ES, Okoye FBC, Onyenekwe CC, Azuonwu O, Ebiere NE. Extrapolation of three hourly post-mortem interval using some vitreous chemistry parameters. *J Forensic Res.* 2017;8(1):1000360.
119. Mitchell R, Charlwood C, Thomas SD, Bellis M, Langlois NE. An audit of the contribution to post-mortem examination diagnosis of individual analyte results obtained from biochemical analysis of the vitreous. *Forensic Sci Med Pathol.* 2013 Dec;9(4):515-20.
120. Swain R, Kumar A, Sahoo J, Lakshmy R, Gupta SK, Bhardwaj DN, et al. Estimation of post-mortem interval: A comparison between cerebrospinal fluid and vitreous humour chemistry. *J Forensic Leg Med.* 2015 Nov;36:144-8.
121. Subhash GS, Vidyadhar TC, Gangadhar DP. Estimation of postmortem interval in early postmortem period using serum enzymes and its correlation with rigor mortis and postmortem lividity. *J Indian Acad Forensic Med.* 2017;39(4):378-83.
122. Buchan MJ, Anderson GS. Time since death: a review of the current status of methods used in the later postmortem interval. *J Can Soc Forensic Sci.*

2001;34(1):1-22.

123. Mathur A, Agrawal YK. An overview of methods used for estimation of time since death. *Aust J Forensic Sci.* 2011;43(4):275-85.
124. Zissler A, Stoiber W, Geissenberger J, Steinbacher P, Monticelli FC, Pittner S. Influencing factors on postmortem protein degradation for pmi estimation: a systematic review. *Diagnostics (Basel).* 2021 Jun 23;11(7):1146.
125. Hostiuc S, Rusu MC, Manoiu VS, Vrapciu AD, Negoii I, Popescu MV. Usefulness of ultrastructure studies for the estimation of the postmortem interval. A systematic review. *Rom J Morphol Embryol.* 2017;58(2):377-84.
126. Leitgeb RA, Baumann B. Multimodal optical medical imaging concepts based on optical coherence tomography. *Front Phys.* 2018;6:114.
127. Lisenko S, Kugeiko M, Hotra O, Surtel W. Systems for real-time optical diagnostics of biological objects. *Proc SPIE.* 2014;9291, 13th International Scientific Conference on Optical Sensors and Electronic Sensors:929109.
128. King TA, Wilson BC. Lasers in Medical: Section Introduction. In: *Handbook of Laser Technology and Applications.* CRC Press. 2021;190-200.
129. Dobosz M, Kożuchowski M. Overview of the laser-wavelength measurement methods. *Optics and Lasers in Engineering.* 2017; 98:107-17.
130. Putintseva MV, Aksenov ET, Korikov CC, Velichko EN. Non-invasive research of biological objects by the method of laser polarimetry. In *Journal of Physics: Conference Series.* IOP Publishing. 2018, December; 1124(3):031021.
131. Ali Z, Mahmood T, Shahzad A, Iqbal M, Ahmad I. Assessment of tissue pathology using optical polarimetry. *Lasers in Medical Science.* 2022;37(3):1907-19.
132. Ровира РУ, Тужанський СЕ, Савенков СН, Павлов СВ, Чунихина ЕІ, Коломиец ІС, и др. Метод и поляриметрическая система локальной дифференциации патологий анизотропных биотканей. *Фотобіологія та фотомедицина.* 2014;12(3-4):113-20.
133. Павлов СВ, Тужанський СС, Камінський ОС, Рональд РХ. Лазерна

- растрова поляриметрия біотканин. В: Тези доп. Третньої Міжнар. наук.-практ. конф. Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія; 2012 Трав. 29-31; Вінниця. Вінниця: ВНТУ; 2012. с. 74-5.
134. Павлов СВ, Кожем'яко ВП, Колісник ПФ, Козловська ТІ, Думенко ВП. Фізичні основи біомедичної оптики. Вінниця: ВНТУ; 2010. 152 с.
135. Юштин КЕ. Лазерна поляриметрия об'єктів з ізотропною деполяризацією [дисертація]. Київ: Київ. нац. ун-т ім. Тараса Шевченка; 2005. 140 с.
136. Buser A, Vaumbach P, von Livonius B. [Basic Principles of Optics]. *Klin Monbl Augenheilkd.* 2019 Jan;236(1):97-119. German.
137. Olar OV, Ushenko VO, Sakhnovsky MY, Ushenko YO, Dubolazov OV, Ushenko OG, Motrich AV. Методи і засоби азимутально-інваріантної мюллер-матричної поляриметрії оптично-анізотропних біологічних шарів. *Біофізичний вісник.* 2019;41:52-62.
138. Sieryi O, Ushenko Y, Ushenko V, Dubolazov O, Syvokorovskaya AV, Vanchulyak O, et al. Optical anisotropy composition of benign and malignant prostate tissues revealed by Mueller-matrix imaging. *Biomedical Optics Express.* 2022;13(11):6019-34.
139. Gerrard A, Burch JM. Introduction to matrix methods in optics. New York: Dover; London: Constable; 1994. xi, 355 p.
140. Ushenko A, Sdobnov A, Dubolazov A, Grytsiuk M, Ushenko Y, Bykov A, et al. Stokes-correlometry analysis of biological tissues with polycrystalline structure. *IEEE J Sel Top Quantum Electron.* 2019 Jan-Feb;25(1):7101612.
141. Vanchulyak O, Ushenko O, Zhytaryuk V, Dvorjak V, Pavlyukovich O, Dubolazov O, et al. Stokes-correlometry of polycrystalline films of biological fluids in the early diagnostics of system pathologies. *Proc SPIE.* 2019;11105, Novel Optical Systems, Methods, and Applications XXII:1110519.
142. Бойчук ТМ, Ушенко ОГ, Новаковська ОЮ, Григоришин ПМ. Лазерна поляриметрична оцінка структури мережі колагенових фібрил дерми шкіри. *Клін. та експерим. патологія.* 2013;12(4):38-43.
143. Ушенко ОГ, Бачинський ВТ, редактори. Основи лазерної поляриметрії.

Ч. 2, Патоморфологічні зміни біологічних тканин людини. Чернівці: Чернів. нац. ун-т; 2010. 372 с.

144. Angelsky O, Prydij A, Ushenko A, Ushenko Y, Olar O. Laser metrology of statistical and fractal structure of biological tissues polarization images. Proc SPIE. 2007;6616, Optical Measurement Systems for Industrial Inspection V:661641.
145. Vasyuk V, Kalashnikov A, Litvinenko AY, Mykhaylova AY, Motrich AV, Olar AV, et al. Method of laser-induced polarization reconstruction of the polycrystalline structure of molecular fluorophores histological sections in histological definition age of damage internal human organs. In Fifteenth International Conference on Correlation Optics. SPIE.2021, December;12126: 584-91. doi: [10.1117/12.2616670](https://doi.org/10.1117/12.2616670)
146. Bachins'kyi VT, Pavliukovych OV, Wanchuliak OYa, Savka IH. Temporal spectral change of the degree of depolarization of laser radiation scattered by the hepatic tissue to diagnose the prescription of death coming. Буков. мед. вісн. 2010;14(4):119-21.
147. Бачинський ВТ. Матричний метод дослідження біологічних тканин у діагностиці давності смерті. Наук. вісн. Ужгород. ун-ту. 2008;(33):3-10.
148. Беженар І. Судово-медична діагностика зажиттєвих та посмертних ушкоджень шкіри людини шляхом аналізу спектрів потужності інтенсивності її поляризаційних зображень. Укр. суд.-мед. вісн. 2007;(1):25-31.
149. Dubolazov AV, Olar OV, Pidkamin LY, Arkhelyuk AD, Motrich AV, Bachinskiy VT, et al. Differential components of Muller matrix partially depolarizing biological tissues in the diagnosis of pathological and necrotic changes. Proc SPIE. 2019;11087, Biosensing and Nanomedicine XII:1108713.
150. Гараздюк МС, Бачинський ВТ, Гараздюк ОІ, Беженар ІЛ. Діагностика давності настання смерті за азимутом лазерно-індукованої флуоресценції плівок ліквору. Клінічна та експериментальна патологія.

2017;16(1):57-62. doi: 10.24061/1727-4338.XVI.1.59.2017.13

151. Ushenko YuA, Sorotchan GV, Pridiy AG, Yermolenko SB. Mueller-matrixes tomography of biotissue. Proc SPIE. 2005;5972, Advanced Topics in Optoelectronics, Microelectronics, and Nanotechnologies II:59720T.
152. Ushenko YA. Investigation of formation and interrelations of polarization singular structure and Mueller-matrix images of biological tissues and diagnostics of their cancer changes. J Biomed Opt. 2011 Jun;16(6):066006.
153. Angelsky OV, Ushenko AG, Ushenko YG, Tomka YY. Polarization singularities of biological tissues images. J Biomed Opt. 2006;11(5):054030.
154. Angelsky PO. Fourier phasometry of human effusion polycrystalline networks. Appl Opt. 2012;51(10):C70-6.
155. Borovkova M, Peyvasteh M, Dubolazov O, Ushenko Y, Ushenko V, Bykov A, et al. Complementary analysis of Mueller-matrix images of optically anisotropic highly scattering biological tissues. J Eur Opt Soc Rapid Publ. 2018;14:20.
156. Vanchulyak O, Ushenko Y, Galochkin O, Sakhnovskiy M, Kovalchuk M, Dovgun A, et al. Azimuthal fractalography of networks of biological crystals. Proc SPIE. 2019;11105, Novel Optical Systems, Methods, and Applications XXII:1110517.
157. Garazdiuk M, Bachynskiy V, Vanchuliak O, Garazdiuk O, Sarkisova Yu. Comparative analysis of laser polarimetry methods of polycrystalline films of cerebrospinal fluid for post-mortem interval estimation. Proceedings Innovations in Science and Education. 2019;7:724-8. doi: [10.12955/cbup.v7.1445](https://doi.org/10.12955/cbup.v7.1445)
158. Bachinskyi VT, Sarkisova YuV, Vanchuliak OYa, Garazdiuk MS, Palyvoda OG. Post-mortem interval estimation by changes in the optical density of the vitreous humour. Folia Societatis Medicinae Legalis Slovacae. 2019;9(1):66-9.
159. Sarkisova YV, Bachynskiy VT, Garazdiuk OI, Garazdiuk IV, Teleki IM. Postmortem interval estimation by the method of wavelet analysis of stokes-

- polarimetric mapping data of human vitreous body layers. *Wiad Lek.* 2021;74(9 Cz 1):2118-22.
160. Dubolazov OV, Ushenko VO, Trifoniuk L, Ushenko YuO, Zhytaryuk VG, Prydiy OG, et al. Methods and means of 3D diffuse Mueller-matrix tomography of depolarizing optically anisotropic biological layers. *Proc SPIE.* 2017;10396, *Applications of Digital Image Processing XL*:103962P.
161. Ushenko YuA, Olar OV, Dubolazov AV, Bodnar OB, Bodnar BM, Pidkamin L, et al. System of differential Mueller-matrix mapping of phase and amplitude anisotropy of depolarizing biological tissues. *Proc SPIE.* 2018;10752, *Applications of Digital Image Processing XLI*:107522H.
162. Garazdyuk MS, Bachinskyi VT, Vanchulyak OY, Ushenko AG, Dubolazov OV, Gorsky MP. Polarization-phase images of liquor polycrystalline films in determining time of death. *Appl Opt.* 2016 Apr 20;55(12):B67-71.
163. Bachinskyi V, Boychuk T, Ushenko A. *Laser polarimetry of biological tissues and fluids.* LAP Lambert Academic Publishers; 2017. 204 p.
164. Бачинський ВТ, Михайличенко БВ, Мішалов ВД, Ушенко ОГ. Визначення давності настання смерті та часу утворення гематом методами лазерної спектрофотополяриметрії. Чернівці: Прут; 2011.325с.
165. Павлюкович ОВ. Порівняльне дослідження динаміки зміни ступеня деполяризації лазерного випромінювання, розсіяного тканинами міокарда, для визначення причини та давності настання смерті з використанням HE-NE лазера. *Одес. мед. журн.* 2010;(3):12-6.
166. Arfaoui S, Mabrouk AB, Cattani C. *Wavelet Analysis: Basic Concepts and Applications.* Chapman and Hall/CRC. 2021; 254p. doi:[10.1201/9781003096924](https://doi.org/10.1201/9781003096924)
167. Simmons T. Post-mortem interval estimation: an overview of techniques. *Taphonomy of Human Remains: Forensic Analysis of the Dead and the Depositional Environment: Forensic Analysis of the Dead and the Depositional Environment.* 2017; 134-42. doi: 10.1002/9781118953358.ch10
168. De-Giorgio F, Nardini M, Foti F, Minelli E, Papi M, d'Aloja E, et al. A novel

- method for post-mortem interval estimation based on tissue nano-mechanics. *International journal of legal medicine*. 2019;133(4):1133-9. doi:10.1007/s00414-019-02034-z
169. Iqbal MA, Ueland M, Forbes SL. Recent advances in the estimation of post-mortem interval in forensic taphonomy. *Aust J Forensic Sci*. 2020;52(1):107-23.
170. Huang P, Zou D, Li S, Xu C, Luo Y, Sun Q, et al. Characterization of the postmortem interval by infrared microscopy. *Anal Lett*. 2016;49(2):290-8.
171. Ольховський ВО, Голубович ЛЛ, Бачинський ВТ, Хижняк ВВ, Голубович ПЛ, Кравченко ЮМ, та ін. Визначення давності настання смерті. Вид. 2-ге випр. і допов. Харків: Бровін ОВ; 2019. 229 с.
172. Коновал НС. Структурно-біохімічні зміни тканини міжреберних м'язів та їх значення в судово-медичній діагностиці давності настання смерті. *Укр. журн. медицини, біології та спорту*. 2019;4(4):211-7.
173. Борщ СС, Саєнко МС, Губін МВ. Оригінальний “Android” додаток для судово-медичного визначення давності настання смерті. *Суд.-мед. експертиза*. 2018;(1):133-7.
174. Pittner S, Merold V, Anders S, Lohner L, Amendt J, Klinger M, et al. A standard protocol for the analysis of postmortem muscle protein degradation: process optimization and considerations for the application in forensic PMI estimation. *Int J Legal Med*. 2022 Nov;136(6):1913-23.
175. Григорян ЕК. Контент аналіз судово–медичної оцінки давності настання смерті. *Український журнал медицини, біології та спорту*. 2019;4(6(22)):265-70. doi: 10.26693/jmbs04.06.265
176. Maile AE, Inoue CG, Barksdale LE, Carter DO. Toward a universal equation to estimate postmortem interval. *Forensic Sci Int*. 2017 Mar; 272:150–3. doi: 10.1016/j.forsciint.2017.01.013
177. Li C, Li Z, Tuo Y, Ma D, Shi Y, Zhang Q, et al. MALDI-TOF MS as a novel tool for the estimation of postmortem interval in liver tissue samples. *Scientific reports*. 2017;7(1):1-11. doi: 10.1038/s41598–017–05216–0

178. Harvey M, Gasz N, Voss S. Entomology-based methods for estimation of postmortem interval. *Research and Reports in Forensic Medical Science*. 2016;6:1-9. doi: 10.2147/RRFMS.S68867
179. Amendt J, Goff ML, Campobasso CP, Grassberger M, editors. *Current concepts in forensic entomology*. Dordrecht; London: Springer; 2010. viii, 376 p.
180. Григорян Е, Стащак А, Резаї Н. Особливості оцінювання посмертного інтервалу для розслідування злочинів. *Journal of Morphology*. 2020;38(2):241-6. doi: 10.32353/khrife.2.2021.11
181. Rodrigo MR. Time of death estimation from temperature readings only: A Laplace transform approach. *Applied Mathematics Letters*. 2015;39:47-52. doi: [10.1016/j.aml.2014.08.016](https://doi.org/10.1016/j.aml.2014.08.016)
182. Hubig M, Muggenthaler H, Sinicina I, Mall G. Temperature based forensic death time estimation: The standard model in experimental test. *Legal Medicine*. 2015; 17(5):381-7. doi: [10.1016/j.legalmed.2015.05.005](https://doi.org/10.1016/j.legalmed.2015.05.005)
183. Гуров ОМ, Гладких ДБ, Місюра ЄЮ, Сапелкін ВВ. Деякі аспекти методики та судово-медичної оцінки динамометрії трупних плям. *Судово-медична експертиза*. 2018;(2):104-12. doi:[10.24061/2707-8728.2.2018.23](https://doi.org/10.24061/2707-8728.2.2018.23)
184. Usumoto Y, Kudo K, Tsuji A, Ihama Y, Ikeda N. Predictive equation to estimate post-mortem interval using spectrophotometric blood-colour values. *Medicine, Science and the Law*. 2019;59(1):36-41. doi: 10.1177/0025802418819611
185. Guerrero-Urbina C, Sol M, Fonseca GM. Histochemical and Immunohistochemical Methods for the Postmortem Interval Estimation in Human Tissues: A Review. *International Journal of Morphology*. 2020;38(2):241-6. doi: 10.4067/S0717-95022020000200241
186. Коновал НС. Закономірності постмортальних структурно-біохімічних змін м'язової тканини діафрагми: значення для судово-медичної діагностики давності настання смерті. *Актуальні проблеми сучасної*

- медицини: Вісник Української медичної стоматологічної академії. 2019;19(1(65)):71-7. doi: 10.31718/2077-1096.19.1.71
187. Zilg B, Alkass K, Kronstrand R, Berg S, Druid H. A Rapid Method for Postmortem Vitreous Chemistry – Deadside Analysis. *Biomolecules*. 2021;12(1): 32. doi:[10.3390/biom12010032](https://doi.org/10.3390/biom12010032)
188. Agoro ES, Wankasi MM. The Forensic Application of Vitreous Humour Biochemistry in Postmortem Disease Diagnosis. *Indian Journal of Forensic Medicine & Toxicology*. 2017;11(1):193-7.
189. Monzon LR, Pearring S, Miller C, Vargas JR. Validation of the i-STAT(R)1 Analyzer for Postmortem Vitreous Humor Electrolytes and Glucose Analysis. *J. Anal. Toxicol*. 2018;42:133-8. doi:10.1093/jat/bkx084
190. Garland J, Olds K, Rousseau G, Palmiere C, Ondruschka B, Kesha K, Tse R. Using vitreous humour and cerebrospinal fluid electrolytes in estimating post-mortem interval-an exploratory study. *Australian Journal of Forensic Sciences*. 2020;52(6):626-33.
191. Ioelu L, Garland J, Palmiere C, Ondruschka B, Da Broi U, Glenn C, et al. Use of vitreous humor electrolytes in estimating postmortem interval in infant population (< 1 year). *Australian Journal of Forensic Sciences*. 2021; 1-10. doi: 10.1080/00450618.2021.1901989
192. Бачинський ВТ, Саркісова ЮВ. Можливості діагностики давності настання смерті шляхом визначення кількості K^+ та Na^+ у склістому тілі ока людини. *Буковинський медичний вісник*. 2020;24(2):3-8. doi: [10.24061/2413-0737.XXIV.2.94.2020.35](https://doi.org/10.24061/2413-0737.XXIV.2.94.2020.35)
193. Zhang J, Li B, Wang Q, Wei X, Feng W, Chen Y, et al. Application of Fourier transform infrared spectroscopy with chemometrics on postmortem interval estimation based on pericardial fluids. *Scientific reports*. 2017; 7(1):1-8.
194. Prieto-Bonete G, Perez-Carceles MD, Luna, A. Morphological and histological changes in eye lens: Possible application for estimating postmortem interval. *Legal Medicine*. 2015;17(6):437-42.

195. Li C, Wang Q, Zhang Y, Lin H, Zhang J, Huang P, Wang Z. Research progress in the estimation of the postmortem interval by Chinese forensic scholars. *Forensic sciences research*. 2016;1(1):3-13.
196. Ciaffi R, Feola A, Perfetti E, Manciocchi S, Potenza S, Marella GL. Overview on the estimation of post mortem interval in forensic anthropology: review of the literature and practical experience. *Romanian Journal of Legal Medicine*. 2018;26(4):403-11. doi: 10.4323/rjlm.2018.403
197. Chighine A, Locci E, Nioi M, d'Aloja E. Looking for Post-Mortem Metabolomic Standardization: Waiting for Godot—The Importance of Post-Mortem Interval in Forensic Metabolomics. *Chemical Research in Toxicology*. 2021;34(9): 1946-7. doi: 10.1021/acs.chemrestox.1c00211
198. Bianchi I, Grassi S, Castiglione F, Bartoli C, De Saint Pierre B, Focardi M, et al. Dental DNA as an Indicator of Post-Mortem Interval (PMI): A Pilot Research. *International Journal of Molecular Sciences*. 2022;23(21):12896. doi: [10.3390/ijms232112896](https://doi.org/10.3390/ijms232112896)
199. Pigoli D, Hall MJ, Aston JA. Estimation of Insect Age for Assessing Minimum Post-Mortem Interval in Forensic Entomology Casework. In *Handbook of Forensic Statistics*. Chapman and Hall/CRC. 2020: 443-9.
200. Estracanholti ES, Kurachi C, Vicente JR, de Menezes PF, Castro e Silva Junior O, Bagnato VS. Determination of post-mortem interval using in situ tissue optical fluorescence. *Opt Express*. 2009 May 11;17(10):8185-92.
201. Ansari N, Lodha A, Mehta M, Menon SK. A real-time smartphone-enabled time since death estimation from vitreous humour protein. *Aust J Forensic Sci*. 2019;51(1):78-94.
202. Protsiuk VV, Vasiyk VL, Vasylichshyn YM, Ushenko OG, Shaplavskiy MV, Bodnar OB, et al. Polarization tomography of synovial fluids polycrystalline layers. In: *IFMBE Proceedings*. Vol. 77, Proceedings of 4th International Conference on Nanotechnologies and Biomedical Engineering; 2019 Sep 18-21; Chisinau, Moldova. Switzerland AG: Springer Nature; 2020. p. 497-501.
203. Ushenko A, Yermolenko S, Prydij A, Guminetsky S, Gruia I, Toma O, et al.

- Statistical and fractal approaches in laser polarimetry diagnostics of the cancer prostate tissues. Proc SPIE. 2008;7008, Eighth International Conference on Correlation Optics:70082C.
204. Ushenko YuA, Dubolazov AV, Karachevtcev AO, Zabolotna NI. A fractal and statistic analysis of Mueller-matrix images of phase inhomogeneous layers. Proc. SPIE. 2011;8134, Optics and Photonics for Information Processing V:81340P.
205. Ushenko YuA, Dubolazov AV, Balanetskaya VO, Karachevtsev AO, Ushenko VA. Wavelet-analysis of polarization maps of human blood plasma. Opt Spectrosc. 2012;113(3):332-43.
206. Ushenko VA, Sdobnov AYu, Mishalov WD, Dubolazov AV, Olar OV, Bachinskyi VT, et al. Biomedical applications of jones-matrix tomography to polycrystalline films of biological fluids. J Innov Opt Health Sci. 2019;12(6):1950017.
207. 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.
208. Motrich AV, Ushenko OG. Analytical modeling of polarization transformation of laser radiation of various spectral ranges by birefringent structures. Proc SPIE. 2018;10612, Thirteenth International Conference on Correlation Optics:1061211.
209. Ushenko YuA, Bakun O, Martseniak IV, Tsyhykalo O, Dubolazov AV, Pidkamin LY, et al. Polarization reconstruction of polycrystalline structure of biological liquid films. Proc SPIE. 2018;10977, Advanced Topics in Optoelectronics, Microelectronics, and Nanotechnologies IX:109773R.
210. 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. Proc SPIE. 2019;11087, Biosensing and Nanomedicine

- XII:110870S.
211. Dubolazov OV, Olar OV, Pidkamin LY, Arkhelyuk AD, Motrich AV, Petrochak O, et al. Methods and systems of diffuse tomography of optical anisotropy of biological layers. Proc SPIE. 2019;11087, Biosensing and Nanomedicine XII:110870P.
212. Tomka Y, Gorsky M, Soltys I, Talakh M, Drin Y, Yatsko O, et al. Spectral and selective laser autofluorescent microscopy of blood films. Proc SPIE. 2019;11105, Novel Optical Systems, Methods, and Applications XXII:1110515.
213. Grytsyuk M, Tomka Yu, Gorsky M, Soltys I, Talakh M, Drin Ya, et al. Muller-matrix invariants of linear and circular birefringence of polycrystalline films of biological liquids pathologically and necrotic changed human bodies. Proc SPIE. 2019;11087, Biosensing and Nanomedicine XII:110870N.
214. Trifonyuk L, Sdobnov A, Baranowski W, Ushenko V, Olar O, Dubolazov A, et al. Differential Mueller matrix imaging of partially depolarizing optically anisotropic biological tissues. Lasers Med Sci. 2020;35:877-91.
215. Meglinski I, Trifonyuk L, Bachinsky V, Vanchulyak O, Bodnar B, Sidor M, et al. Methods and Means of Polarization Correlation of Fields of Laser Radiation Scattered by Biological Tissues. In Shedding the Polarized Light on Biological Tissues. Springer, Singapore. 2021:1-15. doi:10.1007/978-981-10-4047-4_1
216. Harazdyuk MS, Bachinsky VT, Wanchulyak OYa, Ushenko AG, Ushenko YuA, Dubolazov AV, et al. Correlation and autofluorescence microscopy in forensics medicine: time of death detection using polycrystalline cerebrospinal fluid films. Singapore: Springer; 2021. VII, 66 p.
217. Заболотна НІ, Шолота ВВ, Колівошко АІ. Аналіз методів та систем лазерної поляриметрії для відтворення анізотропних параметрів біологічних шарів. Оптико-електрон. інформ.-енергет. технології. 2018;36(2):60-71.

218. Dubolazov AV, Olar OV, Pidkamin LY, Arkhelyuk AD, Motrich AV, Shaplavskiy MV, et al. Polarization-phase reconstruction of polycrystalline structure of biological tissues. *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*. 2019;11087:1108714. doi:
[10.1117/12.2529182](https://doi.org/10.1117/12.2529182)
219. Саркісова ЮВ, Бачинський ВТ, Ушенко ОГ, Мельник ММ. Поляризаційна мікроскопічна томографія полікристалічної структури препаратів склоподібного тіла у діагностиці давності настання смерті. *Сучасні медичні технології*. 2019;4:54-61. doi:
[10.34287/MMT.4\(43\).2019.10](https://doi.org/10.34287/MMT.4(43).2019.10)
220. Koch M, Symvoulidis P, Ntziachristos V. Tackling standardization in fluorescence molecular imaging. *Nature Photonics*. 2018;12(9):505-15.
221. Wang S, Ren WX, Hou JT, Won M, An J, Chen X, et al. Fluorescence imaging of pathophysiological microenvironments. *Chem. Soc. Rev.* 2021;50:8887-8902. doi:10.1039/D1CS00083G
222. Wang S, Li B, Zhang F. Molecular fluorophores for deep-tissue bioimaging. *ACS central science*.2020;6(8):1302-16. doi:10.1021/acscentsci.0c00544

Додаток А**Список публікацій здобувача*****Наукові праці, в яких опубліковані основні результати дисертації:***

1. Бачинський ВТ, Ушенко ОГ, Ванчуляк ОЯ, Саркісова ЮВ. Дослідження біологічних тканин і рідких середовищ організму людини лазерними поляриметричними методами. Судово-медична експертиза. 2017;1:58-61. doi: [10.24061/2707-8728.1.2017.13](https://doi.org/10.24061/2707-8728.1.2017.13)
2. Бачинський ВТ, Ванчуляк ОЯ, Саркісова ЮВ, Ушенко ОГ. Застосування нових перспективних технологій для визначення давності настання смерті в практиці судово-медичного експерта. Клінічна та експериментальна патологія. 2017;16(1):157-9. doi: [10.24061/1727-4338.XVI.1.59.2017.35](https://doi.org/10.24061/1727-4338.XVI.1.59.2017.35)
3. Бачинський ВТ, Гуров ОМ, Саркісова ЮВ, Ушенко ОГ. Основні принципи оцінки морфологічного стану біологічних тканин лазерними поляриметричними методами для вирішення завдань судової медицини. Клінічна та експериментальна патологія. 2017;16(1):20-3. doi: [10.24061/1727-4338.XVI.1.59.2017.5](https://doi.org/10.24061/1727-4338.XVI.1.59.2017.5)
4. Бачинський ВТ, Саркісова ЮВ. Скловидне тіло як об'єкт дослідження в судово-медичній експертизі. Судово-медична експертиза. 2018;1:90-4. doi: [10.24061/2707-8728.1.2018.21](https://doi.org/10.24061/2707-8728.1.2018.21)
5. Бачинський ВТ, Ванчуляк ОЯ, Саркісова ЮВ, Колачова АЮ. Сучасний погляд на проблему встановлення давності настання смерті в практиці судово-медичної експертизи. Актуальні проблеми сучасної медицини: Вісник Української медичної стоматологічної академії. 2018;18(3):280-4.
6. Бачинський ВТ, Саркісова ЮВ, Ванчуляк ОЯ, Гараздюк МС, Баранюк АД. Диференціальна мюллер-матрична мікроскопія білкової фракції препаратів склоподібного тіла у діагностиці давності настання смерті. Клінічна та експериментальна патологія. 2019;18(2):100-4. doi: [10.24061/1727-4338.XVIII.2.68.2019.18](https://doi.org/10.24061/1727-4338.XVIII.2.68.2019.18)

7. Саркісова ЮВ, Бачинський ВТ, Паливода ОГ. Можливості багатовимірної поляризаційної та автофлуоресцентної мікроскопії біологічних тканин та рідких середовищ організму людини для діагностики давності настання смерті. Судово-медична експертиза. 2019;1:17-23. doi: [10.24061/2707-8728.1.2019.3](https://doi.org/10.24061/2707-8728.1.2019.3)
8. Dubolazov AV, Olar OV, Pidkamin LY, Arkhelyuk AD, Motrich AV, Shaplavskiy MV, et al. Polarization-phase reconstruction of polycrystalline structure of biological tissues. Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering. 2019;11087:1108714. doi: [10.1117/12.2529182](https://doi.org/10.1117/12.2529182)
9. Саркісова ЮВ, Бачинський ВТ, Ушенко ОГ, Мельник ММ. Поляризаційна мікроскопічна томографія полікристалічної структури препаратів склоподібного тіла у діагностиці давності настання смерті. Сучасні медичні технології. 2019;4:54-61. doi: [10.34287/MMT.4\(43\).2019.10](https://doi.org/10.34287/MMT.4(43).2019.10)
10. Bachinskyi VT, Sarkisova YuV, Vanchuliak OYa, Garazdiuk MS, Palyvoda OG. Post-mortem interval estimation by changes in the optical density of the vitreous humour. Folia Societatis Medicinae Legalis Slovacae. 2019;9(1):66-9.
11. Bachinskiy V, Sarkisova Yu, Vanchulyak O, Ushenko O, Zhytaryuk V, Dvorjak V, et al. Polarization correlometry of microscopic images of layers of biological tissues and films of biological liquids in the diagnostics of pressure of death. Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering. 2019;11087:110870Q. doi: [10.1117/12.2529190](https://doi.org/10.1117/12.2529190)
12. Бачинський ВТ, Саркісова ЮВ. Можливості діагностики давності настання смерті шляхом визначення кількості K^+ та Na^+ у склістому тілі ока людини. Буковинський медичний вісник. 2020;24(2):3-8. doi: [10.24061/2413-0737.XXIV.2.94.2020.35](https://doi.org/10.24061/2413-0737.XXIV.2.94.2020.35)
13. Саркісова ЮВ, Маланчук СМ. Спектрально-селективна лазерно-індукована автофлуоресцентна мікроскопія полікристалічної фракції

- скловидного тіла людини в діагностиці давності настання смерті. Судово-медична експертиза. 2020;1:61-9. doi: [10.24061/2707-8728.1.2020.8](https://doi.org/10.24061/2707-8728.1.2020.8)
14. Sarkisova YV. Diagnosis of the time since death by using of the azimuth-invariant Muller-matrix microscopy method of the human vitreous body. Буковинський медичний вісник. 2020;24(1):128-33. doi: [10.24061/2413-0737.XXIV.1.93.2020.17](https://doi.org/10.24061/2413-0737.XXIV.1.93.2020.17)
 15. Ushenko AG, Sarkisova Y, Bachinsky VT, Vanchuliak OY, Dubolazov AV, Ushenko YO, et al. Diagnostics of the prescriptions of death by a method of azimuthally-invariant Mueller-matrix microscopy. Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering. 2020;11581:115810J. doi: [10.1117/12.2580335](https://doi.org/10.1117/12.2580335)
 16. Ushenko A, Sarkisova Yu, Dubolazov A, Ushenko Yu, Tomka Yu, Karachevtsev A, et al. Informativeness of the medical-physical method for analyzing the distributions of the degree of local depolarization of microscopic images of histological sections of the intestinal wall for the diagnosis of dolechosigma. Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering. 2020;11369:113691O. doi: [10.1117/12.2553954](https://doi.org/10.1117/12.2553954)
 17. Mishalov VD, Bachinsky VT, Vanchulyak OYa, Zavolovitch AY, Sarkisova YV, Ushenko AG, et al. Classification of the polarization properties of polycrystalline networks of biological fluid films. Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering. 2020;11581:115811I. doi: [10.1117/12.2580706](https://doi.org/10.1117/12.2580706)
 18. Mishalov VD, Syvokorovskaya AVS, Bachinskiy VT, Sarkisova YYu, Ushenko AG, Dubolazov OV, et al. Jones-matrix mapping of polycrystalline networks of layers of main types of amino acids. Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering. 2020;11456:1145606. doi: [10.1117/12.2536245](https://doi.org/10.1117/12.2536245)
 19. Pavlyukovich A, Pavlyukovich N, Sarkisova Y, Dubolazov O, Ushenko A, Ushenko V, et al. Azimuthally invariant Mueller-matrix tomography of

- linear dichroism of polycrystalline networks of biological tissues. Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering. 2020;11718:117181J. doi: [10.1117/12.2571213](https://doi.org/10.1117/12.2571213)
20. Sarkisova Yu, Bachinskyi VT, Garazdyuk M, Vanchulyak OYa, Litvinenko OYu, Ushenko OG, et al. Differential Muller-matrix microscopy of protein fractions of vitreous preparations in diagnostics of the pressure of death. IFMBE Proceedings. 2020;77:503-6. doi: [10.1007/978-3-030-31866-6_90](https://doi.org/10.1007/978-3-030-31866-6_90)
21. Sarkisova Yu, Bachynskiy V, Palamar A, Palibroda N, Patratii M. Diagnostic possibilities of analysis of the map of linear birefringence of the crystal fraction of vitreous body for accurate determination of the time since death. Proceedings of CBU in Medicine and Pharmacy. 2020;1:82-9. doi: [10.12955/pmp.v1.103](https://doi.org/10.12955/pmp.v1.103)
22. Саркісова ЮВ. Діагностичні можливості точного встановлення давності настання смерті за концентрацією електролітів у склістому тілі ока людини. Судово-медична експертиза. 2021;1:79-85. doi: [10.24061/2707-8728.1.2021.10](https://doi.org/10.24061/2707-8728.1.2021.10)
23. Sarkisova YV, Bachynskiy VT, Garazdiuk OI, Garazdiuk IV, Teleki IM. Postmortem interval estimation by the method of wavelet analysis of stokes-polarimetric mapping data of human vitreous body layers. Wiad Lek. 2021;74(9 Cz 1):2118-22. doi: [10.36740/WLek202109117](https://doi.org/10.36740/WLek202109117)
- Наукові праці, що засвідчують апробацію матеріалів дисертації:***
24. Бачинський ВТ, Ванчуляк ОЯ, Саркісова ЮВ. Сучасний підхід до діагностики патологічних станів методом лазерного поляриметричного дослідження біологічних тканин та середовищ організму людини. В: Матеріали наук.-практ. конф. з міжнар. участю Нові судово-медичні підходи до вирішення проблем механічної травми; 2017 Черв 15-16; Одеса. Одеса; 2017, с. 135-8.
25. Garazdiuk M, Garazdiuk O, Vanchuliak O, Sarkisova Yu. Time since death estimation by the method of laser polarimetry of polycrystalline cerebro-

- spinal fluid films images. In: Proceedings of 11th Antwerp medical students' congress AMSC 2017: Under pressure; 2017 Sep 13-17. Antwerp. Antwerp; 2017, p. 21.
26. Bachinskyi VT, Vanchuliak OY, Zozulia VM, Sarkisova YV, Garazdiuk MS, Garazdiuk OI. Diagnosing pathological conditions using laser polarimetry methods in forensic medical practice. *Folia Societatis Medicinae Legalis Slovacae*. 2017;7(2):98-100.
 27. Саркісова Ю. Перспективна можливість встановлення давності настання смерті за змінами статистичної структури лазерно-індукованої флуоресценції молекул білків і нікотинамідаденіндинуклеотиду відновленого мазків склоподібного тіла людини. В: Матеріали XXIII Міжнародного медичного конгресу студентів та молодих вчених; 2019 Квіт 15-17; Тернопіль. Тернопіль: Укрмедкнига; 2019, с. 330.
 28. Саркісова ЮВ. Дослідження судово-медичної ефективності визначення давності настання смерті за змінами статистичної структури спектрально-селективних розподілів інтенсивності лазерно-індукованої флуоресценції зразків склоподібного тіла людини. В: Матеріали XVI Міжнар. наук. конф. студентів, молодих вчених та фахівців Актуальні питання сучасної медицини; 2019 Бер 28-29; Харків. Харків; 2019, с. 236-7.
 29. Саркісова ЮВ, Гараздюк МС. Дослідження часових посмертних змін статистичної структури азимутів поляризації мікроскопічних зображень склоподібного тіла людини. *ВІМСО Journal*. 2019;2019:398.
 30. Саркісова ЮВ, Максимчук НО. Застосування статистичного аналізу лазерних поляриметричних зображень склоподібного тіла людини для уточнення давності настання смерті. В: Матеріали XVI наук. конф. студентів та молодих вчених з міжнар. участю Перший крок в науку – 2019. 2019 Квіт 18-19; Вінниця. Вінниця; 2019, с. 462-3.
 31. Саркісова ЮВ, Гараздюк МС, Паливода ОГ, Андрійчук АО.

- Спектрально-селективна лазерна автофлуоресцентна мікроскопія препаратів аморфної складової склоподібного тіла ока людини у діагностиці давності настання смерті. В: Матеріали наук.-практ. конф. з міжнар. участю Актуальні проблеми морфології в теоретичній та практичній медицині; 2019 Жов 24-25; Чернівці. Чернівці: БДМУ; 2019, с. 90-1.
32. Garazdiuk M, Bachynskiy V, Vanchuliak O, Garazdiuk O, Sarkisova Yu. Comparative analysis of laser polarimetry methods of polycrystalline films of cerebrospinal fluid for post-mortem interval estimation. Proceedings Innovations in Science and Education. 2019;7:724-8. doi: [10.12955/cbup.v7.1445](https://doi.org/10.12955/cbup.v7.1445)
33. Sarkisova Y, Vanchuliak O, Bachynskiy V, Garazdiuk M, Pavliukovych O. Differential Muller-matrix microscopy of the polycrystalline component of smears of the vitreous body to estimate the time since death. Rechtsmedizin. 2019;29(4):370.
34. Sarkisova Y, Garazdiuk M, Vanchuliak O, Pavliukovych O, Garazdiuk O. Post-mortem interval estimation by the method of azimuthal-invariant polarising microscopy of human eye vitreous body. Rechtsmedizin. 2019;29(4):370-1.
35. Sarkisova YV. Perspective use of polarizational microscopy of human vitreous body for diagnostics of the time since death. В: Матеріали 100-ї підсумкової наукової конференції професорсько-викладацького персоналу Вищого державного навчального закладу “Буковинський державний медичний університет”; 2019 Лют 11, 13, 18; Чернівці. Чернівці: Медуніверситет; 2019, с. 41-2.
36. Sarkisova YV. Polarization microscopic tomography of the protein structure of vitreous body preparations in the diagnosis of the time since death. В: Матеріали підсумкової 102-ї наук.-практ. конф. з міжнар. участю професорсько-викладацького персоналу Буковинського державного медичного університету; 2021 Лют 08, 10, 15; Чернівці. Чернівці:

Медуніверситет; 2021, с. 17-8.

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

37. Бачинський ВТ, Ванчуляк ОЯ, Саркісова ЮВ, Максимчук НО, винахідники; Вищий державний навчальний заклад України “Буковинський державний медичний університет”, патентовласник. Спосіб посмертної діагностики гострої коронарної недостатності. Патент України № 132328. 2019 Лют 25.
38. Бачинський ВТ, Ванчуляк ОЯ, Саркісова ЮВ, Максимчук НО, винахідники; Вищий державний навчальний заклад України “Буковинський державний медичний університет”, патентовласник. Спосіб посмертної діагностики хронічної ішемічної хвороби серця. Патент України № 132331. 2019 Лют 25.
39. Гараздюк МС, Гараздюк ОІ, Ванчуляк ОЯ, Саркісова ЮВ, винахідники; Вищий державний навчальний заклад України “Буковинський державний медичний університет”, патентовласник. Спосіб визначення давності настання смерті на довготривалому часовому проміжку за допомогою аналізу полікристалічних плівок спинномозкової рідини трупа людини. Патент України № 134903. 2019 Чер 10.
40. Саркісова ЮВ, Бачинський ВТ, Ванчуляк ОЯ, Ушенко ОГ, Ушенко ЮО, Дуболазов ОВ, та ін., винахідники; Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, патентовласник. Спосіб азимутально-інваріантного визначення давності настання смерті за Мюллер-матричним картографуванням шарів скловидного тіла трупа людини. Патент України № 143823. 2020 Серп 10.
41. Саркісова ЮВ, Бачинський ВТ, Ванчуляк ОЯ, Ушенко ОГ, Ушенко ЮО, Дуболазов ОВ, та ін., винахідники; Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, патентовласник. Спосіб азимутально-інваріантного визначення давності настання смерті за Мюллер-матричною реконструкцією двопронезаломлення шарів

скловидного тіла трупа людини. Патент України № 143821. 2020 Серп 10.

42. Саркісова ЮВ, Бачинський ВТ, Ванчуляк ОЯ, Ушенко ОГ, Ушенко ЮО, Дуболазов ОВ, та ін., винахідники; Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, патентовласник. Спосіб визначення давності настання смерті методом спектрально-селективної лазерної флуоресцентної мікроскопії шарів скловидного тіла. Патент України № 143815. 2020 Серп 10.
43. Саркісова ЮВ, Бачинський ВТ, Ванчуляк ОЯ, Ушенко ОГ, Ушенко ЮО, Дуболазов ОВ, та ін., винахідники; Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, патентовласник. Спосіб визначення давності настання смерті методом стокс-поляриметричного картографування шарів скловидного тіла. Патент України № 143792. 2020 Серп 10.

ДОДАТОК Б

Відомості про апробацію результатів дисертації

1. Науково-практична конференція з міжнародною участю “Нові судово-медичні підходи до вирішення проблем механічної травми” (м. Одеса, 15-16 червня 2017 р.) *(публікація)*.
2. 11th Antwerp medical students’ congress “Under pressure” (м. Антверпен, 13-17 вересня 2017 р.) *(публікація)*.
3. Буковинський міжнародний медико-фармацевтичний конгрес студентів і молодих учених ВІМСО 2019 (м. Чернівці, 2019 р.) *(доповідь, публікація)*.
4. 100-а підсумкова наукова конференція професорсько-викладацького персоналу БДМУ (присвяченій 75-річчю БДМУ) (м. Чернівці, 11, 13, 18 лютого 2019 р.) *(доповідь, публікація)*.
5. XVI Науково-практична конференція студентів та молодих вчених з міжнародною участю “Перший крок в науку – 2019” (м. Вінниця, 18-19 квітня 2019 р.) *(публікація)*.
6. Міжнародний судово-медичний конгрес (м. Чернівці, 4-5 липня 2019 р.) *(доповідь, публікація)*.
7. Jahrestagung der DGRM (м. Гамбург, 17-21 вересня 2019 р.) *(публікація)*.
8. 100 years of Institute of Forensic Medicine (м. Братислава, 2019 р.) *(публікація)*.
9. XXIII міжнародному медичному конгресі молодих вчених (м. Тернопіль, 15-17 квітня 2019 р.) *(публікація)*.
10. XVI міжнародна наукова конференція студентів, молодих вчених та фахівців “Актуальні питання сучасної медицини” (м. Харків, 2019 р.) *(публікація)*.
11. Науково-практична конференція з міжнародною участю “Актуальні проблеми морфології в теоретичній та практичній медицині” (м. Чернівці, 24, 25 жовтня 2019 р.) *(доповідь, публікація)*.

12. Congress of the German Society of Legal Medicine – (м. Люцерн, 2020 р.) *(публікація)*.

13. Буковинський міжнародний медико-фармацевтичний конгрес студентів і молодих учених ВІМСО 2020 (м. Чернівці, 2020 р.) *(доповідь, публікація)*.

14. CBU international conference on innovations in science and education (м. Прага, 18-20 березня 2020 р.) *(публікація)*.

15. Підсумкова 102-а науково-практична конференція з міжнародною участю професорсько-викладацького персоналу БДМУ (м. Чернівці, 8, 10, 15 лютого 2019 р.) *(доповідь, публікація)*.

ДОДАТОК В

Конкретні випадки визначення давності настання смерті розробленими методами

Результати визначення ДНС розробленими нами методами у двох конкретних випадках ілюструє серія табл. В.1-В.8.

Таблиця В.1 – Визначення давності настання смерті методом поляризаційного картографування та вейвлет-аналізу фазового параметра мікроскопічних зображень препаратів скловидного тіла

Метод	$SM_i^{(0)}$	$SM_i^{(1)}$	$SM_i^{(2)}$	τ^i	τ_0	$\Delta\tau$
випадок 1						
ФП	0,37	0,486	0,84	5 год 51 хв	5 год.	51 хв.
Вейвлет ФП	0,46	0,592	1,29	5 год 44 хв	5 год.	44 хв.
випадок 2						
ФП	0,37	0,805	0,84	17 год 8 хв	18 год	52 хв
Вейвлет ФП	0,46	0,858	1,29	17 год 16хв	18 год	44 хв

Таблиця В.2 – Визначення давності настання смерті методом картографування фазового Мюллер-матричного-інваріанта та вейвлет-аналізу Мюллер-матричного-інваріанта препаратів скловидного тіла

Метод	$SM_i^{(0)}$	$SM_i^{(1)}$	$SM_i^{(2)}$	τ^i	τ_0	$\Delta\tau$
випадок 1						
ФММІ	0,59	0,733	1,19	5 год 44 хв	5 год	44 хв
Вейвлет ФММІ	0,31	0,478	1,38	5 год 39 хв	5 год	39 хв
випадок 2						
ФММІ	0,59	1,02	1,19	17 год 15 хв	18 год	45 хв
Вейвлет ФММІ	0,31	0,825	1,38	17 год 20 хв	18 год	40 хв

Таблиця В.3 – Визначення давності настання смерті методом картографування диференційних матричних елементів полікристалічної складової скловидного тіла та вейвлет-аналізу диференційних матричних елементів полікристалічної складової препаратів скловидного тіла

Метод	$SM_i^{(0)}$	$SM_i^{(1)}$	$SM_i^{(2)}$	τ^i	τ_0	$\Delta\tau$
випадок 1						
ДМЕПС	0,74	0,91	1,46	5 год 44 хв	5 год	35 хв
Вейвлет ДМЕПС	0,305	0,538	1,79	5 год 39 хв	5 год	39 хв
випадок 2						
ДМЕПС	0,74	1,26	1,46	17 год 24 хв	18 год	36 хв
Вейвлет ДМЕПС	0,305	1,03	1,79	17 год 30 хв	18 год	30 хв

Таблиця В.4 – Визначення давності настання смерті методом картографування диференційних матричних елементів білкової складової скловидного тіла та вейвлет-аналізу диференційних матричних елементів білкової складової препаратів скловидного тіла

Метод	$SM_i^{(0)}$	$SM_i^{(1)}$	$SM_i^{(2)}$	τ^i	τ_0	$\Delta\tau$
випадок 1						
ДМЕБС	0,74	0,905	1,44	5 год 41 хв	5 год	41 хв
Вейвлет ДМЕБС	0,28	0,444	1,88	5 год 35 хв	5 год	35 хв
випадок 2						
ДМЕБС	0,74	1,24	1,44	17 год 18 хв	18 год	42 хв
Вейвлет ДМЕБС	0,28	1,05	1,88	17 год 24 хв	18 год	36 хв

Таблиця В.5 – Визначення давності настання смерті методом поляризаційної томографії лінійного двопроменезаломлення полікристалічної складової скловидного тіла та вейвлет-аналізу лінійного двопроменезаломлення препаратів скловидного тіла

Метод	$SM_i^{(0)}$	$SM_i^{(1)}$	$SM_i^{(2)}$	τ^i	τ_0	$\Delta\tau$
випадок 1						
ЛД	1,13	1,39	2,32	5 год 20 хв	5 год	20 хв
Вейвлет ЛД	0,31	0,613	2,39	5 год 15 хв	5 год	15 хв
випадок 2						
ЛД	1,13	2,01	2,32	17 год 39 хв	18 год	21 хв
Вейвлет ЛД	0,31	1,33	2,39	17 год 44 хв	18 год	16 хв

Таблиця В.6 – Визначення давності настання смерті методом поляризаційної томографії циркулярного двопроменезаломлення полікристалічної складової скловидного тіла та вейвлет-аналізу циркулярного двопроменезаломлення препаратів скловидного тіла

Метод	$SM_i^{(0)}$	$SM_i^{(1)}$	$SM_i^{(2)}$	τ^i	τ_0	$\Delta\tau$
випадок 1						
ЦД	0,42	0,627	1,31	5 год 36 хв	5 год	24 хв
Вейвлет ЦД	0,17	0,365	1,69	5 год 21 хв	5 год	21 хв
випадок 2						
ЦД	0,42	1,07	1,31	17 год 35 хв	18 год	25 хв
Вейвлет ЦД	0,17	0,916	1,69	17 год 40 хв	18 год	20 хв

Таблиця В.7 – Визначення давності настання смерті методом флуоресцентної мікроскопії білкової складової скловидного тіла

Метод	$SM_i^{(0)}$	$SM_i^{(1)}$	$SM_i^{(2)}$	τ^i	τ_0	$\Delta\tau$
випадок 1						
ФМБК	0,15	0,305	1,19	5 год 21 хв	5 год	21 хв
випадок 2						
ФМБК	0,15	0,659	1,19	17 год 38 хв	18 год	22 хв

Таблиця В.8 – Визначення давності настання смерті методом флуоресцентної мікроскопії полікристалічної складової скловидного тіла

Метод	$SM_i^{(0)}$	$SM_i^{(1)}$	$SM_i^{(2)}$	τ^i	τ_0	$\Delta\tau$
випадок 1						
ФМПК	0,105	0,368	1,91	5 год 15 хв	5 год	15 хв
випадок 2						
ФМПК	0,105	0,993	1,91	17 год 43 хв	18 год	17 хв

Додаток Д

Акти впровадження

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Проректор ЗВО з наукової роботи
Вінницького національного
медичного університету

М.І. Пирогова
д.мед.н., проф. Олег ВЛАСЕНКО

« 02 » _____ 2022 р.



[Handwritten signature]

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

матеріалів дисертаційної роботи Саркісової Юлії Володимирівни
в науково-педагогічний процес

1. **Найменування пропозиції для впровадження:** «Спосіб азимутально-інваріантного визначення давності настання смерті за мюллер-матричним картографуванням шарів скловидного тіла трупа людини».
2. **Ким запропоновано:** Буковинський державний медичний університет, кафедра судової медицини та медичного правознавства, 58000, м. Чернівці, Театральна площа, 2, Саркісова Ю.В., Бачинський В.Т.
3. **Джерело інформації:**
 1. Bachinskiy V, Sarkisova Yu, Vanchulyak O, Ushenko O, Zhytaryuk V, Dvorjak V, Martsenyak IV, Dubolazov O, Litvinenko O, Hoholeva T. Polarization correlometry of microscopic images of layers of biological tissues and films of biological liquids in the diagnostics of pressure of death. Proceedings Volume 11087, Biosensing and Nanomedicine XII; 2019; 110870Q. (*Scopus*)
 2. Саркісова ЮВ, Бачинський ВТ, Ванчуляк ОЯ, Ушенко ОГ, Ушенко ІОО, Дуболазов ОВ, Томка ЮЯ винахідники; Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, патентовласник. Спосіб азимутально-інваріантного визначення давності настання смерті за мюллер-матричним картографуванням шарів скловидного тіла трупа людини. Патент України № 143823. 2020 Серп 10.
4. **Де впроваджено:** на кафедрі судової медицини та права Вінницького національного медичного університету ім. М.І. Пирогова.
5. **Термін впровадження:** з листопада 2021 року.
6. **Форма впровадження:** у науково-дослідному та навчальному процесі в лекційному курсі та при проведенні практичних занять за темою: «Трупні зміни. Судово-медична тафномія. Судово-медичні аспекти трансплантології. Огляд трупа на місці події. Заповнення лікарського свідоцтва про смерть».
7. **Результати впровадження:** використання результатів наукових досліджень Саркісової Ю.В. в науковому та педагогічному процесі дозволяють розширити існуючі відомості та критерії визначення давності настання смерті.
8. **Зауваження та пропозиції:** не вносилися.

Завідувач кафедри судової медицини та права
Вінницького національного
медичного університету ім. М.І. Пирогова
PhD, доцент

[Handwritten signature]

Валерій ГУНАС

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Проректор
з науково-педагогічної роботи
Буковинського державного
медичного університету
доц. Ігор GERUШ
«12» 12 2022 р.

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

матеріалів дисертаційної роботи Саркісової Юлії Володимирівни
в науково-педагогічний процес

1. **Найменування пропозиції для впровадження:** «Спосіб визначення давності настання смерті методом Стокс-поляриметричного картографування шарів склистого тіла людини».
2. **Ким запропоновано:** Буковинський державний медичний університет, кафедра судової медицини та медичного правознавства, 58000, м. Чернівці, Театральна площа, 2, Саркісова Ю.В., Бачинський В.Т.
3. **Джерело інформації:**
 1. Bachinskyi VT, Sarkisova YuV, Vanchuliak OYa, Garazdiuk MS, Palyvoda OG. Post-mortem interval estimation by changes in the optical density of the vitreous humour. Folia Societatis Medicinae Legalis Slovacae. 2019; 9(1): 66-9.
 2. Саркісова ЮВ, Бачинський ВТ, Ванчуляк ОЯ, Ушенко ОГ, Ушенко ЮО, Дуболазов ОВ, Томка ЮЯ винахідники; Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, патентовласник. Спосіб визначення давності настання смерті методом стокс-поляриметричного картографування шарів скловидного тіла. Патент України № 143792. 2020 Серп 10.
 3. Sarkisova YV. Diagnosis of the time since death by using of the azimuth-invariant Muller-matrix microscopy method of the human vitreous body. Буков. мед. вісн. 2020;24(1):128-33.
4. **Де впроваджено:** на кафедрі судової медицини та медичного правознавства Буковинського державного медичного університету.
5. **Термін впровадження:** лютий 2022 року.
6. **Форма впровадження:** у науково-дослідному та навчальному процесі в лекційному курсі та при проведенні практичних занять за темою: «Судово-медична танатологія. Огляд трупа на місці події. Судово-медичний розтин трупа та його демонстрація».
7. **Результати впровадження:** використання результатів наукових досліджень Саркісової Ю.В. в науковому та педагогічному процесі дає змогу розширити уявлення та існуючі можливості встановлення давності настання смерті.
8. **Зауваження та пропозиції:** не вносилися.

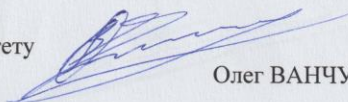
Відповідальний за впровадження:

Завідувач кафедри судової медицини
та медичного правознавства
Буковинського державного медичного університету
д.мед.н., професор



Віктор БАЧИНСЬКИЙ

Професор кафедри судової медицини
та медичного правознавства
Буковинського державного медичного університету
д.мед.н., професор



Олег ВАНЧУЛЯК

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
 Начальник КМУ «Обласне
 бюро судово-медичної експертизи»
 Департаменту охорони здоров'я
 Чернівецької ОДА
 проф. Віктор БАЧИНСЬКИЙ
 02 2022 р.

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

матеріалів дисертаційної роботи Саркісової Юлії Володимирівни
 в судово-медичну практику

1. **Найменування пропозиції для впровадження:** «Спосіб азимутально-інваріантного визначення давності настання смерті за Мюллер-матричною реконструкцією двопротенезаломлення шарів скловидного тіла трупа людини».
2. **Ким запропоновано:** Буковинський державний медичний університет, кафедра судової медицини та медичного правознавства, 58000, м. Чернівці, Театральна площа, 2, Саркісова Ю.В., Бачинський В.Т.
3. **Джерело інформації:**
 - 1) Саркісова ЮВ, Бачинський ВТ, Ванчуляк ОЯ, Ушенко ОГ, Ушенко ЮО, Дуболазов ОВ, Томка ЮЯ винахідники; Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, патентовласник. Спосіб азимутально-інваріантного визначення давності настання смерті за мюллер-матричною реконструкцією двопротенезаломлення шарів скловидного тіла трупа людини. Патент України № 143821. 2020 Серп 10.
 - 2) Pavlyukovich A, Pavlyukovich N, Sarkisova Y, Dubolazov O, Ushenko A, Ushenko V, Polovyi V. Azimuthally invariant Mueller-matrix tomography of linear dichroism of polycrystalline networks of biological tissues. Advanced Topics in Optoelectronics, Microelectronics and Nanotechnologies X. Vol. 11718. International Society for Optics and Photonics, 2020. (*Scopus*)
4. **Де впроваджено:** у відділеннях судово-медичної експертизи трупів та судово-медичної криміналістики КМУ «Обласне бюро судово-медичної експертизи» Департаменту охорони здоров'я Чернівецької ОДА.
5. **Термін впровадження:** січень-лютий 2022 року.
6. **Форма впровадження:** у судово-медичній та медико-криміналістичній практиці при проведенні експертиз трупів та встановленні давності настання смерті.
7. **Результати впровадження:** використання результатів наукових досліджень Саркісової Ю.В. щодо застосування методу Мюллер-матричної реконструкції двопротенезаломлення шарів скловидного тіла трупа людини в судово-медичній практиці дає змогу ефективно встановлювати давність настання смерті з високою точністю.
8. **Зауваження та пропозиції:** не вносилися.

Відповідальний за впровадження:

Заступник начальника КМУ «Обласне
 бюро судово-медичної експертизи»
 Департаменту охорони здоров'я
 Чернівецької ОДА

Олександр ЛАЗЕБНИК

Завідувач відділу судово-медичної експертизи трупів
 КМУ «Обласне
 бюро судово-медичної експертизи»
 Департаменту охорони здоров'я
 Чернівецької ОДА
 к.мед.н., доцент

Ілля БЕЖЕНАР

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Начальник обласного бюро судово-медичної експертизи Житомирської обласної ради

ЗОЗУЛЯ

_____ 2022 р.

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

матеріалів дисертаційної роботи Саркісової Юлії Володимирівни в судово-медичній практиці

1. **Найменування пропозиції для впровадження:** «Спосіб азимутально-інваріантного визначення давності настання смерті за мюллер-матричним картографуванням шарів скловидного тіла трупа людини».
2. **Ким запропоновано:** Буковинський державний медичний університет, кафедра судової медицини та медичного правознавства, 58000, м. Чернівці, Театральна площа, 2, Саркісова Ю.В., Бачинський В.Т.
3. **Джерело інформації:**
 - Bachinsky V, Sarkisova Yu, Vanchulyak O, Ushenko O, Zhytaryuk V, Dvorjak V, Martsenyak IV, Dubolazov O, Litvinenko O, Hoholeva T. Polarization correlometry of microscopic images of layers of biological tissues and films of biological liquids in the diagnostics of pressure of death. Proceedings Volume 11087, Biosensing and Nanomedicine XII; 2019; 110870Q. (*Scopus*)
 - Саркісова ЮВ, Бачинський ВТ, Ванчуляк ОЯ, Ушенко ОГ, Ушенко ЮО, Дуболазов ОВ, Томка ЮЯ винахідники; Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, патентовласник. Спосіб азимутально-інваріантного визначення давності настання смерті за мюллер-матричним картографуванням шарів скловидного тіла трупа людини. Патент України № 143823. 2020 Серп 10.
 - Ushenko AG, Sarkisova Y, Bachinsky VT, Sagymbai A, Abdihanov A. Diagnostics of the prescriptions of death by a method of azimuthally-invariant Mueller-matrix microscopy. Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering, 2020, 11581, 115810J. (*Scopus*)
4. **Де впроваджено:** у відділі судово-медичної експертизи трупів обласного бюро судово-медичної експертизи Житомирської обласної ради.
5. **Термін впровадження:** лютий 2022 року.
6. **Форма впровадження:** матеріали дисертаційної роботи були втілені в експертно-діагностичну практичну роботу відділу судово-медичної експертизи трупів.
7. **Результати впровадження:** використання результатів наукових досліджень Саркісової Ю.В. дозволяють удосконалити можливості встановлення давності настання смерті.
8. **Зауваження та пропозиції:** не вносилися.

Відповідальний за впровадження:

Начальник обласного бюро судово-медичної експертизи
Житомирської обласної ради, к.мед.н., доцент

Віталій ЗОЗУЛЯ

Завідувач відділу експертизи трупів
обласного бюро судово-медичної експертизи
Житомирської обласної ради

Дмитро КОРНІЙЧУК

Завідувач відділення судово-медичної криміналістики
обласного бюро судово-медичної експертизи
Житомирської обласної ради

Михайло ДАНИЛЮК



«ЗАТВЕРДЖУЮ»
 Проректор з науково-педагогічної та навчальної
 роботи Національного медичного
 університету імені О. О. Богомольця

проф. О.М. ВЛАСЕНКО
 2022 р.

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

матеріалів дисертаційної роботи Саркісової Юлії Володимирівни
 в науково-педагогічний процес

1. **Найменування пропозиції для впровадження:** «Спосіб визначення давності настання смерті методом спектрально-селективної лазерної флуоресцентної мікроскопії шарів скловидного тіла».
2. **Ким запропоновано:** Буковинський державний медичний університет, кафедра судової медицини та медичного правознавства, 58000, м. Чернівці, Театральна площа, 2, Саркісова Ю.В., Бачинський В.Т.
3. **Джерело інформації:**
 - Саркісова ЮВ, Бачинський ВТ, Ванчуляк ОЯ, Ушенко ОГ, Ушенко ЮО, Дуболазов ОВ, Томка ЮЯ винахідники; Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, патентовласник. Спосіб визначення давності настання смерті методом спектрально-селективної лазерної флуоресцентної мікроскопії шарів скловидного тіла. Патент України № 143815. 2020 Серп 10.
 - Саркісова ЮВ, Маланчук СМ. Спектрально-селективна лазерно-індукована автофлуоресцентна мікроскопія полікристалічної фракції склистого тіла людини в діагностиці давності настання смерті. Судово-медична експертиза. 2020; 1:61-9.
4. **Де впроваджено:** на кафедрі судової медицини та медичного права Національного медичного університету ім. О.О. Богомольця.
5. **Термін впровадження:** з січня 2022 року.
6. **Форма впровадження:** матеріали дисертаційної роботи були впроваджені в навчальний процес кафедри судової медицини та медичного права Національного медичного університету ім. О.О. Богомольця, включені до лекційного курсу та практичних занять.
7. **Результати впровадження:** використання результатів наукових досліджень Саркісової Ю.В. в педагогічному процесі дає змогу розширити існуючі відомості про можливість встановлення давності настання смерті.
8. **Зауваження та пропозиції:** не вносилися.

Відповідальний за впровадження:

Завідувач кафедри
 судової медицини та медичного права
 Національного медичного
 університету ім. О.О. Богомольця
 д.мед.н., професор

Б.В.МИХАЙЛИЧЕНКО

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Проректор з наукової роботи
Івано-Франківського національного
медичного університету
професор Ігор ВАКАЦЮК

« 17 » 2022 р.


АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

матеріалів дисертаційної роботи Саркісової Юлії Володимирівни
в науково-педагогічний процес

- 1. Найменування пропозиції для впровадження:** «Спосіб азимутально-інваріантного визначення давності настання смерті за муллер-матричною реконструкцією двопронезаломлення шарів скловидного тіла трупа людини».
- 2. Ким запропоновано:** Буковинський державний медичний університет, кафедра судової медицини та медичного правознавства, 58000, м. Чернівці, Театральна площа, 2, Саркісова Ю.В., Бачинський В.Т.
- 3. Джерело інформації:**
 1. Саркісова ЮВ, Бачинський ВТ, Ванчуляк ОЯ, Ушенко ОГ, Ушенко ЮО, Дуболазов ОВ, Томка ЮЯ винахідники; Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, патентовласник. Спосіб азимутально-інваріантного визначення давності настання смерті за муллер-матричною реконструкцією двопронезаломлення шарів скловидного тіла трупа людини. Патент України № 143821. 2020 Серп 10.
 2. Pavlyukovich A, Pavlyukovich N, Sarkisova Y, Dubolazov O, Ushenko A, Ushenko V, Polovyi V. Azimuthally invariant Mueller-matrix tomography of linear dichroism of polycrystalline networks of biological tissues. Advanced Topics in Optoelectronics, Microelectronics and Nanotechnologies X. Vol. 11718. International Society for Optics and Photonics, 2020. (*Scopus*)
- 4. Де впроваджено:** на кафедра судової медицини та медичного права Івано-Франківського національного медичного університету.
- 5. Термін впровадження:** з січня 2022 року.
- 6. Форма впровадження:** у науково-дослідному та навчальному процесі в лекційному курсі та при проведенні практичних занять за темою: «Судово-медична танатологія. Огляд трупа на місці події. Судово-медичний розтин трупа та його демонстрація».
- 7. Результати впровадження:** використання результатів наукових досліджень Саркісової Ю.В. в науковому та педагогічному процесі дає змогу розширити уявлення та існуючі можливості встановлення давності настання смерті.
- 8. Зауваження та пропозиції:** не вносилися.

Відповідальний за впровадження:

Завідувач кафедри
судової медицини та медичного права
Івано-Франківського національного
медичного університету
д.мед.н., професор

 Наталія КОЗАНЬ

Доцент кафедри судової медицини та медичного права
Івано-Франківського національного
медичного університету
к.мед.н.

 Володимир ВОЛОШИНОВИЧ

Асистент кафедри судової медицини та медичного права
Івано-Франківського національного
медичного університету
доктор філософії

 Юлія КОЦУБИНСЬКА

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Начальник КЗ "Кіровоградське обласне бюро

судово-медичної експертизи"

Володимир ШИЛАН

«17» 01 2022 р.



АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

матеріалів дисертаційної роботи Саркісової Юлії Володимирівни
в судово-медичну практику

1. **Найменування пропозиції для впровадження:** «Спосіб азимутально-інваріантного визначення давності настання смерті за мюллер-матричною реконструкцією двопронезаломлення шарів скловидного тіла трупа людини».
2. **Ким запропоновано:** Буковинський державний медичний університет, кафедра судової медицини та медичного правознавства, 58000, м. Чернівці, Театральна площа, 2, Саркісова Ю.В., Бачинський В.Т.
3. **Джерело інформації:**
 - 1) Sarkisova Yu, Bachinskiy V, Palamar A, Palibroda N, Patratii M. Diagnostic possibilities of analysis of the map of linear birefringence of the crystal fraction of vitreous body for accurate determination of the time since death. CBU international conference on innovations in science and education. March 18-20, Prague, Czech Republic. 2020; 82-9.
 - 2) Саркісова ЮВ, Бачинський ВТ, Ванчуляк ОЯ, Ушенко ОГ, Ушенко ЮО, Дуболазов ОВ, Томка ЮЯ винахідники; Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, патентовласник. Спосіб азимутально-інваріантного визначення давності настання смерті за мюллер-матричною реконструкцією двопронезаломлення шарів скловидного тіла трупа людини. Патент України № 143821. 2020 Серп 10.
 - 3) Pavlyukovich A, Pavlyukovich N, Sarkisova Y, Dubolazov O, Ushenko A, Ushenko V, Polovyi V. Azimuthally invariant Mueller-matrix tomography of linear dichroism of polycrystalline networks of biological tissues. Advanced Topics in Optoelectronics, Microelectronics and Nanotechnologies X. Vol. 11718. International Society for Optics and Photonics, 2020. (Scopus)
4. **Де впроваджено:** у відділенні судово-медичної експертизи трупів КЗ «Кіровоградське обласне бюро судово-медичної експертизи».
5. **Термін впровадження:** січень-лютий 2022 року.
6. **Форма впровадження:** матеріали дисертаційної роботи були втілені в експертно-діагностичну практичну роботу відділу судово-медичної експертизи трупів.
7. **Результати впровадження:** використання результатів наукових досліджень Саркісової Ю.В. дозволяють розширити існуючі відомості про критерії визначення давності настання смерті.
8. **Зауваження та пропозиції:** не вносилися.

Відповідальний за впровадження:

Начальник КЗ «Кіровоградське обласне
бюро судово-медичної експертизи»

Володимир ШИЛАН

Завідувач відділення експертизи трупів
КЗ «Кіровоградське обласне
бюро судово-медичної експертизи»

Ірина КОРЧЕНКО

Завідувач відділення судово-медичної криміналістики
КЗ «Кіровоградське обласне
бюро судово-медичної експертизи»

Костянтин БУКІН

«Затверджую»



Проректор закладу вищої освіти
з науково-педагогічної роботи
Тернопільського національного
медичного університету
імені І.Я.Горбачевського
проф. Аркадій ШУЛЬГАЙ
« 17 » жовтня 2022 р.

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

матеріалів дисертаційної роботи Саркісової Юлії Володимирівни
в науково-педагогічний процес

1. **Найменування пропозиції для впровадження:** «Спосіб визначення давності настання смерті методом Стокс-поляриметричного картографування шарів склистого тіла людини».
2. **Ким запропоновано:** Буковинський державний медичний університет, кафедра судової медицини та медичного правознавства, 58000, м. Чернівці, Театральна площа, 2, Саркісова Ю.В., Бачинський В.Т.
3. **Джерело інформації:**
 - Sarkisova YV, Bachynskiy VT, Garazdiuk OI, Garazdiuk IV, Teleki IM. Postmortem interval estimation by the method of wavelet analysis of stokes-polarimetric mapping data of human vitreous body layers. Wiadomości Lekarskie. 2021; LXXIV:2118-2122. (*Web of Science*)
 - Саркісова ЮВ, Бачинський ВТ, Ванчуляк ОЯ, Ушенко ОГ, Ушенко ЮО, Дуболазов ОВ, Томка ЮЯ винахідники; Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, патенто власник. Спосіб визначення давності настання смерті методом стокс-поляриметричного картографування шарів скловидного тіла. Патент України № 143792. 2020 Серп 10.
 - Sarkisova YV. Diagnosis of the time since death by using of the azimuth-invariant Muller-matrix microscopy method of the human vitreous body. Буков. мед. вісн. 2020;24(1):128-33.
4. **Де впроваджено:** на кафедрі патологічної анатомії з секційним курсом та судовою медициною Тернопільського національного медичного університету ім. І.Я. Горбачевського.
5. **Термін впровадження:** з листопада 2021 року.
6. **Форма впровадження:** матеріали дисертаційної роботи були втілені в навчальний процес кафедри, включені до лекційного курсу і практичних занять протягом 2021-2022 рр.
7. **Результати впровадження:** використання результатів наукових досліджень Саркісової Ю.В. в науковому та педагогічному процесі дозволяє удосконалити діагностику давності настання смерті.
8. **Зауваження та пропозиції:** не внесені.

Відповідальний за впровадження:

Професор кафедри патологічної анатомії
з секційним курсом та судовою медициною
Тернопільського національного
медичного університету ім. І.Я. Горбачевського
д-р мед. наук

Валентин ФРАНЧУК

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

В.о. начальника Івано-Франківського
обласного бюро судово-медичної експертизи

Ігор Горичок

2022 р.

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

матеріалів дисертаційної роботи Саркісової Юлі Володимирівни
в судово-медичну практику

1. **Найменування пропозиції для впровадження:** «Спосіб визначення давності настання смерті методом спектрально-селективної лазерно-індукованої автофлуоресцентної мікроскопії шарів скловидного тіла людини».
2. **Ким запропоновано:** Буковинський державний медичний університет, кафедра судової медицини та медичного правознавства, 58000, м. Чернівці, Театральна площа, 2, Саркісова Ю.В., Бачинський В.Т.
3. **Джерело інформації:**
 - Саркісова ЮВ, Бачинський ВТ, Ванчуляк ОЯ, Ушенко ОГ, Ушенко ЮО, Дуболазов ОВ, Томка ЮЯ винахідники; Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, патентовласник. Спосіб визначення давності настання смерті методом спектрально-селективної лазерної флуоресцентної мікроскопії шарів скловидного тіла. Патент України № 143815. 2020 Серп 10.
 - Саркісова ЮВ, Маланчук СМ. Спектрально-селективна лазерно-індукована автофлуоресцентна мікроскопія полікристалічної фракції склистого тіла людини в діагностиці давності настання смерті. Судово-медична експертиза. 2020; 1:61-9.
4. **Де впроваджено:** у відділі судово-медичної експертизи трупів Івано-Франківського обласного бюро судово-медичної експертизи.
5. **Термін впровадження:** січень-лютий 2022 року.
6. **Форма впровадження:** матеріали дисертаційної роботи були впроваджені в практичну експертну роботу відділу судово-медичної експертизи трупів Івано-Франківського обласного бюро судово-медичної експертизи.
7. **Результати впровадження:** використання результатів наукових досліджень Саркісової Ю.В. дозволяють розширити відомості про критерії визначення давності настання смерті.
8. **Зауваження та пропозиції:** не вносилися.

Відповідальний за впровадження:

Завідувач відділу експертизи трупів
Івано-Франківського обласного бюро
судово-медичної експертизи

Марта КОГУТ