

СУЧАСНИЙ СТАН ПРОБЛЕМИ СУДОВО-МЕДИЧНОГО ВСТАНОВЛЕННЯ ДАВНОСТІ НАСТАННЯ СМЕРТІ (ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ)

В.К. Сокол

Харківський національний медичний університет, м. Харків, Україна

Ключові слова: давність настання смерті, судово-медична експертиза, встановлення, посмертний інтервал, сучасні технології.

Буковинський медичний вісник. 2022. Т. 26, № 3 (103). С. 91-96.

DOI: 10.24061/2413-0737.XXVI.3.103.2022.15

E-mail: sokol_vk@ukr.net

Резюме. Визначення давності настання смерті є ключовим питанням судово-слідчих органів при роботі з трупом на місці подій. Адже саме надані судово-медичним експертом точні дані дозволяють відповісти на важливі питання під час розслідування злочину. Незважаючи на величезну кількість фундаментальних досліджень, проведених протягом багатьох десятиліть та присвячених точному встановленню часу, що минув від моменту настання смерті, дана проблема досі не вирішена. Попри отримані багатообіцяючі результати, більшість запропонованих методів були охарактеризовані як ненадійні через чутливість до впливу багатьох зовнішніх та внутрішніх модифікуючих факторів.

На нашу думку, перспективним є поєднання різних методів діагностики давності настання смерті для одночасного аналізу кількох складових, що дозволить врахувати різні причини смерті, патологічні стани та інші фактори, що можуть внести похибку в отриманий результат.

CURRENT STATE OF THE PROBLEM OF FORENSIC MEDICAL DETERMINATION OF THE TIME SINCE DEATH (LITERATURE REVIEW)

V.K. Sokol

Key words: time since death, forensic medical examination, establishment, postmortem interval, modern technologies.

Bukovinian Medical Herald. 2022. V. 26, № 3 (103). P. 91-96.

Abstract. Determining the time since death is a key issue for forensic authorities when working with a corpse at the scene of death. After all, it is precisely the accurate data provided by the forensic medical expert that makes it possible to answer important questions during the investigation of a crime. Despite the enormous amount of fundamental research conducted over many decades and devoted to the exact establishment of the time since death, this problem has not been solved yet. Despite the obtained promising results, most of the proposed methods were characterized as unreliable due to sensitivity to the influence of many external and internal modifying factors.

In our opinion, it is promising to combine different methods of postmortem interval diagnostics for the simultaneous analysis of several components, which will allow taking into account various causes of death, pathological conditions and other factors that can influence the obtained result.

Вступ. На сучасному етапі розвитку судово-медичної науки та практики не втрачає своєї актуальності питання встановлення давності настання смерті (ДНС). Адже в більшості випадків смертельних наслідків, ключовим питанням слідчих органів залишається точне встановлення часу, що пройшов після смерті, оскільки ця інформація може допомогти ідентифікувати жертву, встановити обставини справи, притягнути до відповідальності злочинця чи спростувати причетність конкретної особи до скоєння злочину, спираючись на її алібі [1]. Однак точна оцінка ДНС все ще залишається складним завданням, незважаючи на чисельну кількість наукових розробок світових учених у даному напрямку [1-6].

У своїй повсякденній практиці судово-медичні експерти використовують класичні методики

визначення ДНС, що базуються на фізіологічних (аутоліз), фізичних (охолодження тіла), фізико-хімічних (трупне залякання), метаболічних (суправітальні реакції) та бактеріальних процесах, що відбуваються в тілі після смерті [2]. Однак дані рутинні методи включають великі неточності та обмеження у їх застосуванні і вони залежать від умов навколишнього середовища та індивідуальних ознак організму (вікові, статеві, фізіологічні і патологічні зміни) [1, 3, 4].

Відомо, що після смерті в організмі відбувається низка характерних і послідовних змін, але тривалість даних процесів значно відрізняється в різних людей. На швидкість розвитку посмертних змін впливають різноманітні внутрішні та зовнішні фактори, які часто можуть підсилювати один одного [2]. Вважається, що

Наукові огляди

прискорення посмертних змін може викликати: висока вологість та температура навколишнього середовища, теплий одяг, ожиріння, цукровий діабет, інфекції, сепсис, інтоксикація деякими наркотичними речовинами тощо [5]. Всі вище описані фактори, а також багато інших неодмінно потрібно враховувати при дослідженні ДНС. Саме через таку надзвичайну мінливість пошук ідеального методу для точного встановлення ДНС став питанням номер один для світових науковців судово-медичної галузі.

Одними з перших орієнтовних методик встановлення ДНС при рутинній експертизі трупа є оцінка трупних плям, залякання та охолодження тіла. Прийнято вважати, що трупне залякання з'являється приблизно через 2 години після смерті в м'язах обличчя, далі поширюється у всіх групах м'язів та залишається протягом 12 – 24 годин. Повне розрешення м'язового затвердіння зазвичай відбувається через 36 годин після смерті. Однак дана посмертна ознака сильно залежить від зовнішніх факторів, а також від міжіндивідуальної мінливості (вік, стать, фізична активність, причина смерті) [6, 7]. Щодо оцінки розвитку трупних плям, результати також є значною мірою орієнтовними, що зумовлено її суб'єктивністю та залежністю від сприйняття дослідником візуальних змін при натисканні на пляму. Оскільки дана методика оцінки ДНС вимагала сучасного підходу, виникло багато досліджень, присвячених розробці колориметричних методів для оцінки трупних плям, що були більш об'єктивними, але все ж не забезпечували достатньої точності [7].

Встановлення ДНС за охолодженням трупа вважається найточнішим методом із класичних у ранньому посмертному періоді. Однак отримання точного результату вимагає значних знань і громіздких досліджень, що пов'язано з численними факторами, які впливають на температурний градієнт між температурою тіла та температурою навколишнього середовища: патологічні стани, фізичне навантаження, стрес, індекс маси тіла, зменшення споживання рідини, вживання деяких лікарських препаратів, фактори навколишнього середовища тощо [1, 2]. Оскільки емпіричне правило (щогодини після смерті температура тіла знижується на 1°C) дає досить орієнтовний діапазон ДНС, дослідниками розроблено багато діаграм, формул і алгоритмів для її оцінки температурним методом з урахуванням вищеописаних факторів [3, 7-9]. Найбільш поширеною вважається номограма Хенге, яка вимагає вимірювання та побудови графіка зміни температури навколишнього середовища та внутрішньої температури тіла на місці смерті, враховуючи вагу та вводячи коригувальний коефіцієнт для одягу, оскільки розрахунки базуються на оголеному тілі, що лежить витягнуто на нерухомому повітрі [10]. Однак враховуючи вищеописане, дана номограма також має низку обмежень, у тому числі вона непридатна для немовлят і дітей вагою до 10 кг [11]. У даних літератури можна виявити безліч модифікацій та аналітичних моделей оцінки зміни температури тіла, а також проведення

вимірювань у різних ділянках та органах [12-15].

Оскільки використання класичних методів не дозволяє досягти необхідної для правоохоронних органів точності встановлення ДНС, науковці продовжують пошуки нових методів, які базуються на сучасних технологічних світових досягненнях. Новою гілкою в дослідженнях, присвячених визначенню ДНС, на ранній стадії став гістохімічний аналіз, що ґрунтується на молекулярних модифікаціях у клітинах, які отримані в результаті хімічних реакцій між зразком біологічної тканини (БТ) та хімічними агентами, шляхом аналізу функцій та хімічної активності на основі морфологічних змін [16]. Крім того, вченими відзначено перерозподіл електролітів у БТ, що призводить до зміни їхнього рівня. Наприклад, аутоліз викликає збільшення K^+ та зниження $NaCl$ у позаклітинній рідині. Водночас метаболічні процеси можуть викликати підвищення аміаку, молочної кислоти, гіпоксантину та зниження рівня глюкози [17]. На метаболічні та аутолітичні процеси впливають температура тіла, захворювання, тривалість агонального періоду, а також місце та метод збору зразків. Так, у наукових джерелах з'явилась велика кількість результатів біохімічної оцінки різноманітних БТ (кров, сеча, перикардальна, синовіальна, спинномозкова рідина, склисте тіло) [17-21]. Однак низка внутрішніх і зовнішніх обмежуючих чинників не дозволяють застосування біохімічних методик при дослідженні ДНС у повсякденній практичній діяльності [12, 18, 20].

Значну увагу присвячено дослідженням концентрації електролітів склистого тіла (СТ). Даний об'єкт дослідження обраний науковцями через його розташування та відносну стійкість хімічної будови до посмертних змін, що дозволяє встановлювати ДНС з більшою точністю. Деякі автори зазначають, що оцінка СТ має значні переваги перед такими рідинами організму, як кров та ліквор [22]. Результати багатьох досліджень показують аналогічні значення рівня електролітів СТ залежно від періоду після настання смерті [23-28]. Науковцями побудовані графіки, отримана лінійна залежність між ДНС та підвищенням концентрації K^+ СТ, а також запропоновані універсальні формули з використанням лінійної регресії, що б дозволило швидко отримати точний результат [24, 26]. За вивченими даними, визначення концентрації K^+ СТ забезпечує розрахунковий час смерті в межах 1,75-4,25 годин у ранньому посмертному періоді, з розширенням діапазону точності при зростанні ДНС [28]. Однак у багатьох статтях зазначають низку факторів, які можуть впливати на зміну концентрації електролітів СТ та на результати діагностики: захворювання, що змінюють загальний гомеостаз електролітів в організмі, температура навколишнього середовища, вік, використання різного обладнання та ін. [25]. Таким чином можна дійти висновку, що формули для визначення ДНС за концентрацією K^+ потребують подальшого доопрацювання, задля врахування вищезазначених чинників у кожному конкретному

випадку, що може значно покращити точність результатів.

Оскільки око людини вважається оптимальним об'єктом для оцінки ДНС, багато вчених зосередилися на нових статистичних і аналітичних методах дослідження різних його складових. Нещодавно з'явилися нові дані, щодо оцінки ДНС на основі вимірювань товщини рогівки та водянистої вологи, які показали, що центральна товщина рогівки, виміряна за допомогою оптичної когерентної томографії, сильно корелює з ДНС [29]. Lossi et al. вивчали водянисту вологу ока на тваринній моделі шляхом спектрального аналізу даних за допомогою багатофакторних статистичних інструментів, що дозволило отримати похибку встановлення ДНС ± 1 год [30]. Однак точність даної методики також залежить від низки факторів.

На нашу думку, цікавим напрямком є дослідження БТ лазерними поляризаційними методиками. Ми виявили низку публікацій, в яких описані можливості даних технік у виявленні та описі морфологічних особливостей різноманітних тканин та рідин організму як у нормі, так і при патологічних змінах, у тому числі для вирішення судово-медичних питань [31-36]. Зокрема, продемонстровано застосування методу поляризаційної томографії розподілів лінійного двопронезаломлення полікристалічної складової шарів СТ шляхом статистичного та вейвлет-аналізу. Авторами встановлено діапазон чутливості до 36 годин із точності визначення ДНС до 15 хвилин, що достатньо перевищує результати, отримані іншими науковцями [32].

Багатообіцяючими в діагностиці ДНС є досягнення в молекулярній біології, що дозволяють проводити оцінку залежності деградації біологічних маркерів (наприклад, білків, ДНК і РНК) від часу, що минув після смерті [37]. Кілька авторів [38, 39] опублікували дослідження щодо кількісного визначення РНК, як можливого індикатора ДНС. Розроблена математична модель на основі R-коду з використанням шаблонів деградації РНК для визначення ДНС [40, 41]. Автори зазначають, що 5S, miR-1 та miR-133a є оптимальними еталонними біомаркерами, за якими можна визначити помертний інтервал на досить тривалому проміжку часу [41]. На нашу думку, аналіз помертної деградації РНК є відносно новою галуззю досліджень з великим потенціалом для судово-медичного застосування. Однак, враховуючи відсутність стандартних процедур для збору та аналізу зразків та дороговартісність реактивів, дана методологія не отримала широкого застосування в повсякденній практичній діяльності.

Також привертають увагу деякі обмеження щодо точної оцінки ДНС на пізніх стадіях. Серед наукової спільноти одними з найперспективніших методів визначення ДНС на тривалому проміжку вважаються ентомологічні дослідження [42-44]. З кожним роком галузь судової ентомології розвивається та з'являється все більше наукових публікацій, які підтверджують діагностичну ефективність методик при розслідуванні кримінальних справ [43-44].

Висновок. Проаналізувавши велику кількість сучасних наукових доробок, ми дійшли висновку, що для отримання якнайточнішого результату при оцінці давності настання смерті, необхідно застосовувати поєднання різних методів діагностики. Слід пам'ятати, що для впровадження в щоденну практичну діяльність методика повинна бути відтворюваною, точною, максимально доступною та швидкою. На нашу думку, для підвищення точності встановлення давності настання смерті перспективним може бути одночасний аналіз кількох складових комплексом методів, що дозволить врахувати різні причини смерті, патологічні стани та інші фактори, які можуть внести похибку в отриманий результат.

Список літератури

1. Byard RW. Timing: the Achilles heel of forensic pathology. *Forensic Science, Medicine, and Pathology*. 2017;13(2):113-4.
2. Hayman J, Oxenham M. Estimation of the Time Since Death: Current Research and Future Trends. 2020. 268 p.
3. Бачинський ВТ, Мішалов ВД, Ванчуляк ОЯ, Гараздук МС, Андрійчук АО, Саркісова ЮВ. Сучасні діагностичні можливості судової медицини у вирішенні питань встановлення давності настання смерті. *Клінічна та експериментальна патологія*. 2015;14(2):12-5.
4. Мішалов ВД, Войченко ВВ, Петрошак ОЮ, Дунаєв ОВ, Козлов СВ, Костенко ЄЯ, та ін. Судово-медична оцінка особливостей біологічних тканин людини стосовно визначення давності настання смерті і заподіяння механічних ушкоджень. *Судово-медична експертиза*. 2019;1:50-2. DOI: 10.24061/2707-8728.1.2019.10.
5. 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*. 2021;50:101862. DOI: 10.1016/j.legalmed.2021.101862.
6. 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.
7. 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. *Int J Legal Med*. 2019;133(4):1133-9. DOI:10.1007/s00414-019-02034-z.
8. Wilk LS, Hoveling RJM, Edelman GJ, Hardy HJJ, van Schouwen S, van Venrooij H, et al. Reconstructing the time since death using noninvasive thermometry and numerical analysis. *Sci Adv*. 2020;6(22):eaba4243. DOI: 10.1126/sciadv.aba4243.
9. Jeong SJ, Park SH, Park JE, Park SH, Moon TY, Shin SE, et al. Extended model for estimation of ambient temperature for postmortem interval (PMI) in Korea. *Forensic Sci Int*. 2020;309:110196. DOI: 10.1016/j.forsciint.2020.110196.
10. 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.
11. Hayman J, Oxenham M. Estimation of the Time Since Death: Current Research and Future Trends. 2020. 268 p.
12. Madea B. Methods for determining time of death. *Forensic Sci Med Pathol*. 2016;12(4):451-85.
13. Sharma P, Kabir CS. A Simplified Approach to Understanding Body Cooling Behavior and Estimating the Postmortem Interval. *Forensic Sci*. 2022 May 6;2(2):403-16.
14. Kaliszán M, Wujtewicz M. Eye temperature measured after death in human bodies as an alternative method of time of death estimation in the early postmortem period. A successive

Наукові огляди

- study on new series cases with exactly known time of death. *Leg Med.* 2019;38:10-13.
15. Laplace K, Baccino E, Peyron PA. Estimation of the time since death based on body cooling: A comparative study of four-temperature based models. *Int J Leg Med.* 2021;135(6):2479-87.
16. 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.
17. Donaldson AE, Lamont IL. Biochemistry changes that occur after death: potential markers for determining post-mortem interval. *PLoS ONE.* 2013;8(11):e82011.
18. Cordeiro C, Ordóñez-Mayán L, Lendoiro E, Febrero-Bande M, Vieira DN, Muñoz-Barús JL. A reliable method for estimating the postmortem interval from the biochemistry of the vitreous humor, temperature and body weight. *Forensic Sci Int.* 2019;295:157-68.
19. Kaszynski RH, Nishiumi S, Azuma T, Yoshida M, Kondo T, Takahashi M, et al. Postmortem interval estimation: a novel approach utilizing gas chromatography/mass spectrometry-based biochemical profiling. *Anal Bioanal Chem.* 2016;408(12):3103-12.
20. El-Noor MM, Elhosary NM, Khedr NF, El-Desouky KI. Estimation of early postmortem interval through biochemical and pathological changes in rat heart and kidney. *Am J Forensic Med Pathol.* 2016;37(1):40-6.
21. Garland J, Philcox W, Kesha K, Morrow P, Lam L, Spark A, et al. Differences in sampling site on postmortem cerebrospinal fluid biochemistry: a preliminary study. *Am J Forensic Med Pathol.* 2018;39(4):304-8.
22. 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;36:144-8.
23. 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. *Journal of Forensic Science and Medicine.* 2018;4(2):85.
24. McCleskey BC, Dye DW, Davis GG. Review of Postmortem Interval Estimation Using Vitreous Humor: Past, Present, and Future. *Acad Forensic Pathol.* 2016;6(1):12-8.
25. 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. DOI: 10.1016/j.forsciint.2015.07.020.
26. Ioel 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.
27. Ave MT, Ordóñez-Mayán L, Camiña M, Febrero-Bande M, Muñoz-Barús JL. Estimation of the post-mortem interval: Effect of storage conditions on the determination of vitreous humour [K⁺]. *Sci Justice.* 2021;61(5):597-602. DOI: 10.1016/j.scijus.2021.07.005.
28. 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;310:110235.
29. Napoli PE, Nioi M, Gabiati L, Lorenzo M, De-Giorgio F, Scordia V, et al. Repeatability and reproducibility of postmortem central corneal thickness measurements using a portable optical coherence tomography system in humans: A prospective multicenter study. *Sci Rep.* 2020;10(1):14508.
30. Locci E, Stocchero M, Noto A, Chighine A, Natali L, Napoli PE, et al. A 1H NMR metabolomic approach for the estimation of the time since death using aqueous humor: An animal model. *Metabolomics.* 2019;15(5):76.
31. Ushenko O, Zhytaryuk V, Dvorjak V, Martsenyak IV, Dubolazov O, Bodnar BG, et al. Multifunctional polarization mapping system of networks of biological crystals in the diagnostics of pathological and necrotic changes of human organs. In: *Biosensing and Nanomedicine XII.* 2019 Sep 9;11087:54-8.
32. Саркісова ЮВ, Бачинський ВТ, Ушенко ОГ, Мельник ММ. Поляризаційна мікроскопічна томографія полікристалічної структури препаратів склоподібного тіла у діагностичні давності настання смерті. Сучасні медичні технології. 2019;4:54-61.
33. Stashkevich AT, Wanchulyak Y, Litvinenko OY, Ushenko YO, Dubolazov OV, Sorochan E, et al. Differential Mueller-matrix tomography of the polycrystalline structure of biological tissues with different damage durations. In *Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments, SPIE.* 2021;12040:101-6.
34. Harazdyuk MS, Bachinsky VT, Wanchulyak OY, Ushenko AG, Ushenko YA, Dubolazov AV, et al. Correlation and Autofluorescence Microscopy in Forensics Medicine: Time of Death Detection Using Polycrystalline Cerebrospinal Fluid Films. Springer; 2021. 31-8.
35. Ivashkevich Y, Wanchulyak O, Bachinskiy V, Tomka Y, Soltys I, Dubolazov O, et al. Phase reconstruction of the polycrystalline structure of internal organs tissues in the differentiation of alcohol and carbon monoxide poisoning. In *Advanced Topics in Optoelectronics, Microelectronics and Nanotechnologies X.* SPIE. 2020 Dec;11718:340-45.
36. Bachinsky V, Wanchulyak OY, Ushenko AG, Ushenko YA, Dubolazov AV, Bykov A, et al. Scale-Selective Multidimensional Polarisation Microscopy in the Post-mortem Diagnosis of Acute Myocardium Ischemia. In *Multi-parameter Mueller Matrix Microscopy for the Expert Assessment of Acute Myocardium Ischemia.* Springer, Singapore; 2021. 23-51.
37. Tu C, Du T, Shao C, Liu Z, Li L, Shen Y. Evaluating the potential of housekeeping genes, rRNAs, snRNAs, microRNAs and circRNAs as reference genes for the estimation of PMI. *Forensic Sci Med Pathol.* 2018;14(2):194-201.
38. Lv YH, Ma JL, Pan H, Zhang H, Li WC, Xue AM, et al. RNA degradation as described by a mathematical model for post-mortem interval determination. *J Forensic Leg Med.* 2016;44:43-52.
39. Poór VS, Lukács D, Nagy T, Rác E, Sipos K. The rate of RNA degradation in human dental pulp reveals post-mortem interval. *Int J Legal Med.* 2016;130(3):615-9.
40. Kim JY, Kim Y, Cha HK, Lim HY, Kim H, Chung S, et al. Cell death-associated ribosomal RNA cleavage in post-mortem tissues and its forensic applications. *Mol Cells.* 2017;40(6):410-7.
41. Lv YH, Ma JL, Pan H, Zeng Y, Tao L, Zhang H, et al. Estimation of the human post-mortem interval using an established rat mathematical model and multi-RNA markers. *Forensic Sci Med Pathol.* 2017;13(1):20-7.
42. Villet MH, Amendt J. Advances in entomological methods for death time estimation. In *Forensic Pathology Reviews; Turk, E.E., Ed.; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany; 2011. 213-37.*
43. Lei G, Liu F, Liu P, Zhou Y, Jiao T, Dang YH. A bibliometric analysis of forensic entomology trends and perspectives worldwide over the last two decades (1998-2017). *Forensic Sci Int.* 2019;295:72-82.
44. Matuszewski S, Madra-Bielewicz A. Post-mortem interval estimation based on insect evidence in a quasi-indoor habitat. *Sci Justice.* 2019;59(1):109-15.

References

1. Byard RW. Timing: the Achilles heel of forensic pathology. *Forensic Science, Medicine, and Pathology*. 2017;13(2):113-4.
2. Hayman J, Oxenham M. Estimation of the Time Since Death: Current Research and Future Trends. 2020. 268 p.
3. Bachyn'skyi VT, Mishalov VD, Vanchuliak OIa, Harazdiuk MS, Andriichuk AO, Sarkisova YuV. Suchasni diahnostychni mozhyvosti sudovoi medytsyny u vyrishenni pytannya vstanovlennia davnosti nastannia smerti [Modern diagnostic capabilities of forensic medicine in solving the issue of establishing the time limit for the onset of death]. *Klinichna ta eksperymental'na patolohiia*. 2015;14(2):12-5. (in Ukrainian).
4. Mishalov VD, Voichenko VV, Petroshak OIu, Dunaiev OV, Kozlov SV, Kostenko Yela, et al. Sudovo-medychna otsinka osoblyvosti biolohichnykh tkanyh liudyny stosovno vyznachennia davnosti nastannia smerti i zapodiiannia mekhanichnykh ushkodzen' [Forensic assessment of the characteristics of human biological tissues in relation to determining the time of death and the occurrence of mechanical injuries]. *Sudovo-medychna ekspertyza*. 2019;1:50-2. DOI: 10.24061/2707-8728.1.2019.10. (in Ukrainian).
5. 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*. 2021;50:101862. DOI: 10.1016/j.legalmed.2021.101862.
6. 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.
7. 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. *Int J Legal Med*. 2019;133(4):1133-9. DOI:10.1007/s00414-019-02034-z.
8. Wilk LS, Hoveling RJM, Edelman GJ, Hardy HJJ, van Schouwen S, van Venrooij H, et al. Reconstructing the time since death using noninvasive thermometry and numerical analysis. *Sci Adv*. 2020;6(22):eaba4243. DOI: 10.1126/sciadv.aba4243.
9. Jeong SJ, Park SH, Park JE, Park SH, Moon TY, Shin SE, et al. Extended model for estimation of ambient temperature for postmortem interval (PMI) in Korea. *Forensic Sci Int*. 2020 Apr 1;309:110196. DOI: 10.1016/j.forsciint.2020.110196.
10. 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. DOI: 10.1016/j.forsciint.2004.04.051.
11. Hayman J, Oxenham M. Estimation of the Time Since Death: Current Research and Future Trends. 2020. 268 p.
12. Madea B. Methods for determining time of death. *Forensic Sci Med Pathol*. 2016;12(4):451-85. DOI: 10.1007/s12024-016-9776-y.
13. Sharma P, Kabir CS. A Simplified Approach to Understanding Body Cooling Behavior and Estimating the Postmortem Interval. *Forensic Sci*. 2022 May 6;2(2):403-16.
14. Kaliszan M, Wujtewicz M. Eye temperature measured after death in human bodies as an alternative method of time of death estimation in the early postmortem period. A successive study on new series cases with exactly known time of death. *Leg Med*. 2019;38:10-13. DOI: 10.1016/j.legalmed.2019.03.004.
15. Laplace K, Baccino E, Peyron PA. Estimation of the time since death based on body cooling: A comparative study of four-temperature based models. *Int J Leg Med*. 2021;135(6):2479-87. DOI: 10.1007/s00414-021-02635-7.
16. 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.
17. Donaldson AE, Lamont IL. Biochemistry changes that occur after death: potential markers for determining post-mortem interval. *PloS ONE*. 2013;8(11):e82011.
18. Cordeiro C, Ordóñez-Mayán L, Lendoiro E, Febrero-Bande M, Vieira DN, Muñoz-Barús JI. A reliable method for estimating the postmortem interval from the biochemistry of the vitreous humor, temperature and body weight. *Forensic Sci Int*. 2019;295:157-68. DOI: 10.1016/j.forsciint.2018.12.007.
19. Kaszynski RH, Nishiumi S, Azuma T, Yoshida M, Kondo T, Takahashi M, et al. Postmortem interval estimation: a novel approach utilizing gas chromatography/mass spectrometry-based biochemical profiling. *Anal Bioanal Chem*. 2016;408(12):3103-12. DOI: 10.1007/s00216-016-9355-9.
20. El-Noor MM, Elhosary NM, Khedr NF, El-Desouky KI. Estimation of early postmortem interval through biochemical and pathological changes in rat heart and kidney. *Am J Forensic Med Pathol*. 2016;37(1):40-6. DOI: 10.1097/PAF.0000000000000214.
21. Garland J, Philcox W, Kesha K, Morrow P, Lam L, Spark A, et al. Differences in sampling site on postmortem cerebrospinal fluid biochemistry: a preliminary study. *Am J Forensic Med Pathol*. 2018;39(4):304-8. DOI: 10.1097/PAF.0000000000000420.
22. 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 humor chemistry. *J Forensic Leg Med*. 2015;36:144-8. DOI: 10.1016/j.jflm.2015.09.017.
23. 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. *Journal of Forensic Science and Medicine*. 2018;4(2):85.
24. McCleskey BC, Dye DW, Davis GG. Review of Postmortem Interval Estimation Using Vitreous Humor: Past, Present, and Future. *Acad Forensic Pathol*. 2016;6(1):12-8.
25. 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. DOI: 10.1016/j.forsciint.2015.07.020.
26. 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.
27. 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+]. *Sci Justice*. 2021;61(5):597-602. DOI: 10.1016/j.scijus.2021.07.005.
28. 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;310:110235. DOI: 10.1016/j.forsciint.2020.110235.
29. Napoli PE, Nioi M, Gabiati L, Lorenzo M, De-Giorgio F, Scoria V, et al. Repeatability and reproducibility of postmortem central corneal thickness measurements using a portable optical coherence tomography system in humans: A prospective multicenter study. *Sci Rep*. 2020;10(1):14508. DOI: 10.1038/s41598-020-71546-1.
30. Locci E, Stocchero M, Noto A, Chighine A, Natali L, Napoli PE, et al. A 1H NMR metabolomic approach for the estimation of the time since death using aqueous humour: An animal model. *Metabolomics*. 2019;15(5):76. DOI: 10.1007/s11306-019-1533-2.
31. Ushenko O, Zhytaryuk V, Dvorjak V, Martsenyak IV, Dubolazov O, Bodnar BG, et al. Multifunctional polarization

Наукові огляди

mapping system of networks of biological crystals in the diagnostics of pathological and necrotic changes of human organs. In: Biosensing and Nanomedicine XII. SPIE. 2019 Sep 9;11087:54-8.

32. Sarkisova YuV, Bachyns'kyi VT, Ushenko OH, Mel'nyk MM. Poliaryzatsiina mikroskopichna tomohrafiia polikrystalichnoi struktury preparativ sklopodobnoho tila u diahnozytsi davnosti nastannia smerti [Polarization microscopic tomography of the polycrystalline structure of preparations of the vitreous body in the diagnosis of the time of onset of death]. Suchasni medychni tekhnolohii. 2019;4:54-61. (in Ukrainian).

33. Stashkevich AT, Wanchulyak Y, Litvinenko OY, Ushenko YO, Dubolazov OV, Sorochan E, et al. Differential Mueller-matrix tomography of the polycrystalline structure of biological tissues with different damage durations. In Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments, SPIE. 2021;12040:101-6.

34. Harazdyuk MS, Bachinsky VT, Wanchulyak OY, Ushenko AG, Ushenko YA, Dubolazov AV, et al. Correlation and Autofluorescence Microscopy in Forensics Medicine: Time of Death Detection Using Polycrystalline Cerebrospinal Fluid Films. Springer; 2021. 31-8 p.

35. Ivashkevich Y, Wanchulyak O, Bachinskiy V, Tomka Y, Soltys I, Dubolazov O, et al. Phase reconstruction of the polycrystalline structure of internal organs tissues in the differentiation of alcohol and carbon monoxide poisoning. In Advanced Topics in Optoelectronics, Microelectronics and Nanotechnologies X. SPIE. 2020 Dec;11718:340-45.

36. Bachinsky V, Vanchulyak OY, Ushenko AG, Ushenko YA, Dubolazov AV, et al. Scale-Selective Multidimensional Polarisation Microscopy in the Post-mortem Diagnosis of Acute Myocardium Ischemia. In Multi-parameter Mueller Matrix Microscopy for the Expert Assessment of Acute Myocardium Ischemia. Springer, Singapore; 2021. 23-51.

37. Tu C, Du T, Shao C, Liu Z, Li L, Shen Y. Evaluating the

potential of housekeeping genes, rRNAs, snRNAs, microRNAs and circRNAs as reference genes for the estimation of PMI. Forensic Sci Med Pathol. 2018;14(2):194-201. DOI: 10.1007/s12024-018-9973-y.

38. Lv YH, Ma JL, Pan H, Zhang H, Li WC, Xue AM, et al. RNA degradation as described by a mathematical model for post-mortem interval determination. J Forensic Leg Med. 2016;44:43-52. DOI: 10.1016/j.jflm.2016.08.015. E.

39. Poór VS, Lukács D, Nagy T, Rácz E, Sipos K. The rate of RNA degradation in human dental pulp reveals post-mortem interval. Int J Legal Med. 2016;130(3):615-9. DOI: 10.1007/s00414-015-1295-y.

40. Kim JY, Kim Y, Cha HK, Lim HY, Kim H, Chung S, et al. Cell death-associated ribosomal RNA cleavage in post-mortem tissues and its forensic applications. Mol Cells. 2017;40(6):410-7. DOI: 10.14348/molcells.2017.0039.

41. Lv YH, Ma JL, Pan H, Zeng Y, Tao L, Zhang H, et al. Estimation of the human post-mortem interval using an established rat mathematical model and multi-RNA markers. Forensic Sci Med Pathol. 2017;13(1):20-7. DOI: 10.1007/s12024-016-9827-4.

42. Villet MH, Amendt J. Advances in entomological methods for death time estimation. In Forensic Pathology Reviews; Turk, E.E., Ed.; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany; 2011. 213-37.

43. Lei G, Liu F, Liu P, Zhou Y, Jiao T, Dang YH. A bibliometric analysis of forensic entomology trends and perspectives worldwide over the last two decades (1998-2017). Forensic Sci Int. 2019;295:72-82. DOI: 10.1016/j.forsciint.2018.12.002.

44. Matuszewski S, Madra-Bielewicz A. Post-mortem interval estimation based on insect evidence in a quasi-indoor habitat. Sci Justice. 2019;59(1):109-15. DOI: 10.1016/j.scijus.2018.06.004.

Відомості про авторів

Сокол В'ячеслав Костянтинович – канд. мед. наук, доцент кафедри судової медицини, медичного правознавства ім. засл. проф. М.С. Бокаріуса Харківського національного медичного університету, м. Харків, Україна.

Information about the author

Sokol Vyacheslav Kostiantynovych – PhD, Associate Professor of the Department of Forensic Medicine, Medical Law named after honored professor M.S. Bocarius, Kharkiv National Medical University, Kharkiv, Ukraine.

*Надійшла до редакції 28.08.22
Рецензент – проф. Ванчуляк О.Л.
© В.К. Сокол, 2022*