

ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ СУДОВО-МЕДИЧНИХ ЗАСОБІВ І ТЕХНОЛОГІЙ ЗАДЛЯ МОЖЛИВОСТІ ТОЧНОГО ВСТАНОВЛЕННЯ ДАВНОСТІ НАСТАННЯ СМЕРТІ

Воронов В. Т.

Вінницький національний медичний університет ім. М.І. Пирогова, м. Вінниця, Україна

Резюме. Встановлення точного часу настання смерті є дуже важливим і значущим питанням судово-медичної науки та практики. Оскільки традиційні, рутинні методики володіють багатьма недоліками та не забезпечують достатньої точності визначення посмертного інтервалу, необхідним є пошук нових шляхів і методів для розв'язання даної проблеми. У статті поданий аналіз стану та тенденцій розвитку засобів і технологій судово-медичної науки та практики, що застосовуються для точного встановлення давності настання смерті.

Проведений аналіз наукової літератури показав, що, попри численні та різнопланові дослідження, спрямовані на визначення давності настання смерті, велика їх кількість не знайшла широкого практичного застосування. Отже, перспективним є пошук нових науково обґрунтованих критеріїв на основі хронологічних змін біомаркерів після смерті з використанням сучасних технологій, що дозволять встановлювати давність настання смерті в ранні та пізні терміни посмертного інтервалу.

Ключові слова: давність настання смерті, посмертний інтервал, судова медицина, сучасні технології.

Вступ. Встановлення посмертного інтервалу (ПІ) або давності настання смерті (ДНС) є ключовим компонентом кожного судово-медичного дослідження трупа, адже саме точне визначення моменту настання смерті відіграє важливу роль і дозволяє відповісти на низку питань, поставлених судово-слідчими органами. Встановлення інтервалу ДНС може підтвердити свідчення свідків, достовірність речових доказів, надати інформацію про події, що відбувалися безпосередньо в момент смерті та в найближчі години, бути доказом для подальших дій поліції. У більшості випадків експертиз трупів оцінка ДНС є відносно простою, оскільки вона вже відома або її можна встановити протягом вузького проміжку часу, використовуючи показання свідків і дані екстрених служб. Проте часто трапляються випадки смерті за невідомих обставин і за відсутності свідків чи будь-яких доказів. У такому разі ПІ за допомогою рутинних способів встановити досить важко, необхідно застосовувати сучасні високоточні методики дослідження. [1, 2]

Часто на першому етапі судово-слідчі органи проводять допит свідків, членів родини, колег тощо, на свідченнях яких базується первинна оцінка ДНС. Але ці твердження часто можуть бути недостовірними. При оцінці ПІ слідчі також спираються на виявлені речові докази, як-от доставлення газет, щоденні/місячні календарі, активність мобільного телефону, соціальних мереж, а також медичні записи від нещодавнього відвідування лікаря. Проте за відсутності будь-яких подібних доказів або за умови їхньої сумнівності оцінка ДНС стає досить складною, часто залежить від посмертних змін тканин тіла людини та процесів розкладання. [3, 4] Судово-медичні експерти користуються наступними класичними морфологічними методиками: оцінка аутолітичних змін, трупних плям, м'язового залякання, охолодження, суправітальних реакцій організму, гниття. [5-8] Кожен із цих методів потенційно може надати важливу інформацію для розслідування, проте їм притаманна велика кількість обмежень залежно від умов і часових рамок ДНС в кожному конкретному випадку. Саме тому протягом багатьох років вітчизняні та закор-

донні вчені випробовували різні технічні методики та вивчали різні показники, спостерігаючи за тілом після смерті. Розробка надійного та легко відтворюваного методу оцінки ПІ є основним завданням великої кількості світових науковців, що відбивається в численних оприлюднених наукових працях і методиках, що розробляються роками. [4-10]

Одним із широковживаних методів встановлення ПІ є оцінка зміни температури тіла, що вимірюється з використанням низки систем, але всі вони не володіють достатньою точністю, оскільки досить часто початкова температура тіла є невідомою, довжина температурного плато для кожної людини є невизначеною, також відмічають тенденцію до того, що вимірювання стають все менш точними, чим ближче температура тіла наближається до температури навколишнього середовища. Найширше використовуваний метод включає номограму Хенгге, що вимагає вимірювання та побудови графіків температури навколишнього середовища та тіла потерпілого на місці смерті, врахування його ваги та застосування коригувального коефіцієнта для одягу (діаграми створюються при вивченні зміни температури оголеного тіла, що лежить горілиць, за відсутності вітру для температур вище і нижче 23 °С). [11, 12] Виходячи з цього, найточніші результати можна отримати в приміщенні на коротких діапазонах ПІ. На відкритому повітрі температура може різко змінюватися протягом годин, а вітер і дощ є факторами, що впливають на точність отриманих результатів.

Багато вчених працюють над удосконаленням традиційних методик оцінки ДНС. Наприклад, S.J. Jeong і співавт. використовували модель квадратичної регресії й опорних векторів для точнішого встановлення ПІ. Дана модель включає оцінку погодних факторів, як-от потужність, швидкість і вологість вітру. [12] Ще одним прикладом удосконалення класичних методів встановлення ДНС є дослідження Y. Usumoto та співавт., в якому використовували метод спектрофотометрії для вивчення тенденції зміни кольору трупних плям протягом 72 годин після смерті. Згідно з даними авторів, похибка визначення ПІ складає 6,9 год. [13]

Відомо, що з розширенням ПІ також відповідно змінюватимуться різні фізико-хімічні показники трупа. Їхні зміни можна виявити за допомогою відповідних засобів і методів. У своїх працях дослідники використовували техніку радіаційного опромінення для вимірювання значення поглинання випромінювання кожною тканиною в різні моменти ДНС. [7] Було виявлено, що існує значна кореляція між ПІ і законом поглинання радіації біологічними тканинами після смерті. Науковці в своїх роботах використовували лазерно-індуковану спектроскопію для визначення співвідношення інтенсивності випромінювання Н, Na, Mg і К у зразках скелетних м'язів свиней, щоб зробити висновок про ДНС. [9] Деякі вчені застосовували встановлення електричного опору, електропровідності й окислення біологічних тканин після настання смерті методом електричного імпедансу. [13]

Також слід згадати про метод визначення ДНС, що набув значної популярності останніми роками, а саме оцінку деградації молекул дезоксирибонуклеїнової кислоти (ДНК) та рибонуклеїнової кислоти (РНК). Дослідниками встановлено, що ці процеси значною мірою пов'язані зі збільшенням ПІ, а також температури навколишнього середовища. Крім того, деякі вчені використовували гель-електрофорез, щоб виявити, що внутрішньоклітинні нуклеази поступово руйнують хромосому ДНК після смерті організму. З продовженням інтервалу ДНС ступінь фрагментації ДНК поступово збільшується. Також багато досліджень були присвячені використанню методів полімеразної ланцюгової реакції (ПЛР) зі зворотною транскрипцією для вивчення змін деградації РНК в крові, пульпі зубів, органах грудної та черевної порожнини, м'язовій тканині після настання смерті. Проте порівняно з ДНК молекула РНК є більш нестабільною, тому при оцінці її дегенерації отримують результати, що мають недостатню точність. [4]

Традиційно судово-медичні дослідження зосереджені на розробці експрес-методів встановлення ДНС, заснованих на параметрах, що можна оцінити до розтину, зокрема під час огляду місця злочину та попереднього огляду трупа на місці події. Одним з перспективних об'єктів дослідження є око людини, зокрема склисте тіло. Ця анатомічна ділянка приваблює дослідників

легкою доступністю та мінімальною інвазивністю проведення забору біологічного матеріалу в трупа в різні проміжки часу після настання смерті, крім того, вважається, що склисте тіло стійкіше до аутолітичних змін і бактеріального руйнування. Більшість літературних напрацювань зосереджені на встановленні взаємозв'язку зміни тривалості ДНС та концентрацій метаболітів і елементів, включаючи Fe, K, Na, сечовину, гіпоксантин, у склоподібному тілі. [8, 17] Зокрема, визначення концентрації K склистого тіла дозволяє встановити ДНС з точністю 3-6 год на часовому проміжку до 24 год після настання смерті. Слід зазначити, що, згідно з даними науковців, зі зростанням ПІ точність визначення ДНС знижується. Крім того, деякі з авторів зазначають, що на результат впливає причина смерті (природна чи насильницька), та рекомендують враховувати це при розробці формули для розрахунку ДНС. [17]

Ще одним цікавим дослідженням є визначення ПІ шляхом лазерно-індукованої автофлуоресцентної мікроскопії склистого тіла людини. Метод базується на теорії, що розглядає всі біологічні тканини як одновісні рідкі кристали, що здатні поглинати та відбивати світлові промені. Зі збільшенням ДНС структурні елементи тканин руйнуються, що впливає на взаємодію компонентів з лазерними променями. На основі цих змін можна судити про структурні перетворення досліджуваних тканин з плином часу. Автори продемонстрували методику, що забезпечує високу точність ($\Delta T \pm 7,5$ хв) визначення ДНС на довготривалому ПІ (36 год після настання смерті). [16]

Також відомі методи для оцінки ДНС, що використовують посмертну мікробну сукцесію або експресію генів. [13] Вони є перспективними та мають потенційно високий рівень точності встановлення ПІ на довготривалих проміжках часу, що є досить проблематичним при застосуванні інших методик. Проте ці методи вимагають сучасного приладобудування та спеціальної підготовки персоналу.

Перспективними й одними з найточніших способів визначення ДНС вважаються ентомологічні дослідження, що використовуються як на коротких, так і на тривалих проміжках посмертного періоду. [6, 9] Судово-ентомологічні дослідження передбачають застосування комах та інших членистоногих для оцінки ДНС, ґрунтуються на вивченні сукупності комах, знайдених разом з трупом, етапів їхнього розвитку від перших комах-колонізаторів і до наявних особин певного розміру/стадії життя на момент збору. Цей процес передбачає накопичення відповідних даних стосовно розвитку різних видів комах за відповідних температурних умов і з урахуванням інших факторів, що можуть впливати на швидкість їхнього розвитку. Ці методики вважають статистично більш надійними та кращими порівняно з іншими поширеними методами.

Висновок. Проведений аналіз наукової літератури показав, що, попри численні та різнопланові дослідження, спрямовані на визначення давності настання смерті, велика їх кількість не знайшла широкого практичного застосування. В одних випадках це пов'язано з матеріальними витратами, інших – трудомісткістю виконання того чи іншого методу, третіх – з тим, що рекомендації багатьох авторів часто не збігаються одні з одними, а іноді мають суперечливий характер. Отже, ми вважаємо перспективним пошук нових науково обґрунтованих критеріїв на основі хронологічних змін біомаркерів після смерті з застосуванням сучасних прогресивних технологій, що дозволять встановлювати давність настання смерті в ранні та пізні терміни посмертного інтервалу.

Література

1. Garczyńska K, Tzschätzsch H, Assili S, Köhl AA, Häckel A, Schellenberger E, et al. Effect of Post-mortem Interval and Perfusion on the Biophysical Properties of ex vivo Liver Tissue Investigated Longitudinally by MRE and DWI. *Front Physiol* [Internet]. 2021 Aug [cited 2022 Mar 11];12:696304. Available from: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fphys.2021.696304/full> doi: 10.3389/fphys.2021.696304

2. Maile AE, Inoue CG, Barksdale LE, Carter DO. Toward a universal equation to estimate postmortem interval. *Forensic Sci Int.* 2017 Mar; 272: 150-3. PMID: 28183035. doi: 10.1016/j.forsciint.2017.01.013
3. Muthukrishnan S, Narasimhan M, Paranthaman SK, Hari T, Viswanathan P, Rajan ST. Estimation of time since death based on light microscopic, electron microscopic, and electrolyte analysis in the gingival tissue. *J Forensic Dent Sci.* 2018;10(1):34-9. doi: 10.4103/jfo.jfds_36_17
4. Pittner S, Monticelli FC, Pfisterer A, Zissler A, Sängler AM, Stoiber W, et al. Postmortem degradation of skeletal muscle proteins: a novel approach to determine the time since death. *Int J Legal Med.* 2016;130(2):421-31. doi: 10.1007/s00414-015-1210-6
5. Fordyce SL, Kampmann M-L, van Doorn NL, Gilbert MT. Long-term RNA persistence in postmortem contexts. *Investig Genet [Internet].* 2013 Apr [cited 2022 Mar 11];4:7. Available from: <https://investigativegenetics.biomedcentral.com/track/pdf/10.1186/2041-2223-4-7.pdf> doi: 10.1186/2041-2223-4-7.
6. Donaldson AE, Iain LL. Estimation of post-mortem interval using biochemical markers. *Aust J Forensic Sci.* 2014;46(1):8-26. doi: 10.1080/00450618.2013.784356
7. Nioi M, Napoli PE, Demontis R, Locci E, Fossarello M, d'Aloja E. Postmortem Ocular Findings in the Optical Coherence Tomography Era: a Proof of Concept Study Based on Six Forensic Cases. *Diagnostics (Basel).* 2021;11(3):413. doi: 10.3390/diagnostics11030413
8. Cordeiro C, Ordóñez-Mayán L, Lendoiro E, Febrero-Bande M, Vieira DN, Muñoz-Barús JJ. 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
9. Matuszewski S. Post-Mortem Interval Estimation Based on Insect Evidence: Current Challenges. *Insects [Internet].* 2021 Apr [cited 2022 Mar 11];12(4):314. Available from: <https://www.mdpi.com/2075-4450/12/4/314> doi: 10.3390/insects12040314
10. White K, Yang P, Li L, Farshori A, Medina AE, Zielke HR. Effect of Postmortem Interval and Years in Storage on RNA Quality of Tissue at a Repository of the NIH NeuroBioBank. *Biopreserv Biobank.* 2018;16(2):148-57. doi: 10.1089/bio.2017.0099
11. 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;133(6):1629-40. doi: 10.1007/s00414-019-02125-x
12. Jeong SJ, Park SH, Park JE, Park SH, Moon TY, Shin SE, Lee JW. Extended model for estimation of ambient temperature for postmortem interval (PMI) in Korea. *Forensic Science International.* 2020 Apr 1;309:110196. doi: 10.1016/j.forsciint.2020.110196
13. Usumoto Y, Hikiji W, Sameshima N, Kudo K, Tsuji A, Ikeda N. Estimation of postmortem interval based on the spectrophotometric analysis of postmortem lividity. *Legal Medicine.* 2010 Jan 1;12(1):19-22. doi: 10.1016/j.legalmed.2009.09.008
14. Hurtado JC, Quintó L, Castillo P, Carrilho C, Fernandes F, Jordao D, et al. Postmortem Interval and Diagnostic Performance of the Autopsy Methods. *Sci Rep [Internet].* 2018 Oct [cited 2022 Mar 11];8(1):1-10. Available from: <https://www.nature.com/articles/s41598-018-34436-1>
15. De-Giorgio F, Grassi S, d'Aloja E, Paskali VL. Post-mortem ocular changes and time since death: Scoping review and future perspective. *Leg Med [Internet].* 2021 May [cited 2022 Mar 11];50:101862. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1344622321000262?via%3Dihub> doi: 10.1016/j.legalmed.2021.101862
16. Sarkisova Y.V., Malanchuk S.M. Spectral-selective laser-induced autofluorescent microscopy of polycrystalline fraction of the human vitreous body in diagnostics time since death. *Forensic medical examination.* 2020(1):61-9. doi: 10.24061/2707-8728.1.2020.8
17. Madea B, Rödiger A. Time of death dependent criteria in vitreous humor – Accuracy of estimating the time since death. *Forensic Sci Int.* 2006;164(2-3):87-92. doi: 10.1016/j.forsciint.2005.12.002

References

1. Garczyńska K, Tzschätzsch H, Assili S, Kühl AA, Häckel A, Schellenberger E, et al. Effect of Post-mortem Interval and Perfusion on the Biophysical Properties of ex vivo Liver Tissue Investigated Longitudinally by MRE and DWI. *Front Physiol* [Internet]. 2021 Aug [cited 2022 Mar 11];12:696304. Available from: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fphys.2021.696304/full> doi: 10.3389/fphys.2021.696304
2. Maile AE, Inoue CG, Barksdale LE, Carter DO. Toward a universal equation to estimate postmortem interval. *Forensic Sci Int*. 2017 Mar; 272: 150-3. PMID: 28183035. doi: 10.1016/j.forsciint.2017.01.013
3. Muthukrishnan S, Narasimhan M, Paranthaman SK, Hari T, Viswanathan P, Rajan ST. Estimation of time since death based on light microscopic, electron microscopic, and electrolyte analysis in the gingival tissue. *J Forensic Dent Sci*. 2018;10(1):34-9. doi: 10.4103/jfo.jfds_36_17
4. Pittner S, Monticelli FC, Pfisterer A, Zissler A, Sängner AM, Stoiber W, et al. Postmortem degradation of skeletal muscle proteins: a novel approach to determine the time since death. *Int J Legal Med*. 2016;130(2):421-31. doi: 10.1007/s00414-015-1210-6
5. Fordyce SL, Kampmann M-L, van Doorn NL, Gilbert MT. Long-term RNA persistence in postmortem contexts. *Investig Genet* [Internet]. 2013 Apr [cited 2022 Mar 11];4:7. Available from: <https://investigativegenetics.biomedcentral.com/track/pdf/10.1186/2041-2223-4-7.pdf> doi: 10.1186/2041-2223-4-7.
6. Donaldson AE, Iain LL. Estimation of post-mortem interval using biochemical markers. *Aust J Forensic Sci*. 2014;46(1):8-26. doi: 10.1080/00450618.2013.784356
7. Nioi M, Napoli PE, Demontis R, Locci E, Fossarello M, d'Aloja E. Postmortem Ocular Findings in the Optical Coherence Tomography Era: a Proof of Concept Study Based on Six Forensic Cases. *Diagnostics (Basel)*. 2021;11(3):413. doi: 10.3390/diagnostics11030413
8. Cordeiro C, Ordóñez-Mayán L, Lendoiro E, Febrero-Bande M, Vieira DN, Muñoz-Barús JJ. 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
9. Matuszewski S. Post-Mortem Interval Estimation Based on Insect Evidence: Current Challenges. *Insects* [Internet]. 2021 Apr [cited 2022 Mar 11];12(4):314. Available from: <https://www.mdpi.com/2075-4450/12/4/314> doi: 10.3390/insects12040314
10. White K, Yang P, Li L, Farshori A, Medina AE, Zielke HR. Effect of Postmortem Interval and Years in Storage on RNA Quality of Tissue at a Repository of the NIH NeuroBioBank. *Biopreserv Biobank*. 2018;16(2):148-57. doi: 10.1089/bio.2017.0099
11. 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;133(6):1629-40. doi: 10.1007/s00414-019-02125-x
12. Jeong SJ, Park SH, Park JE, Park SH, Moon TY, Shin SE, Lee JW. Extended model for estimation of ambient temperature for postmortem interval (PMI) in Korea. *Forensic Science International*. 2020 Apr 1;309:110196. doi: 10.1016/j.forsciint.2020.110196
13. Usumoto Y, Hikiji W, Sameshima N, Kudo K, Tsuji A, Ikeda N. Estimation of postmortem interval based on the spectrophotometric analysis of postmortem lividity. *Legal Medicine*. 2010 Jan 1;12(1):19-22. doi: 10.1016/j.legalmed.2009.09.008
14. Hurtado JC, Quintó L, Castillo P, Carrilho C, Fernandes F, Jordao D, et al. Postmortem Interval and Diagnostic Performance of the Autopsy Methods. *Sci Rep* [Internet]. 2018 Oct [cited 2022 Mar 11];8(1):1-10. Available from: <https://www.nature.com/articles/s41598-018-34436-1>
15. De-Giorgio F, Grassi S, d'Aloja E, Paskali VL. Post-mortem ocular changes and time since death: Scoping review and future perspective. *Leg Med* [Internet]. 2021 May [cited 2022

- Mar 11];50:101862. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1344622321000262?via%3Dihub> doi: 10.1016/j.legalmed.2021.101862
16. Sarkisova Y.V., Malanchuk S.M. Spectral-selective laser-induced autofluorescent microscopy of polycrystalline fraction of the human vitreous body in diagnostics time since death. *Forensic medical examination*. 2020(1):61-9. doi: 10.24061/2707-8728.1.2020.8
 17. Madea B, Rödiger A. Time of death dependent criteria in vitreous humor – Accuracy of estimating the time since death. *Forensic Sci Int*. 2006;164(2-3):87-92. doi: 10.1016/j.forsciint.2005.12.002

TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF FORENSIC MEDICAL TECHNOLOGIES FOR THE POSSIBILITY OF ACCURATE DETERMINATION OF THE TIME SINCE DEATH

Voronov V.T.

National Pirogov Memorial Medical University, Vinnytsya, Україна

Summary. Determining the exact time of death is a very important and significant issue of forensic medical science and practice. Since traditional, routine techniques have many shortcomings and do not provide sufficient accuracy in determining the postmortem interval, it is necessary to find new ways and methods to solve this problem. The article presents an analysis of the state and trends in the development of tools and technologies of forensic science and practice used to accurately determine the time since death. The analysis of the scientific literature showed that, despite numerous and diverse studies aimed at determining the age of death, a large number of them have not found wide practical application. Thus, the search for new scientifically sound criteria is promising, based on chronological changes in biomarkers after death using modern technologies that will establish the time since death in the early and late post-mortem period.

Keywords: time since death, post-mortem interval, forensic medicine, modern technologies.

Відомості про авторів:

Воронов В. Т. – доктор медичних наук, професор кафедри судової медицини та права Вінницького національного медичного університету ім. М.І. Пирогова, м. Вінниця, Україна, e-mail: forensic@vnmuedu.ua

Information about authors:

Voronov V.T. – Doctor of Medical Sciences, Professor of the Department of Forensic Medicine and Law of the National Pirogov Memorial Medical University, Vinnitsya, Ukraine, e-mail: forensic@vnmuedu.ua