

ДОСЛІДЖЕННЯ ЧАСОВОЇ ДИНАМІКИ ЗМІНИ СТУПЕНЯ ДЕПОЛЯРИЗАЦІЇ ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ТКАНИНОЮ ГОЛОВНОГО МОЗКУ

Павлюкович О.В., Павлюкович Н.Д.

Буковинський державний медичний університет, м. Чернівці, Україна

Резюме. Беручи до уваги факт щорічного зростання постановки питань судово-слідчими органами стосовно діагностики давності настання смерті та необхідності збільшення їх достовірності, певну суб'єктивність, моральну й історичну застарілість зазвичай використовуваних у судово-медичній практиці методик, назріла необхідність розробки об'єктивних економічно вигідніших сучасних методів дослідження динаміки післясмертної зміни біологічних тканин організму людини. Визначення давності настання смерті при різних її видах увесь час перебуває в авангарді питань судово-медичної науки та практики як одне з найважливіших для правоохоронних органів. Дана робота висвітлює результати застосування новітніх методів лазерної поляриметрії для розв'язання цього питання, а саме встановлення давності настання смерті при механічній асфіксії та масивній крововтраті шляхом тривимірної реконструкції часової та спектральної змін деполаризації лазерного випромінювання, розсіяного тканиною мозку людини.

Ключові слова: смерть, лазер, асфіксія, крововтрата.

Вступ. Визначення причини настання смерті внаслідок механічної асфіксії чи крововтрати є однією з найважливіших проблем судової медицини. Через це на кожному форумі судових медиків розглядається питання судово-медичного встановлення причини та давності настання смерті. Значне місце в розв'язанні цього питання посідають дослідження морфологічних змін, ознак реакції з боку різних тканин, органів і систем відповідно до причин і давності настання смерті, що підтверджується великою кількістю публікацій у вітчизняних і закордонних виданнях. Досить важливими для судово-медичної практики є біохімічні дослідження, що дозволяють встановлювати причину та давність настання смерті. Крім морфологічних і біохімічних змін, у тканинах трупа людини також реєструються біофізичні зміни, які зі свого боку рекомендуються для визначення причини та давності настання смерті. [1-5]

Мета роботи. Вивчення післясмертної динаміки зміни показників деполаризації лазерного випромінювання, розсіяного тканиною мозку, для діагностики давності настання смерті.

Матеріали та методи. Як об'єкти дослідження використовувалися зрізи тканини головного мозку трупів людей з різними причинами настання смерті в результаті механічної асфіксії (А-тип; 32 випадки) або крововтрати (К-тип; 31 випадок).

Експериментальна схема поляриметричних досліджень. [3] На рис. 1 показана оптична схема досліджень лазерних зображень зрізів тканини мозку. [3]

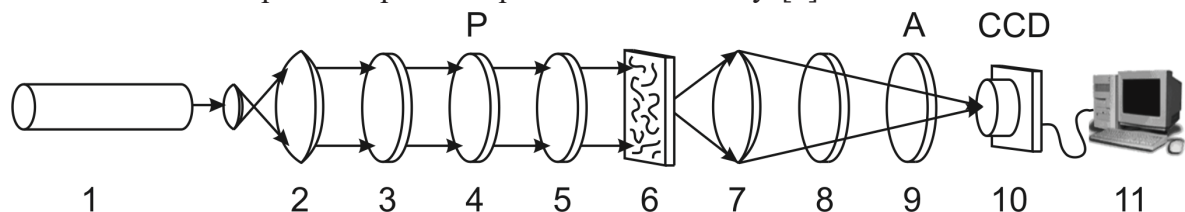


Рис. 1. Оптична схема поляриметра: 1 – лазер; 2 – коліматор; 3, 5, 8 – чвертьхвильові платівки; 4, 9 – поляризатор та аналізатор відповідно; 6 – об'єкт дослідження; 7 – мікροоб'єктив; 10 – CCD камера; 11 – персональний комп'ютер.

Опромінювання об'єкта дослідження (б) проводилося колімованим пучком ($\varnothing=10^4$ мкм) He-Ne і He-Cd лазера ($\lambda=0,6328$ мкм і $\lambda=0,414$ мкм).

За допомогою поляризаційного освітлювача (чвертьхвильові пластини, поляризатор і аналізатор) формувалися різні стани поляризації освітлюючого пучка. Поляризаційні зображення координатних розподілів α та β біологічних тканин формувалися в площині світлочутливої площадки (800×600) CCD камери за допомогою мікрооб'єктива, роздільна здатність якого була достатньою для проведення вимірів у діапазоні розмірів структурних елементів тканин людини (2-200 мкм), з подальшою передачею інформації на персональний комп'ютер.

Методика вимірювання ступеня деполіризації лазерного випромінювання. Ступінь деполіризації лазерного випромінювання встановлювався за допомогою класичного методу.

За допомогою обертання осі пропускання аналізатора Θ в межах $=0-180^\circ$ визначалися

масиви мінімальних і максимальних рівнів інтенсивності $I_{\min} \begin{pmatrix} r_1, \dots, r_m \\ \dots \\ r_n, \dots, r_m \end{pmatrix}; I_{\max} \begin{pmatrix} r_1, \dots, r_m \\ \dots \\ r_n, \dots, r_m \end{pmatrix}$ зображен-

ня зрізу тканин головного мозку для кожного окремого пікселя (mn) CCD-камери та відповідні

їм кути повороту $\Theta \begin{pmatrix} r_1, \dots, r_m \\ \dots \\ r_n, \dots, r_m \end{pmatrix} \left(I \begin{pmatrix} r_1, \dots, r_m \\ \dots \\ r_n, \dots, r_m \end{pmatrix} \equiv \min \right) \cdot [3]$

Розраховувалися значення ступеня деполіризації лазерного випромінювання в точці r_i зображення зрізу тканини головного мозку людини за наступним співвідношенням:

$$\Delta = \frac{2I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} \cdot [5]$$

Результати дослідження. Найчутливішим математичним інструментом для оцінювання зміни координатної структури параметра деполіризації є спектр потужності розподілу сукупності його значень. [4]

Кожен екстремум такого спектра відповідає кількості структурних утворень того чи іншого геометричного розміру в досліджуваному розподілі поляризаційних параметрів.

Часові залежності координатного розподілу ступеня деполіризації лазерного випромінювання, розсіяного зрізами тканини мозку типів «А» та «К», ілюструють рис. 2-5 і табл. 1, 2.

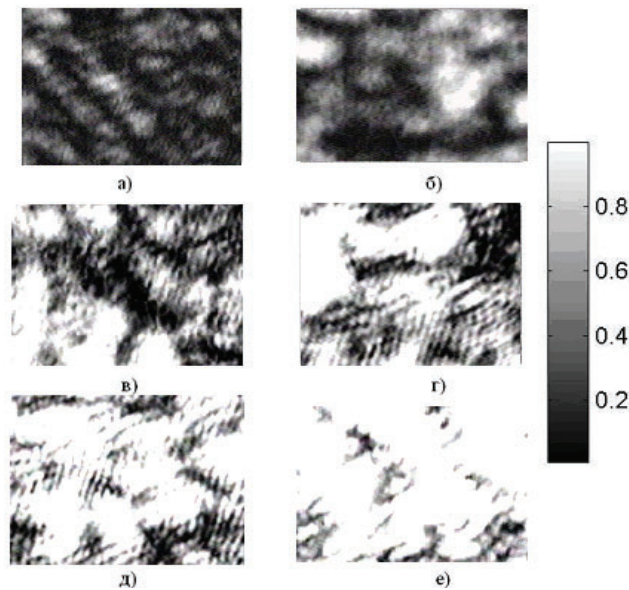


Рис. 2. Часова динаміка зміни двовимірного розподілу ступеня деполіризації лазерного випромінювання тканиною мозку типу «А»: а) 1 год; б) 6 год; в) 12 год; г) 24 год; д) 36 год; е) 48 год.

Таблиця 1

Часові залежності статистичних моментів 1-4-го порядків розподілу ступеня деполаризації лазерного випромінювання тканиною мозку типу «А»

Статистичні моменти	Часовий інтервал після настання смерті T, год							
	1	4	8	12	18	24	36	48
M ₁	0,41± 0,044 p<0,001	0,44± 0,045 p<0,001	0,48± 0,057 p<0,001	0,53± 0,059 p>0,05	0,53± 0,061 p>0,05	0,54± 0,067 p>0,05	0,52± 0,058 p>0,05	0,53± 0,064 p>0,05
M ₂	0,26± 0,034 p<0,001	0,24± 0,031 p<0,001	0,21± 0,018 p<0,001	0,17± 0,016 p<0,001	0,18± 0,019 p>0,05	0,17± 0,015 p>0,05	0,17± 0,018 p>0,05	0,18± 0,019 p>0,05
M ₃	2,23± 0,29 p<0,001	2,01± 0,18 p<0,001	1,58± 0,16 p<0,001	1,22± 0,14 p<0,001	0,87± 0,083 p<0,001	0,55± 0,054 p>0,05	0,54± 0,056 p>0,05	0,57± 0,053 p>0,05
M ₄	4,92± 0,55 p<0,001	3,38± 0,41 p<0,001	2,69± 0,28 p<0,001	1,13± 0,14 p<0,001	0,78± 0,086 p<0,001	0,69± 0,077 p<0,001	0,68± 0,074 p>0,05	0,65± 0,071 p>0,05

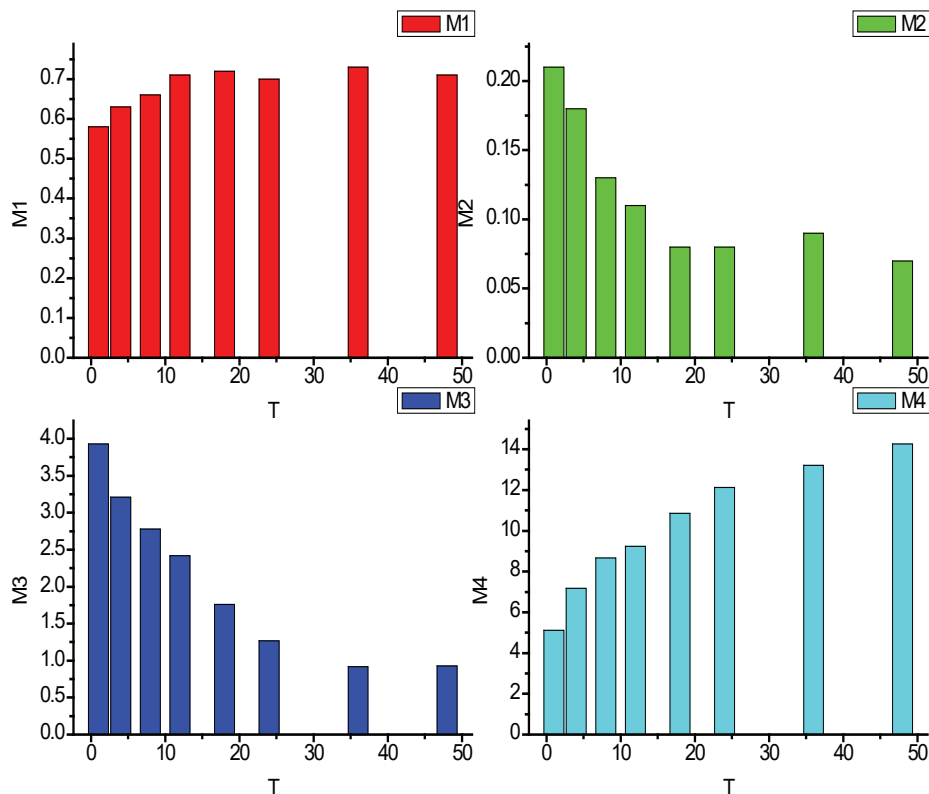


Рис. 3. Часові залежності розподілу ступеня деполаризації лазерного випромінювання тканиною мозку типу «А»: а) середнє; б) дисперсія; в) асиметрія; г) ексцес.

Аналіз часової еволюції координатних розподілів ступеня деполаризації лазерного випромінювання тканиною мозку типів «А» та «К» показав, як і в попередніх випадках інших типів біологічних тканин, що зі збільшенням часу T після настання смерті спостерігалось монотонне зростання значень ступеня деполаризації (рис. 4, фрагменти а-д).

Діапазони визначення часу настання смерті при механічній асфіксії під час дослідження зрізів мозку лежать у наступних межах: від 1 до 10 год (середнє); від 1 до 12 год (дисперсія); від 1 до 16 год (асиметрія); від 1 до 18 год (ексцес).

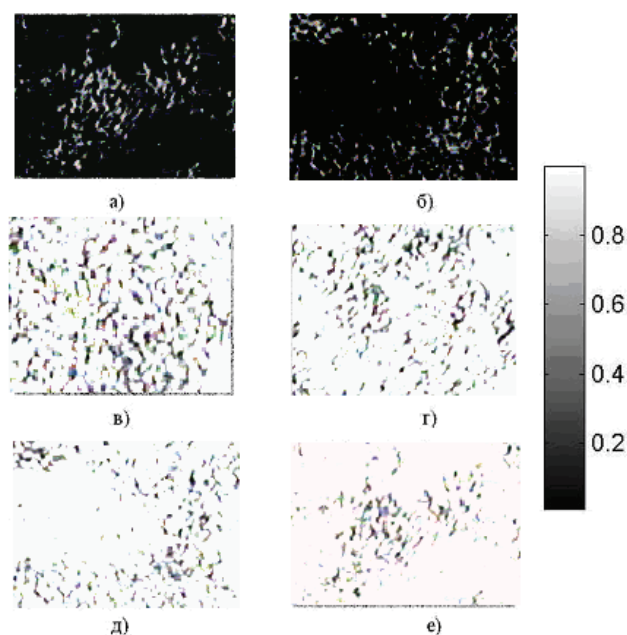


Рис. 4. Часова динаміка зміни двовимірної розподілу ступеня деполаризації лазерного випромінювання тканиною мозку типу «К»: а) 1 год; б) 6 год; в) 12 год; г) 24 год; д) 36 год; е) 48 год.

Таблиця 2

Часові залежності статистичних моментів 1-4-го порядків розподілу ступеня деполаризації лазерного випромінювання тканиною мозку типу «К»

Статистичні моменти	Часовий інтервал після настання смерті T, год							
	1	4	8	12	18	24	36	48
M_1	0,65± 0,072 p<0,001	0,73± 0,077 p<0,001	0,76± 0,081 p<0,001	0,79± 0,085 p<0,001	0,82± 0,088 p>0,05	0,83± 0,084 p>0,05	0,83± 0,087 p>0,05	0,81± 0,085 p>0,05
M_2	0,17± 0,019 p<0,001	0,15± 0,014 p<0,001	0,13± 0,012 p<0,001	0,11± 0,013 p<0,001	0,09± 0,009 P<0,001	0,10± 0,008 p>0,05	0,09± 0,007 p>0,05	0,08± 0,006 p>0,05
M_3	2,93± 0,34 p<0,001	2,21± 0,24 p<0,001	1,78± 0,19 p<0,001	1,42± 0,18 p<0,001	1,26± 0,12 P<0,001	1,07± 0,15 p<0,001	0,82± 0,09 p<0,001	0,83± 0,09 p>0,05
M_4	3,12± 0,49 p<0,001	4,18± 0,52 p<0,001	5,67± 0,67 p<0,001	6,23± 0,74 p<0,001	7,85± 0,86 p<0,001	8,13± 0,87 p<0,001	8,22± 0,87 p<0,001	8,26± 0,93 p<0,05

Діапазони визначення часу настання смерті при К-типі під час дослідження зрізів мозку лежали в наступних межах: середнє – від 1 до 14 год; дисперсія – від 1 до 16 год; асиметрія – від 1 до 20 год; ексцес – від 1 до 24 год.

Висновок. З результатів статистичного аналізу часових залежностей дисперсії екстремумів спектра потужності розподілу ступеня деполаризації лазерного випромінювання зрізом тканин мозку видно, що часовий інтервал визначення давності настання смерті тканини мозку, встановлений методом статистичного аналізу розподілу екстремумів залежностей $\text{LogPSD}\Delta - \log(x)$, для А-типу складає 16 год; К-типу – 20 год.

Зв'язок з науковими планами, роботами, темами. Наукова робота виконана в рамках НДР за темою «Експертна діагностика змін біологічних тканин та середовищ людини за морфологічними та лабораторними показниками у вирішенні актуальних питань судово-медичної науки та практики» (державний реєстраційний номер 0118U001191).

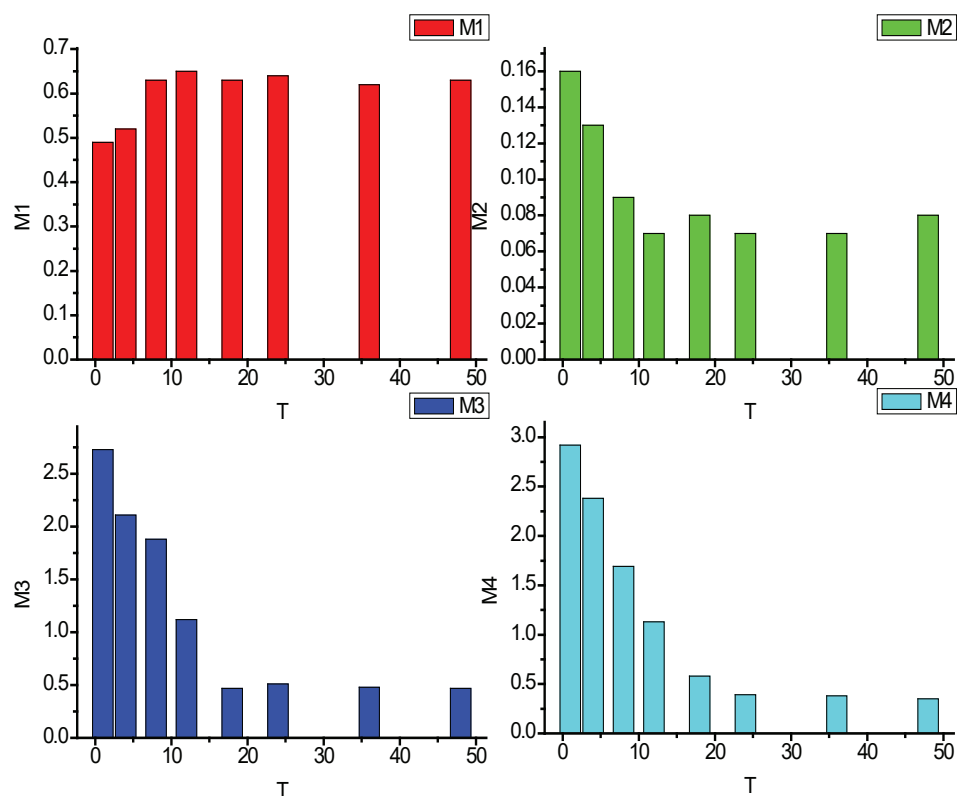


Рис. 5. Часові залежності середнього (а), дисперсії (б), асиметрії (в) та ексцесу (г) розподілу ступеня деполаризації лазерного випромінювання тканиною мозку типу «К».

Література

1. Vanchulyak O, Ushenko Y, Galochkin O, Sakhnovskiy M, Kovalchuk M, Dovgun A, et al. Azimuthal fractalography of networks of biological crystals. In: Proc. SPIE 11105, Novel Optical Systems, Methods, and Applications XXII, 1110517 [Internet]. 2019 Sep 9 [cited 2022 Mar 18]. Available from: <https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/11105/1110517/Azimuthal-fractalography-of-networks-of-biological-crystals/10.1117/12.2529337.short?SSO=1> doi: 10.1117/12.2529337
2. 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
3. Bachinskyi V, Boychuk T, Ushenko A. Laser polarimetry of biological tissues and fluids. LAP LAMBERT Academic Publishing; 2017. 204 p.
4. Ushenko AG, Dubolazov AV, Ushenko VA, Ushenko YA, Pidkamin LY, Soltys IV, et al. Mueller-matrix mapping of optically anisotropic fluorophores of molecular biological tissues in the diagnosis of death causes. In: Proc. SPIE 9971, Applications of Digital Image Processing XXXIX, 99712L [Internet]. 2016 Sep 28 [cited 2022 Mar 18]. Available from: <https://spie.org/Publications/Proceedings/Paper/10.1117/12.2237662> doi: 10.1117/12.2237662
5. Garazdyuk M, Savka I, Tomka Yu, Soltys I, Dubolazov O, Dvorjak V. Azimuthally invariant Mueller-matrix microscopy in the differential diagnosis of cerebral infarction. In: Proc. SPIE 11509, Optics and Photonics for Information Processing XIV, 115090T [Internet]. 2020 Aug 21 [cited 2022 Mar 18]. Available from: <https://spie.org/Publications/Proceedings/Paper/10.1117/12.2568436> doi: 10.1117/12.2568436

References

1. Vanchulyak O, Ushenko Y, Galochkin O, Sakhnovskiy M, Kovalchuk M, Dovgun A, et al. Azimuthal fractalography of networks of biological crystals. In: Proc. SPIE 11105, Novel Optical Systems, Methods, and Applications XXII, 1110517 [Internet]. 2019 Sep 9 [cited 2022 Mar 18]. Available from: <https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/11105/1110517/Azimuthal-fractalography-of-networks-of-biological-crystals/10.1117/12.2529337.short?SSO=1> doi: 10.1117/12.2529337
2. Bachyns'kyi VT, Hurov OM, Sarkisova YuV, Ushenko OH. Osnovni pryntsyipy otsinky morfolohichnoho stanu biolohichnykh tkanyn lazernymy poliarymetrychnymy metodamy dlia vyrishennia zavdan' sudovoi medytsyny [Basic principles of morphological assessment of the state of biological tissues using laser polarimetric methods for solving forensic medicine problems]. *Klinichna ta eksperymental'na patolohiia*. 2017;16(1):20-3. doi: 10.24061/1727-4338.XVI.1.59.2017.5 (in Ukrainian)
3. Bachynskiy V, Boychuk T, Ushenko A. Laser polarimetry of biological tissues and fluids. LAP LAMBERT Academic Publishing; 2017. 204 p.
4. Ushenko AG, Dubolazov AV, Ushenko VA, Ushenko YA, Pidkamin LY, Soltys IV, et al. Mueller-matrix mapping of optically anisotropic fluorophores of molecular biological tissues in the diagnosis of death causes. In: Proc. SPIE 9971, Applications of Digital Image Processing XXXIX, 99712L [Internet]. 2016 Sep 28 [cited 2022 Mar 18]. Available from: <https://spie.org/Publications/Proceedings/Paper/10.1117/12.2237662> doi: 10.1117/12.2237662
5. Garazdyuk M, Savka I, Tomka Yu, Soltys I, Dubolazov O, Dvorjak V. Azimuthally invariant Mueller-matrix microscopy in the differential diagnosis of cerebral infarction. In: Proc. SPIE 11509, Optics and Photonics for Information Processing XIV, 115090T [Internet]. 2020 Aug 21 [cited 2022 Mar 18]. Available from: <https://spie.org/Publications/Proceedings/Paper/10.1117/12.2568436> doi: 10.1117/12.2568436

RESEARCH OF TIME DYNAMICS OF CHANGE OF THE STEP OF DEPOLARIZATION OF LASER RADIATION BY TISSUE OF THE MAIN BRAIN

Pavlyukovich O.V., Pavlyukovich N.D.

Summary. Taking into consideration the fact of the annual increase in the formulation of questions by the judicial authorities regarding the diagnosis of the prescription of death time and the need to increase their reliability, same as certain subjectivity of the moral and historical obsolescence of the commonly used methods of forensic medicine practice, there is the need of developing of objective, cost-effectively more profitable, modern methods of the investigation of the dynamics of post-mortem changes of biological tissues of the human body. Therefore, the determining the prescription of the time of death due to its different reasons is one of the most important issues of forensic science and practice. The paper deals with the results of the application of the latest methods of laser polarimetry used in forensic medicine, such as determination of the prescription of time of death due to mechanical asphyxia and massive blood loss by means of three-dimensional reconstruction of the time and spectral changes in the depolarization of laser radiation scattered by the human brain tissue.

Keywords: death, laser, asphyxia, blood loss.

Відомості про авторів:

Павлюкович О.В. – кандидат медичних наук, доцент кафедри судової медицини та медичного правознавства Буковинського державного медичного університету, м. Чернівці, Україна, e-mail: olexandr.pavlyukovich@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-6523-8296

Павлюкович Н. Д. – кандидат медичних наук, доцент кафедри внутрішньої медицини, клінічної фармакології та професійних хвороб Буковинського державного медичного університету, м. Чернівці, Україна, e-mail: natasha.pavlyukovich@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-1814-9722

Information about the authors:

Pavliukovych O. V. – PhD, Associate Professor of Forensic Medicine and Medical Law Department, Bukovinian State Medical University, Chernivtsi, Ukraine, e-mail: olexandr.pavlyukovich@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-6523-8296

Pavliukovych N. D. – PhD, Associate Professor of Internal Medicine, Clinical Pharmacology and Occupational Diseases Department, Bukovinian State Medical University, Chernivtsi, Ukraine, e-mail: natasha.pavlyukovich@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-1814-9722