

DIAGNOSIS OF THE TIME SINCE DEATH BY USING OF THE AZIMUTH-INVARIANT MULLER-MATRIX MICROSCOPY METHOD OF THE HUMAN VITREOUS BODY

Y.V. Sarkisova

Higher State Educational Establishment of Ukraine "Bukovinian State Medical University", Chernivtsi, Ukraine

Keywords: laser polarimetry, forensic medicine, time since death, vitreous body.

Bukovinian Medical Herald. V.24, № 1 (93). P. 128-133.

DOI:
10.24061/2413-0737.
XXIV.1.93.2020.17

E-mail: liquiritia.s@gmail.com

Abstract. This paper discusses the possibilities of azimuth-invariant Muller-matrix mapping of coordinate distributions of the magnitude of the phase invariant of the vitreous body structure for use in forensic practice, in particular, to solve one of the most important problems for forensic experts - determining the time since death.

The purpose of the work is to develop a complex of new forensic medical objective criteria to extend the ability of accurately establishing time since death according to the azimuthally invariant Muller-matrix mapping of coordinate distributions of the phase Muller-matrix invariant of the structure of vitreous body preparations.

Material and methods. Object of study – layers of vitreous body of the human eye, selected from 76 bio-mannequins. The azimuth-invariant Muller-matrix mapping method for coordinate distributions of the phase invariant of the structure of vitreous body preparations was used for the study.

Results. We obtained the numerical values of the change in the magnitude of the statistical moments of the 1-4th order, which characterize the coordinate distributions of the phase Muller-matrix invariant of the layers of the vitreous body by the magnitude of the time since death. The results illustrate the existence of differences between the optical anisotropy of fibrillar collagen networks of layers of vitreous body with different time since death. It is established that the value of SM1 varies within the range of the mean values determined for all groups of samples from 0.49 to 0.19, SM2 - from 0.27 to 0.09, SM3 - from 0.51 to 0.97, SM4 - from 0.61 to 1.19.

Conclusion. The results confirm the diagnostic performance of the technique to accurately determine the time of death, which will provide scientific validity, specificity and objectivity of expert opinion.

Ключові слова: лазерна поляриметрія, судова медицина, давність настання смерті, склоподібне тіло.

Буковинський медичний вісник. Т.24, № 1 (93). С. 128-133.

ДІАГНОСТИКА ДАВНОСТІ НАСТАННЯ СМЕРТІ МЕТОДОМ АЗИМУТАЛЬНО-ІНВАРІАНТНОЇ МЮЛЛЕР-МАТРИЧНОЇ МІКРОСКОПІЇ СКЛОПОДІБНОГО ТІЛА ЛЮДИНИ

Ю.В. Саркісова

Резюме. У даній роботі розглянуто можливості азимутально-інваріантного Мюллер-матричного картографування координатних розподілів величини фазового інваріанта структури препаратів склоподібного тіла людини для застосування в судово-медичній практиці, зокрема для вирішення однієї з найактуальніших проблем — встановлення давності настання смерті.

Мета роботи — розробити комплекс нових судово-медичних об'єктивних критеріїв для розширення функціональних можливостей точного встановлення давності настання смерті за даними азимутально-інваріантного Мюллер-матричного картографування координатних розподілів величини фазового Мюллер-матричного інваріанта структури препаратів склоподібного тіла людини.

Матеріал і методи. Об'єкт дослідження: шари склоподібного тіла ока людини, відібрані від 76 біоманекенів. Для дослідження використовували метод азимутально-інваріантного Мюллер-матричного картографування координатних розподілів величини фазового інваріанта структури пре-

паратів склоподібного тіла.

Результати. Ми отримали числові значення зміни величини статистичних моментів 1–4-го порядків, які характеризують координатні розподіли величини фазового Мюллер-матричного інваріанта шарів склоподібного тіла за величиною ДНС. Одержані результати ілюструють наявність відмінностей між оптичною анізотропією фібрилярних колагенових мереж шарів склоподібного тіла з різною ДНС. Встановлено, що величина $SM1$ змінюється в межах діапазону визначених для всіх груп зразків середніх значень від 0,49 до 0,19, $SM2$ — від 0,27 до 0,09, $SM3$ — від 0,51 до 0,97, $SM4$ — від 0,61 до 1,19.

Висновок. Отримані результати підтверджують діагностичну ефективність методики для точного встановлення часу настання смерті, що забезпечить наукову обґрунтованість, конкретність і об'єктивність експертного висновку.

Ключевые слова:

лазерная поляриметрия,
судебная медицина,
давность наступления
смерти, стекловидное
тело.

Буковинский медицинский вестник. Т.24, № 1 (93). С. 128-133.

**ДИАГНОСТИКА ДАВНОСТИ НАСТУПЛЕНИЯ СМЕРТИ
МЕТОДОМ АЗИМУТАЛЬНО-ИНВАРИАНТНОЙ МЮЛЛЕР-
МАТРИЧНОЙ МИКРОСКОПИИ СТЕКЛОВИДНОГО ТЕЛА
ЧЕЛОВЕКА**

Ю.В. Саркисова

Резюме. В данной работе рассмотрены возможности азимутально-инвариантного Мюллер-матричного картографирования координатных распределений величины фазового инварианта структуры препаратов стекловидного тела человека для применения в судебно-медицинской практике, в частности для решения одной из самых актуальных проблем — установление давности наступления смерти.

Цель работы — разработать комплекс новых судебно-медицинских объективных критериев для расширения функциональных возможностей точного установления давности наступления смерти по данным азимутально-инвариантного Мюллер-матричного картографирования координатных распределений величины фазового Мюллер-матричного инварианта структуры препаратов стекловидного тела человека.

Материал и методы. Объект исследования: слои стекловидного тела глаза человека, отобранные от 76 биоманекенов. Для исследования использовали метод азимутально-инвариантного Мюллер-матричного картографирования координатных распределений величины фазового инварианта структуры препаратов стекловидного тела.

Результаты. Мы получили числовые значения изменения величины статистических моментов 1–4-го порядков, которые характеризуют координатные распределения величины фазового Мюллер-матричного инварианта слоев стекловидного тела по величине давности наступления смерти. Полученные результаты иллюстрируют наличие различий между оптической анизотропией фибриллярных коллагеновых сетей слоев стекловидного тела с разной давностью наступления смерти. Установлено, что величина $SM1$ меняется в пределах диапазона определенных для всех групп образцов средних значений от 0,49 до 0,19, $SM2$ — от 0,27 до 0,09, $SM3$ — от 0,51 до 0,97, $SM4$ — от 0,61 до 1,19.

Вывод. Полученные результаты подтверждают диагностическую эффективность методики для точного установления времени наступления смерти, обеспечит научную обоснованность, конкретность и объективность экспертного заключения.

Оригінальні дослідження

Introduction. In recent years, the advances in medical science clearly show the desire of scientists to objectify the results in the study of biological tissues and physical mediums of the body that are being analyzed [11, 15]. This is a general trend in evidence-based medicine that uses various instrumental diagnostic methods to specify the extent of pathological changes detected in the study [7–9]. The state of scientific research in forensic medicine, which tends to use biophysical methods of diagnosis, is no exception [1–6]. This is due to the fact that they provide a quantitative objectivity, instead of a subjective evaluation by a medical expert. Biophysical techniques also provide rapid results, allowing them to be used as express diagnostics. In this research, we propose to consider the possibility of laser polarization techniques for the investigation of biological tissues and fluids of the human body for use in forensic practice, in particular for the establishment of time since death (TSD), because this problem is one of the most relevant for the practitioner expert.

The purpose of the work. To develop a set of new forensic objective criteria to extend the functionality of accurate TSD detection according to azimuth-invariant Muller-matrix mapping of the coordinate distributions of the Muller phase matrix invariant of the structure of human vitreous body (VB).

Material and methods of research. The VB was collected at the department of the MMI “Regional Bureau of Forensic Expertise” of the Department of Health of Chernivtsi Regional State Administration under mixed lighting, air temperature +18–22 °C and relative humidity of 60–75%. Sampling was performed with an insulin syringe (needle was inserted in the area of the outer corner of the eye) in the amount of 0.25 ml in people who died of cardiovascular pathology with a known time of death (n=76) at different intervals.

Measurements of the magnitudes of the phase distribution of the Muller matrix invariant (MMI) of VB preparations were carried out with a classical Stokes polarimeter,

the optical scheme of which is shown in Fig. 1 [12–14].

The results of azimuthal-invariant mapping of the coordinate distributions of the phase MMI value illustrate the differences between the optical anisotropy of the fibrillar collagen networks of the layers of the human VB with different TSD. It is found that the coordinate distributions of the phase MMI value of the sample of the VB at TSD 12 hours are characterized by a larger average value and a range of random values compared to the similar coordinate distributions of phase MMI determined for the VB at TSD for 3 hours.

The established fact can be explained by the value of the optical anisotropy, which is inversely proportional to the phase modulation at the points of the plane of the layer of VB [6–10]. Therefore, with the increase of TSD due to necrotic changes, the level of optical anisotropy decreases. Accordingly, the depth of phase modulation of laser radiation is increased by optically anisotropic structures of the VB sample. This necrotic process is accompanied by larger random values of phase MMI [3,4].

The results of the statistical analysis of the temporal dynamics of necrotic changes of the phase MMI maps of the VB layers at different TSD are accompanied by opposite tendencies — the increase of the mean and the variance (Fig. 2). On the contrary, the magnitudes of the statistical moments of the 3rd and 4th orders, which characterize the asymmetry and excess, decrease.

Quantitatively, this scenario of changing the phase structure of fibrillar networks of samples of human VB with different TSD illustrates the statistical moments of the 1st — 4th orders, which are shown in table 1.

We found that the linear range of change in the magnitude of the statistical moments of the 1–4th order, which characterize the coordinate distributions of the phase MMI of the layers of the human VB by the TSD is 24 h. The value of SM1 varies within the range defined for all sample groups by the average values from 0.49 to 0.19, SM2 from 0.27 to 0.09, SM3 from 0.51 to 0.97, SM4 from 0.61 to 1.19.

Table 1
Temporal dynamics of changes in the magnitude of the statistical moments of the 1st - 4th orders (SMi=1;2;3;4), that characterize the phase MMI distributions

SMi	T=1	T=3	T=6	T=12	T=18	T=24
SM1	0,49±0,022	0,45±0,019	0,41±0,017	0,33±0,014	0,26±0,011	0,19±0,008
p	p <0,05	p <0,05	p <0,05	p <0,05	p <0,05	p <0,05
SM2	0,27±0,012	0,25±0,011	0,22±0,01	0,17±0,008	0,13±0,006	0,09±0,004
p	p <0,05	p <0,05	p <0,05	p <0,05	p <0,05	p <0,05
SM3	0,51±0,023	0,57±0,025	0,62±0,027	0,74±0,034	0,85±0,039	0,97±0,044
p	p <0,05	p <0,05	p <0,05	p <0,05	p <0,05	p <0,05
SM4	0,61±0,027	0,65±0,029	0,72±0,033	0,87±0,038	1,01±0,045	1,19±0,052
p	p <0,05	p <0,05	p <0,05	p <0,05	p <0,05	p <0,05

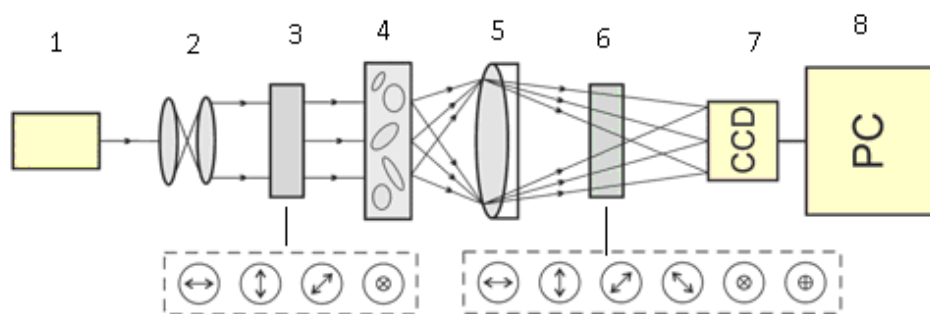


Fig. 1 Optical Stokes polarimeter scheme: 1 –He-Ne laser with wavelength $\lambda=0,6328\mu\text{m}$; 2 – optical node (collimator) - flat wave formation; 3 – polarizing irradiator; 4 – layer of VB; 5 – polarizing microlens; 6 – polarization analyzer; 7 – CCD camera; 8 – device for analytical data processing – PC

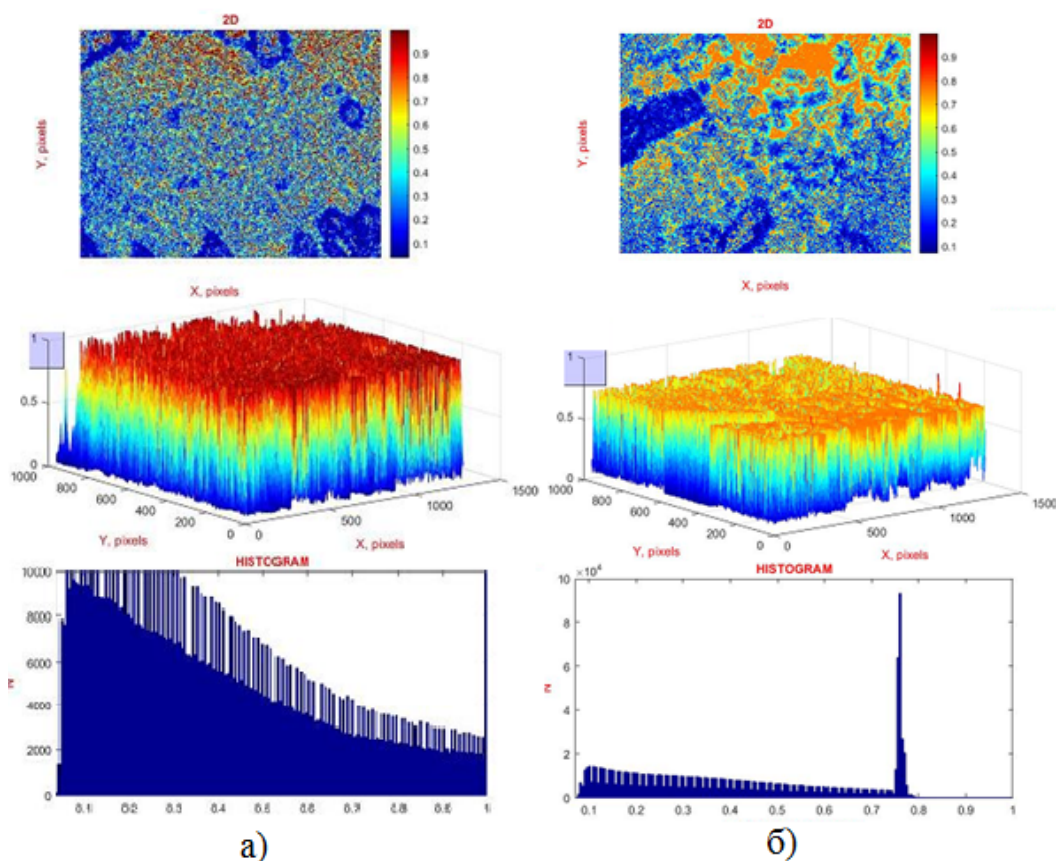


Fig. 2. Maps and distributions of the phase MMI of the layers of VB at TSD 3 hours (a) and 12 hours (b)

The results of changing the magnitude of the set of statistical moments $SM_{1;2;3;4}$ are presented in the form charts in Figs. 3.

From the obtained data (Fig. 3) it is evident that the values of the mean, variance, asymmetry and excesses linearly change within 24 hours. In this case, the most sensitive to necrotic changes in the polycrystalline structure of the VB were the temporal changes of the asymmetry SM_3 and excess SM_4 . Quantitatively, this is manifested in the increase

of the slope angles of such linear dependencies of higher order statistical moments — Table 2.

Analysis of the obtained data on the time dependences of the set of statistical moments of 1–4th orders, which characterize the distribution of magnitude of phase MMI at different intervals of the TSD, revealed the maximum level (highlighted in gray) of accuracy in the determination of the TSD within 44 min. — 46 minutes.

Оригінальні дослідження

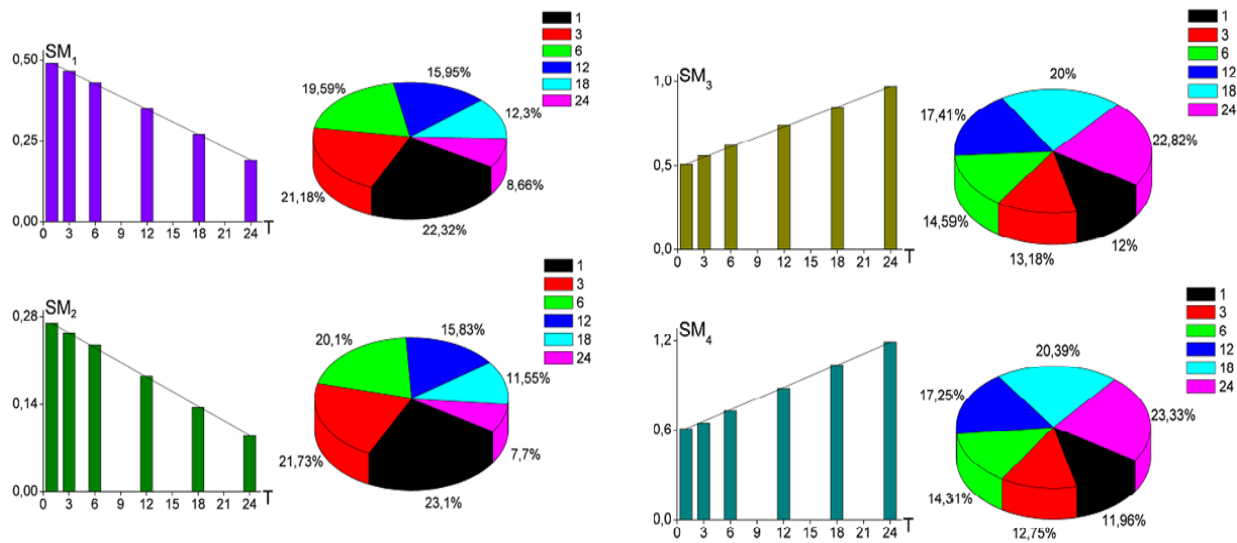


Fig. 3. Time diagrams of changes in the magnitude of the statistical moments of the 1st - 4th orders (SM1;2;3;4), which characterize the phase MMI distributions of the layers of VB with different TSD (T, h)

Table 2
Accuracy of TSD determination by Muller-matrix mapping of VB layers

SM _i	T=1	T=3	T=6	T=12	T=18	T=24
SM ₁	55 min.	56 min.	55 min.	57 min.	60 min.	61 min.
SM ₂	52 min.	53 min.	52 min.	53 min.	53 min.	52 min.
SM ₃	45 min.	46 min.	48 min.	47 min.	48 min.	48 min.
SM ₄	44 min.	45 min.	44 min.	45 min.	46 min.	46 min.

Conclusions

1. The method of azimuthal-invariant Muller-matrix mapping of coordinate distributions of phase MMI of layers of human VB with different TSD was tested.

2. The time dynamics of the change in the magnitude of the statistical moments of the 1st — 4th orders, which characterize the distribution of the phase MMI of the layers of the human VB with different TSD, is investigated. The range of sensitivity (24 h) and accuracy (44–46 min) of the Muller-matrix mapping method of VB layers into determined TSD were established

3. In order to increase the range of sensitivity and to improve the accuracy of the Muller-matrix mapping method of VB layers, in our opinion, it will be promising to use the information capabilities of the scale-selective wavelet analysis of the coordinate distributions of the phase MMI.

Список літератури

1. Буйнов АА. Стекловидное тело глаза человека как объект для судебно-медицинского исследования. Материалы международной научно-практической конференции. Минск, 2016; 38-40.
2. Angelsky OV, Bachinskiy VT, Boichuk TM. Optical Measurements: Polarization and Coherence of Light Fields. In the book «Modern Metrology Concerns» edited by Luigi Cocco. 2012; 263-316.
3. Bachinsky VT, Vanchulyak OY, Zavolovich AI. Optical methods of investigation in forensic practice. Info-Med Revista stiintifico-practica. 2014;32-3.
4. Bachyns'kyi VT, Pavliukovych OV, Wanchuliak OY, 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. Буковинський медичний вісник. 2010;14(4(56)):119-21.
5. Garazdiuk MS. Post-mortem interval estimation by laser-induced fluorescence of polycrystalline cerebro-spinal fluid films images. Судово-медична експертиза. 2016; 2: 32-8.
6. Garazdiuk M, Garazdiuk M, Vanchuliak O, Garazdiuk O, Rak M, Grynychuk V. The comparative analysis of different techniques of laser polarimetry for determination of time of death in the study of polycrystalline films of cerebrospinal fluid. Georgian medical news. 2019;(286):126-32.
7. Michal K, 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. Legal Medicine. 2019; 38:10-3. <https://doi.org/10.1016/j.legalmed.2019.03.004>.
8. 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. Journal of forensic dental sciences. 2018;10(1):34.
9. Ondruschka B, Babian C, Neef M, Zwirner M, Schwarz M. Entomological and Cardologic Evidence of Time Since Death in Short Postmortem Intervals. Journal of forensic sciences. 2019; 64(5): 1563-7. <https://doi.org/10.1111/1556-4029.14010>.
10. Sakhnovskiy MY, Dubolazov AV, Ushenko VA, Sokolnuik SO,

- Grygoryshyn PM, Vanchuliak OY, Besaga RM. Diffusive laser tomography of multilateral biological tissues. *Advanced Topics in Optoelectronics, Microelectronics, and Nanotechnologies IX*. International Society for Optics and Photonics, 2019; 10977.
- Skeie JM, Roybal CN, Mahajan VB, Skeie JM. Proteomic insight into the molecular function of the vitreous. *PLoS one*. 2015; 10(5): e0127567.
 - Garazdiuk M, Bachynskiy V, Wanchuliak O, Ushenko A, Garazdiuk O. Post-mortem interval estimation by cerebrospinal fluid films polarization images optical structure changing. *CBU International conference proceedings 2016 Innovations in science and education*. 2016:711-8.
 - Ushenko VO, Olar OV, Ushenko YO. Polarization correlometry of polycrystalline films of human liquids in problems of forensic medicine. *Proc.SPIE*. 2015;9809:98091B-98091B-6.
 - Ushenko AG, Ushenko AG, Zhytaryuk VG, Sidor MI, Wanchulyak OY, Motrich AV, Soltys IV, Pavliukovich N. System 3D Jones-matrix polarimetry of polycrystalline films of biological fluids. *Nanoimaging and Nanospectroscopy VI*. 2018; 10726.
 - Weiser M, Freytag Y, Erdmann B, Hubig M, Mall G. Optimal design of experiments for estimating the time of death in forensic medicine. *Inverse Problems* 34.12 (2018): 125005.
 - Sudovo-medychna ekspertyza. 2016; 2: 32-8.
 - Garazdiuk M, Garazdiuk M, Vanchuliak O, Garazdiuk O, Rak M, Grynychuk V. The comparative analysis of different techniques of laser polarimetry for determination of time of death in the study of polycrystalline films of cerebrospinal fluid. *Georgian medical news*. 2019;(286):126-32.
 - Michal K, 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. *Legal Medicine*. 2019; 38:10-3. <https://doi.org/10.1016/j.legalmed.2019.03.004>
 - 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. *Journal of forensic dental sciences*. 2018;10(1):34.
 - Ondruschka B, Babian C, Neef M, Zwirner M, Schwarz M. Entomological and Cardiac Evidence of Time Since Death in Short Postmortem Intervals. *Journal of forensic sciences*. 2019; 64(5): 1563-7. <https://doi.org/10.1111/1556-4029.14010>
 - Sakhnovskiy MY, Dubolazov AV, Ushenko VA, Sokolnuik SO, Grygoryshyn PM, Vanchuliak OY, Besaga RM. Diffusive laser tomography of multilateral biological tissues. *Advanced Topics in Optoelectronics, Microelectronics, and Nanotechnologies IX*. International Society for Optics and Photonics, 2019; 10977.
 - Skeie JM, Roybal CN, Mahajan VB, Skeie JM. Proteomic insight into the molecular function of the vitreous. *PLoS one*. 2015; 10(5): e0127567.
 - Garazdiuk M, Bachynskiy V, Wanchuliak O, Ushenko A, Garazdiuk O. Post-mortem interval estimation by cerebrospinal fluid films polarization images optical structure changing. *CBU International conference proceedings 2016 Innovations in science and education*. 2016;711-8.
 - Ushenko VO, Olar OV, Ushenko YO. Polarization correlometry of polycrystalline films of human liquids in problems of forensic medicine. *Proc.SPIE*. 2015;9809:98091B-98091B-6.
 - Ushenko AG, Ushenko AG, Zhytaryuk VG, Sidor MI, Wanchulyak OY, Motrich AV, Soltys IV, Pavliukovich N. System 3D Jones-matrix polarimetry of polycrystalline films of biological fluids. *Nanoimaging and Nanospectroscopy VI*. 2018; 10726.
 - Weiser M, Freytag Y, Erdmann B, Hubig M, Mall G. Optimal design of experiments for estimating the time of death in forensic medicine. *Inverse Problems* 34.12 (2018): 125005.

References

- Bujnov AA. Steklovidnoe telo glaza cheloveka kak obekt dlja sudebno-medicinskogo issledovaniya [The vitreous body of the human eye as an object for forensic research] *Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii*. Minsk, 2016; 38-40. (in Russian).
- Angelsky OV, Bachynskiy VT, Boichuk TM. Optical Measurements: Polarization and Coherence of Light Fields. In the book «Modern Metrology Concerns» edited by Luigi Cocco. 2012; 263-316.
- Bachynskiy VT, Wanchulyak OY, Zavolovich AI. Optical methods of investigation in forensic practice. *Info-Med Revista stiintifico-practica*. 2014;32-3.
- Bachynskiy VT, Pavliukovich OV, Wanchuliak OY, 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. *Bukovynskiy medychnyi visnyk*. 2010;14(4(56)):119-21.
- Garazdiuk MS. Post-mortem interval estimation by laser-induced fluorescence of polycrystalline cerebro-spinal fluid films images.

Відомості про автора

Саркісова Юлія Володимирівна — аспірант кафедри судової медицини та медичного правознавства ВДНЗ України «Буковинський державний медичний університет», м. Чернівці, Україна. <https://orcid.org/0000-0001-6095-1957>.

Сведения об авторе

Саркісова Юлия Владимировна — аспирант кафедры судебной медицины и медицинского правоведения ВГУЗ Украины «Буковинский государственный медицинский университет», г. Черновцы, Украина.

Information about the author

Sarkisova Yulia Volodymyrivna — PhD student of the Department of Forensic Medicine and Medical Law of HSEI of Ukraine «Bukovinian State Medical University», Chernivtsi, Ukraine.

Надійшла до редакції 10.02.2020
Рецензент — проф. Давиденко І.С.
 © Ю.В. Саркісова, 2020