

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА СИСТЕМ ПОЛЯРИЗАЦІЙНОГО ОЦІНЮВАННЯ ОПТИЧНОЇ АНІЗОТРОПІЇ ДВОШАРОВИХ БІОЛОГІЧНИХ ТКАНИН ПРИ ЇХ ДІАГНОСТИЦІ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

В роботі наведено порівняльний аналіз сучасних поляризаційних методів реконструкції параметрів оптичної анізотропії двошарових біологічних тканин в технологіях медичної діагностики. Визначено переваги та обмеження відомих систем поляриметричної реконструкції оптичних характеристик шарів двошарових біологічних структур, зокрема за оцінками достовірності діагностики на їх основі.

Ключові слова: мюллер-матрична поляриметрія, анізотропія біологічного шару, достовірність діагностики двошарових біологічної тканини.

Abstract

The paper presents a comparative analysis of modern polarization methods for reconstructing the optical anisotropy parameters of bilayer biological tissues in medical diagnostic technologies. The advantages and limitations of known systems for polarimetric reconstruction of optical characteristics of layers of bilayer biological structures are determined, in particular, in terms of assessing the reliability of diagnostics based on them.

Keywords: mueller matrix polarimetry, anisotropy of biological layers, reliability of diagnosis of two-layer biological tissues.

Вступ

Поляризаційні методи дослідження біологічних тканин є ефективним інструментом для отримання кількісних характеристик їх мікроструктури. Зокрема, вони дають змогу оцінювати орієнтацію волокон колагену, фазові зсуви та ступінь деполаризації випромінювання, що відбуваються при його проходженні через анізотропне середовище [1]. Мюллер-матрична поляриметрія забезпечує повний опис перетворення поляризаційного стану світла за допомогою матриці Мюллера, що робить її універсальним методом реконструкції оптичних параметрів двошарових структур біотканин [2], що застосовується в медичній діагностиці.

Однак більшість існуючих систем поляриметричної реконструкції мають обмеження, пов'язані з точністю визначення параметрів та відсутністю автоматизованого аналізу отриманих даних, зокрема при застосуванні в медичній діагностиці [3-4]. Тому важливим завданням є проведення порівняльного аналізу методів та оптико-інформаційних діагностичних систем, спрямованих на підвищення достовірності визначення параметрів оптичної анізотропії біологічних шарів складних біологічних структур.

Метою даної роботи є аналіз сучасних поляризаційних методів та систем реконструкції параметрів оптичної анізотропії шарів двошарових біологічних тканин із визначенням їх переваг і недоліків та напрямку подальшого розвитку.

Результати дослідження

Проведено аналітичний огляд методів лазерної поляриметрії, що застосовуються для дослідження реконструкції параметрів шарів двошарових біологічних тканин (БТ). На основі узагальнення експериментальних і теоретичних даних встановлено, що найбільш інформативним підходом до аналізу оптичної анізотропії є мюллер-матрична поляриметрія.

У результаті порівняння відомих прямих методів відтворення орієнтаційних та фазових параметрів окремих шарів біологічних тканин та орієнтаційно-фазових параметрів підповерхневих шарів двошарових біологічних тканин (таблиця 1), які реалізовано відповідними системами, встановлено, що багатопараметричні системи на основі комплексного статистичного, кореляційного та фрактального аналізів забезпечують вищу достовірність діагностики (~95 %). Недоліком таких систем є її обмежені функціональні можливості, обумовлені відсутністю класифікаційного автоматизованого аналізу вектора інформативних характеристик реконструйованих параметрів шарів двошарової БТ, що також призводить до обмежень рівня достовірності при медичній діагностиці БТ.

Таблиця 1- Порівняння систем реконструктивної Мюллер-поляриметрії та аналізу анізотропних біологічних шарів

Назва системи	Метод реконструкції анізотропії шарів БТ	Методи аналізу реконструйованих параметрів шарів БТ	Методи класифікації реконструйованих параметрів	Достовірність діагностики двошарових БТ
Система прямої поляриметричної реконструкції орієнтаційних мап біологічного шару	Метод прямої реконструкції орієнтаційних мап БШ	Статистичний, кореляційний	Відсутні	83,5%
Система прямої поляриметричної реконструкції фазових мап біологічного шару	Метод прямої реконструкції фазових мап БШ	Статистичний, кореляційний	Відсутні	89,5%
Багатопараметрична система для поляризаційної реконструкції анізотропії двошарових БТ	Метод мюллер-матричної реконструкції підповерхневих шарів двошарової БТ	Статистичний, кореляційний, фрактальний	Відсутні	95,3%

Аналіз даних таблиці 1 показав, що переваги багатопараметричної системи для поляризаційної реконструкції анізотропії шарів двошарових БТ отримано, в тому числі, й за рахунок визначення вектора ознак діагностики на основі комплексного застосування статистичного, кореляційного та фрактального аналізу виміряних мап розподілів.

Актуальним для покращення достовірності діагностики є подальший автоматизований класифікаційний аналіз [5, 6] отриманих ознак діагностики. Детальний аналіз сучасних систем Мюллер-Джонс-матричної візуалізації БТ з інтелектуалізованими рішеннями та застосованими технологіями штучного інтелекту наведено в статті співавтора тез [7].

Висновки

Проведений аналіз показав, що багатопараметричні мюллер-матричні системи забезпечують найвищу точність реконструкції параметрів анізотропії двошарових біотканин. Подальше вдосконалення методики пов'язане з врахуванням умов азимутальної незалежності окремих елементів матриці Мюллера двошарової БТ та їх суперпозицій для підвищення достовірності діагностики при проведенні автоматизованого класифікаційного аналізу виміряних розподілів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Digital Information Methods of Polarization, Mueller-Matrix and Fluorescent Microscopy / V.L. Vasyuk, A.V. Kalashnikov, A.G. Ushenko et al. Springer Nature Singapore, 2023. 102 p.
2. Zabolotna, N.I., Sholota, V.V., Okarskyi H.H. Methods and systems of polarization reproduction and analysis of the biological layers structure in the diagnosis of pathologies. 2020. *Proceedings of SPIE*. 11369, 113691S, P. 501-513.
3. Ma H., He H., Ramella-Roman J.C. Mueller matrix microscopy. *Polarized Light in Biomedical Imaging and Sensing*. 2024. Vol. 11. P. 281–320.
4. Characterization of cervical tissue using Mueller matrix polarimetry / S. Khan S., M. Qadir, A. Khalid et al. *Lasers in Med Scienc*. 2023. Vol. 38 (1).

5. System of polarization mapping and intellectual analysis of Mueller matrix invariants of biological layers in the assessment of pathologies / N. Zabolotna, V. Sholota, S. Zhumagulova et al. *Proceedings of SPIE*. 2023. 12985, 129850Q.
6. Заболотна, Н.І., Шолота, В.В. Метод та підсистема підтримки прийняття рішення для мюллер-матричної лазерної поляризаційної діагностики біологічних тканин. *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*. 2022. 1(43) С. 43–52 <https://doi.org/10.31649/1681-7893-2022-43-1-43-52>.
7. Шолота В.В. Аналіз методів підтримки прийняття рішень в системах поляризаційної інтроскопії біологічних тканин та рідин. *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*. 2025. № 1. С. 185-192.

Шолота Владислава Владиславівна — асистент кафедри комп'ютерних наук, факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: lada.sholota@vntu.edu.ua

Рачинський Дмитро Леонідович – студент групи ЛТО-24м, факультет інформаційних електронних систем, Вінницький національний технічний університет, місто Вінниця, e-mail: rachinskiydimas2016@gmail.com

Sholota Vladyslava V. — assistant of the Department of Computer Science, Faculty of Intelligent Information Technologies and Automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: lada.sholota@vntu.edu.ua

Rachynskiy Dmytro L. - student of group LTO-24b, Faculty of Information Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia city, email: rachinskiydimas2016@gmail.com