

Олександр Ушенко^{1,2}
Наталія Павлюкович³
Оксана Хухліна³
Олександр Павлюкович⁴
Ірина Солтис²
Олександр Дуболазов²
Юрій Ушенко^{5,6}
Лілія Слоцька²
Михайло Огірко²

МУЛЬТИФРАКТАЛЬНЕ СКАНУВАННЯ ПЛІВОК ПЛАЗМИ КРОВІ В ДІАГНОСТИЦІ НАСЛІДКІВ COVID-19

¹Інститут Чжецзянського університету - Тайчжоу, Китай

²Кафедра поліграфічних, мультимедійних та оптичних технологій Чернівецького національного університету, Чернівці, Україна

³Кафедра внутрішньої медицини, клінічної фармакології та професійних хвороб Буковинського державного медичного університету, Чернівці, Україна

⁴Кафедра судової медицини та медичного права Буковинського державного медичного університету, Чернівці, Україна

⁵Кафедра комп'ютерних наук Чернівецького національного університету, Чернівці, Україна

⁶Кафедра фізики, Університет Шаосін, Шаосін, Чжецзян 312000, Китай

Анотація

Розроблено метод 3D фазового сканування для створення пошарових поляризаційних карт подвійного променезаломлення фацій плазми крові, що дозволяє визначати мультифрактальні маркери супрамолекулярних мереж і з високою точністю диференціювати наслідки COVID-19 різної тривалості.

Ключові слова: Подвійне променезаломлення, поляризаційне картування, мультифрактальний аналіз, фрактальна розмірність, вейвлет-перетворення, плазма крові, супрамолекулярні мережі, COVID-19.

Annotation

A 3D phase scanning method has been developed to generate layered polarization maps of birefringence in blood plasma facies, enabling the identification of multifractal markers of supramolecular networks and achieving high-accuracy differentiation of long-term COVID-19 effects.

Keywords: Birefringence, polarization mapping, multifractal analysis, fractal dimension, wavelet transform, blood plasma, supramolecular networks, COVID-19.

Вступ

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю розробки високочутливих методів аналізу біологічних рідин для оцінки віддалених наслідків COVID-19. Одним із перспективних підходів є поляризаційне картування фацій плазми крові, оскільки воно відображає зміни в супрамолекулярних білкових мережах. Використання 3D фазового сканування та мультифрактального аналізу дозволяє виявити специфічні маркери змін, пов'язаних із тривалістю та тяжкістю перенесеного захворювання.

Результати досліджень

Встановлено діагностичні зв'язки між картами поляризації поля об'єкта та подвійним променезаломленням фацій біологічних рідин. Було застосовано метод 3D фазового сканування фацій плазми крові та створено пошарові поляризаційні карти поля об'єкта. Виявлено найбільш чутливі параметри до зміни розподілу подвійного променезаломлення зразків фацій. Мультифрактальний аналіз використовувався для оцінки додаткових специфічних параметрів, зокрема структури самоподібності масштабу поляризаційних карт. Цей аналіз ґрунтувався на методах вейвлет-перетворення та спектрах фрактальних розмірностей. Алгоритмічно отримано мультифрактальні спектри розподілів еліптичності на мікроскопічних зображеннях різних фазових розрізів фації плазми крові. Встановлено, що статистичні моменти 3-го і 4-го порядку, які характеризують мультифрактальні спектри, є найбільш чутливими до змін супрамолекулярних мереж фації. Результати мультифрактального аналізу було успішно застосовано до проблеми реального світу, завдяки чому досягнуто чудової точності в диференціації наслідків COVID-19 різної тривалості.

Висновки

Запропонована методика 3D фазового сканування фацій плазми крові та мультифрактального аналізу дозволяє виявляти діагностично значущі маркери змін супрамолекулярних білкових мереж. Встановлено, що статистичні моменти мультифрактальних спектрів є найбільш чутливими до структурних змін, спричинених COVID-19, що забезпечує високу точність диференціації віддалених наслідків захворювання.

ПОДЯКИ

Дослідження виконано за підтримки гранту Національного фонду досліджень України №2023.03/0174.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Jacques SL. Polarized light imaging of biological tissues. In: Boas D, Pitris C, Ramanujam N, editors. Handbook of Biomedical Optics. 2nd ed. CRC Press; 2011. p. 649–669
2. Vitkin A, Ghosh N, de Martino A. Tissue Polarimetry. In: Andrews DL, editor. Photonics: Scientific Foundations, Technology and Applications. John Wiley & Sons; 2015. p. 239–321.
3. Mueller-Matrix Interferometric Multifractal Scaling of Optically Anisotropic Architectonics of Diffuse Blood Facies: Fundamental and Applied Aspects / Ushenko, Y., Ushenko, A., Dubolazov, A., Soltys, I., Litvinenko, O., Wanchuliak, O., Sarkisova, Y., Mikirin, I., Salega, O., Zheng, J. and Bin, L.J. // Biophotonics. – 2024. – P. e202400412.

Олександр Ушенко – д.ф.-м.н., професор, завідувач кафедри поліграфічних, мультимедійних та оптичних технологій Чернівецького національного університету, Чернівці, Україна, професор Інституту Чжецзянського університету - Тайчжоу, Китай

Наталія Павлюкович – к. м.н., доцент кафедри внутрішньої медицини, клінічної фармакології та професійних хвороб Буковинського державного медичного університету, Чернівці, Україна

Оксана Хухліна – д. м.н., професор, завідувач кафедри внутрішньої медицини, клінічної фармакології та професійних хвороб Буковинського державного медичного університету, Чернівці, Україна

Олександр Павлюкович – к. м.н., доцент судової медицини та медичного права Буковинського державного медичного університету, Чернівці, Україна

Ірина Солтис – к.ф.-м.н., доцент кафедри поліграфічних, мультимедійних та оптичних технологій Чернівецького національного університету, Чернівці, Україна

Олександр Дуболазов – д.ф.-м.н., професор кафедри поліграфічних, мультимедійних та оптичних технологій Чернівецького національного університету, Чернівці, Україна, a.dubolazov@chnu.edu.ua

Юрій Ушенко – д.ф.-м.н., професор, завідувач кафедри комп'ютерних наук Чернівецького національного університету, Чернівці, Україна, професор кафедри фізики, Університет Шаосін, Шаосін, Чжецзян 312000, Китай

Лілія Слоцька – к.т.н., доцент кафедри поліграфічних, мультимедійних та оптичних технологій Чернівецького національного університету, Чернівці, Україна

Михайло Огірко – к.т.н., асистент кафедри поліграфічних, мультимедійних та оптичних технологій Чернівецького національного університету, Чернівці, Україна

Oleksandr Ushenko – Doctor of Science in Physics and Mathematics, Professor, Head of the Department of Printing, Multimedia, and Optical Technologies at Chernivtsi National University, Chernivtsi, Ukraine, Professor, Zhejiang University Institute - Taizhou, China

Natalia Pavlyukovych – PhD in Medicine, Associate Professor of the Department of Internal Medicine, Clinical Pharmacology, and Occupational Diseases at Bukovinian State Medical University, Chernivtsi, Ukraine.

Oksana Khukhlina – Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department of Internal Medicine, Clinical Pharmacology, and Occupational Diseases at Bukovinian State Medical University, Chernivtsi, Ukraine.

Oleksandr Pavlyukovych – PhD in Medicine, Associate Professor of Forensic Medicine and Medical Law at Bukovinian State Medical University, Chernivtsi, Ukraine.

Iryna Soltys – PhD in Physics and Mathematics, Associate Professor at the Department of Printing, Multimedia, and Optical Technologies at Chernivtsi National University, Chernivtsi, Ukraine.

Oleksandr Dubolazov – Doctor of Science in Physics and Mathematics, Professor at the Department of Printing, Multimedia, and Optical Technologies at Chernivtsi National University, Chernivtsi, Ukraine, a.dubolazov@chnu.edu.ua.

Yuriy Ushenko – Doctor of Science in Physics and Mathematics, Professor, Head of the Department of Computer Science at Chernivtsi National University, Chernivtsi, Ukraine; Professor at the Department of Physics, Shaoxing University, Shaoxing, Zhejiang 312000, China.

Liliya Slotska – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Printing, Multimedia, and Optical Technologies, Chernivtsi National University, Chernivtsi, Ukraine.

Mykhailo Ohirko – Ph.D. in Technical Sciences, Assistant of the Department of Printing, Multimedia, and Optical Technologies, Chernivtsi National University, Chernivtsi, Ukraine.