УДК 535.361; 535.555

Олександр Ушенко[1,2]
Наталія Павлюкович[3]
Оксана Хухліна [3]
Олександр Павлюкович[4]
Ірина Солтис[2]
Олександр Дуболазов[2]
Юрій Ушенко[5,6]
Лілія Слоцька[2]
Михайло Огірко[2]

ПОШАРОВЕ МУЛЬТИФРАКТАЛЬНЕ СКАНУВАННЯ ОПТИЧНО АНІЗОТРОПНОЇ АРХІТЕКТОНІКИ ПЛІВОК ПЛАЗМИ КРОВІ

[1]Інститут Чжецзянського університету - Тайчжоу, Китай
[2]Кафедра поліграфічних, мультимедійних та оптичних технологій Чернівецького національного університету, Чернівці, Україна
[3]Кафедра внутрішньої медицини, клінічної фармакології та професійних хвороб Буковинського державного медичного університету, Чернівці, Україна
[4]Кафедра судової медицини та медичного права Буковинського державного медичного університету, Чернівці, Україна
[5]Кафедра комп'ютерних наук Чернівецького національного університету, Чернівці, Україна
[6]Кафедра фізики, Університет Шаосін, Шаосін, Чжецзян 312000, Китай

Анотація

Розроблено нову оптичну техніку для вивчення топографічної структури карт оптичної анізотропії плазми крові, що дозволяє визначати мультифрактальні маркери супрамолекулярних білкових мереж та здійснювати диференціальну діагностику віддалених наслідків COVID-19.

Ключові слова: Оптична анізотропія, матриця Джонса, подвійне променезаломлення, мультифрактальність, плазма крові, супрамолекулярні мережі, статистичний аналіз, COVID-19.

Annotation

A novel optical technique has been developed for studying the topographic structure of optical anisotropy maps of blood plasma, enabling the identification of multifractal markers of supramolecular protein networks and facilitating the differential diagnosis of long-term consequences of COVID-19.

Keywords: Optical anisotropy, Jones matrix, birefringence, multifractality, blood plasma, supramolecular networks, statistical analysis, COVID-19.

Вступ

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю розробки нових діагностичних підходів для виявлення довгострокових наслідків COVID-19. Супрамолекулярні білкові мережі плазми крові є чутливими до змін в організмі, що можуть відображатися у їхній оптичній анізотропії. Запропонований метод поєднує поляризаційно-інтерференційну реконструкцію матриці Джонса та аналіз мультифрактальних характеристик плазми крові для визначення діагностичних маркерів.

Результати досліджень

Ця робота зосереджена на вивченні топографічної структури карт оптичної анізотропії (тезіограм) плівок плазми крові (фацій) для визначення маркерів для оцінки самоподібності (мультифрактальності) супрамолекулярних білкових мереж. Розроблено нову оптичну техніку, що

поєднує поляризаційно-інтерференційну реконструкцію матриці Джонса та алгоритм для визначення пошарових розподілів параметрів подвійного променезаломлення в плівках плазми крові. Це дозволяє проводити мультифрактальний аналіз супрамолекулярних мереж. Розподіл фрактальних розмірностей обчислюється за допомогою матричної моделі Джонса, яка описує оптичну анізотропію супрамолекулярних мереж у фаціях плазми крові. З цієї моделі були визначені та фізично обґрунтовані зв'язки між лінійним і круговим подвійним променезаломленням мереж і реальними та уявними компонентами елементів матриці Джонса. За допомогою цього методу отримано та проаналізовано експериментальні пошарові тезіограми матриці Джонса двопроменезаломлення архітектоніки супрамолекулярних мереж плазми крові. Дослідження представляє набір плівок, що демонструють лінійні та кругові розподіли подвійного променезаломлення та їхні відповідні мультифрактальні спектри, які були фізично досліджені. У рамках статистичного аналізу розподілів фрактальної розмірності ідентифіковано діагностичні маркери, чутливі до зміни структури карти оптичної анізотропії. Ці висновки були застосовані для успішної демонстрації здатності проводити диференціальну діагностику віддалених (від одного до двох років) наслідків COVID-19 з високою точністю.

Висновки

Розроблений метод дозволяє з високою точністю ідентифікувати віддалені наслідки COVID-19, що робить його перспективним інструментом для неінвазивної діагностики та моніторингу постковідного синдрому.

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.