

АНОТАЦІЯ

Карась О.В. Відеополяриметрична система для аналізу зображень плівок плазми крові при оцінюванні патологій молочних залоз. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття ступеню доктора філософії за спеціальністю 163 «Біомедична інженерія» (16 «Хімічна та біоінженерія»). Вінницький національний технічний університет, Вінниця, 2021.

Дисертаційна робота присвячена розв'язанню важливої науково-практичної задачі підвищення достовірності діагностування патологій молочних залоз.

У результаті дисертаційного дослідження було вирішено актуальну задачу підвищення достовірності діагностування патологій молочних залоз шляхом застосування поєднання статистичного та кореляційного аналізу отриманих поляризаційних мап елементів матриці Джонса плівок плазми крові та диференціацією патологій на їх основі за допомогою системи підтримки прийняття рішень на основі нейромережових технологій.

Проведено аналіз існуючих променевих, морфологічних та оптичних методів і засобів діагностування ракових захворювань. Встановлено, що для задач ранньої або скринінгової діагностики актуальним напрямком є оптичні не- або малоінвазивні методи та системи зображальної лазерної поляриметрії фазово-неоднорідних гістологічних зрізів біологічних тканин чи плівок біологічних рідин.

Досліджено неполяризаційні методи діагностики, та визначено, що основними недоліками даних систем є їх складність, недостатня дослідженість, та часто висока вартість необхідного обладнання.

Розглянуто методи мюллер-матричного відтворення анізотропних параметрів біологічних тканин та прямі методи реконструкції зазначених параметрів оптично тонких шарів при їх застосуванні в оцінюванні патологічних станів.

Визначено, що методика матриць Джонса є простішою за матриці

Мюллера, оскільки замість матриць 4x4 використовуються матриці 2x2. Внаслідок того, що Джонс-матрична поляриметрия працює в умовах слабо розсіяних середовищ зі збереженням поляризації, то саме її доцільно використати для плівок плазми крові.

Приведено порівняльний аналіз існуючих методик медичного діагностування онкопатологій з якого видно, що істотне покращення достовірності діагностування патологій вищевказаних методик зображальної лазерної поляриметрії можливе за рахунок інтелектуалізованого аналізу вимірних поляризаційних мап БР чи БТ з допомогою комп'ютерної системи підтримки прийняття рішень.

Інтелектуальний аналіз оптичних зображень на базі нейромережових та інших підходів до технології поляризаційного діагностування патологічних станів біологічних тканин мають розширити можливості відеополяриметричних систем.

Удосконалено метод Джонс-матричного картографування плівок плазми крові людини для оцінювання патологічних змін молочних залоз шляхом застосування методів Джонс-матричного картографування плівок плазми крові людини двох груп («норма» та «фіброаденома») із подальшим статистичним та кореляційним аналізом координатних розподілів елементів матриці Джонса, що дозволило підвищити достовірність діагностування патологічних змін у молочних залозах для скринінгових (доступніших і менш травматичних) досліджень.

Проаналізовано модельний підхід до опису оптично анізотропних середовищ біологічних об'єктів, у відповідності до якого біологічна рідина розглядаються як двокомпонентні аморфно-кристалічні біологічні структури, кристалічна компонента яких сформована сукупністю (мережею) кристалів альбуміну і глобуліну.

Розглянуто принципи роботи відеополяриметричної зображувальної системи для діагностування стану зображень плівок плазми крові, що базуються на основі оцінювання структурних змін за статистичним та

кореляційним аналізом двовимірних розподілів елементів матриці Джонса.

Удосконалено метод та систему Джонс-матричного відтворення розподілів орієнтаційних та фазових параметрів біологічних рідин, що дозволяє поширити метод при застосуванні на реальні двокомпонентні біологічні структури. Це досягається за рахунок формування оптимального стану поляризації опромінюючого зразка лазерного пучка в кожному пікселі зображення реєструвальної камери та подальшою статистичною та кореляційною обробкою отриманих поляризаційних зображень.

Удосконалено архітектуру системи зображувальної поляриметрії шляхом додавання комп'ютеризованого блоку підтримки прийняття рішень на основі нейромережових технологій для автоматизації та підвищення достовірності діагностування патологічних станів молочних залоз.

Проведено аналіз метрологічних характеристик відеополяриметричної системи аналізу зображень плівок плазми крові за допомогою референтних матриць лінійного поляризатора орієнтованого під кутом 0° , який показав, що величина абсолютної похибки виміряних елементів матриці Джонса лінійного поляризатора лежить в межах 0,03 – 0,089, що відповідають встановленим для таких систем вимогам.

Удосконалено архітектуру та алгоритмічне забезпечення відеополяриметричної системи для аналізу плівок плазми крові при оцінюванні патологій молочних залоз за рахунок введення до архітектури блоку підтримки прийняття рішень, що дало можливість в автоматичному режимі проводити експериментальні дослідження.

Створено експериментальну установку відеополяриметричної системи для оцінювання зображень плівок плазми крові з можливістю аналізу отриманих поляризаційних мап та диференціації нозологій на основі непромережених технологій. Проведено комплексний аналіз виміряних двовимірних розподілів елементів матриці Джонса на основі статистичного та кореляційного підходів.

Наведено поляризаційні мапи плівок плазми крові, а також відповідні їм

елементи матриці Джонса та їх двовимірні та тривимірні гістограми розподілу.

На основі статичного та кореляційного аналізу вимірних поляризаційних мап плівок плазми крові сформовано базу даних інформативних ознак для подальшої диференціації нозологій за допомогою системи підтримки прийняття рішень. Розроблено програмний комплекс заходів для обрахунку статистичних та кореляційних показників досліджуваних зразків та формування бази даних для кожної з категорій отриманих поляризаційних зображень.

Проведено експериментальні дослідження відеополяриметричної системи для аналізу зображень плівок плазми крові при оцінюванні патологій молочних залоз шляхом оброблення зразків плівок плазми крові представників контрольної групи зі станом «норма» молочних залоз (22 чол.) та групи «фіброаденома» молочних залоз (22 чол.). Визначено взаємозв'язок між зазначеними станами та набором величин статистичних та кореляційних моментів 1-4 порядків, які характеризують розподіли дійсних та уявних елементів матриці Джонса плівок плазми крові людини. Це дозволило сформулювати інформативні ознаки для методу диференціації.

Проведено кореляційний аналіз елементів матриці Джонса плівок плазми крові із визначення їх середніх характеристик та середньоквадратичних відхилень для двовимірних розподілів дійсних та уявних елементів матриці Джонса плівок плазми крові.

Обґрунтовано вибір правила для системи підтримки прийняття рішень, який базується на тому, що при даній кількості інформативних зразків найкраще підійдуть непромережені технології внаслідок достатньої точності, простоти та добре працює з числовими характеристиками.

Одержано інформаційну модель підтримки прийняття рішення при оцінюванні стану молочних залоз за Джонс-матричним картографуванням плівок плазми крові із застосуванням статистичного та кореляційного аналізу отриманих зображень для формування діагностичних ознак і диференціації патологій, що дало можливість мінімізувати невизначеність при оцінюванні

таких змін.

Вперше сформовано базу даних при оцінюванні стану молочних залоз за Джонс-матричним картографуванням плівок плазми крові, що дозволило на основі застосування принципів нейромережевих технологій побудувати систему підтримки прийняття рішення для автоматизованого діагностичного процесу.

Визначено показники діагностичної ефективності відеополяриметричної системи для аналізу зображень плівок плазми крові при оцінюванні стану молочних залоз: за дійсними елементами матриці Джонса чутливість, специфічність та достовірність діагностування ($S_e = 95\%$, $S_p = 90\%$, $A_c = 93\%$) вища за аналогічні показники уявних елементів матриці Джонса ($S_e = 86\%$, $S_p = 81\%$, $A_c = 84\%$), які також задовольняють вимогам.

Розроблено метод підтримки прийняття рішень для діагностування патологій молочних залоз на основі статистичного та кореляційного аналізу поляризаційних зображень елементів матриці Джонса плівок плазми крові та подальша їх диференціація на стани: норма та патологія. Було визначено, що достовірність системи діагностування патологій молочних залоз було підвищено до 93%. Для полегшення роботи кінцевого користувача було розроблено GUI інтерфейс, який передбачає простоту та інтуїтивно-зрозуміле керування.

Ключові слова: медичне діагностування, біологічна рідина, відеополяриметрія, матриця Джонса, обробка біомедичних зображень, статистичний аналіз, кореляційний аналіз, система підтримки прийняття рішень, нейронна мережа.

ABSTRACT

Karas O.V. Videopolarimetric system for analysis of blood plasma films images in the assessment of mammary glands pathologies. - Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in specialty 163

"Biomedical Engineering" (16 "Chemical and Bioengineering"). Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, 2021.

The dissertation is devoted to solving an important scientific and practical problem of increasing the reliability of diagnosing breast pathologies.

As a result of the dissertation research the urgent problem of increasing the reliability of diagnosing pathologies of mammary glands by combining statistical and correlation analysis of polarization maps of Jones matrix elements of blood plasma films and differentiation of pathologies based on them using a decision support system based on neural network technologies was solved.

The analysis of existing radiological, morphological and optical methods and means of diagnosing cancer is carried out. It is established that optical non- or minimally invasive methods of imaging laser polarimetry of phase-inhomogeneous histological sections of biological tissues or films of biological fluids are relevant for the tasks of early or screening diagnostics.

Non-polarization diagnostic methods have been studied, and it has been determined that the main disadvantages of these systems are their complexity, insufficient research, and often high cost of the necessary equipment.

Methods of Mueller-matrix reproduction of anisotropic parameters of biological tissues and direct methods of reconstruction of these parameters of optically thin layers at their application in assessment of pathological conditions are considered.

It is determined that the Jones matrix technique is simpler than the Mueller matrix, because 2×2 matrices are used instead of 4×4 matrices. Due to the fact that Jones matrix polarimetry works in conditions of weakly scattered media with the preservation of polarization, it is advisable to use it for blood plasma films.

A comparative analysis of existing methods of medical diagnosis of oncopathology is shown, which shows that a significant improvement in the reliability of diagnosing pathologies of the above methods of imaging laser polarimetry is possible by analyzing the measured polarization maps BR or BT using a computer decision support system.

Intelligent analysis of optical images based on neural network and other approaches to the technology of polarization diagnosis of pathological conditions of biological tissues should expand the capabilities of video polarimetric systems.

The method of Jones-matrix mapping of human plasma films for estimating pathological changes of mammary glands by applying Jones-matrix mapping of human plasma films of two groups ("norm" and "fibroadenoma") was improved, followed by statistical and correlation analysis of Jones matrix coordinate distributions. Which allowed to increase the reliability of diagnosing pathological changes in the mammary glands for screening (more accessible and less traumatic) studies.

A model approach to the description of optically anisotropic media of biological objects is analyzed, according to which biological fluid is considered as two-component amorphous-crystalline biological structures, the crystalline component of which is formed by a set (network) of albumin and globulin crystals.

The principles of operation of the video-polarimetric imaging system for diagnosing the state of images of blood plasma films based on the assessment of structural changes by statistical and correlation analysis of two-dimensional distributions of Jones matrix elements are considered.

The method and system of Jones-matrix reproduction of distributions of orientation and phase parameters of biological fluids have been improved, which allows extending the method when applied to real two-component biological structures. This is achieved by forming the optimal state of polarization of the irradiating sample of the laser beam in each pixel of the image of the recording camera and subsequent statistical and correlation processing of the obtained polarization images.

The architecture of the imaging polarimetry system has been improved by adding a computerized decision support unit based on neural network technologies to automate and increase the reliability of diagnosing pathological conditions of the mammary glands.

The analysis of metrological characteristics of videopolarimetric system of

analysis of images of blood plasma films by means of reference matrices of the linear polarizer oriented at an angle of 0° , which showed that the size of absolute error of the measured elements of a Jones matrix of a linear polarizer $0,03 - 0,089$ lies in systems requirements.

The architecture and algorithmic support of the video-polarimetric system for the analysis of blood plasma films in the assessment of mammary gland pathologies have been improved due to the introduction of a decision support unit into the architecture, which made it possible to conduct experimental studies in an automated mode.

An experimental setup of a video-polarimetric system for evaluating images of blood plasma films with the possibility of analyzing the obtained polarization maps and differentiation of nosologies on the basis of non-interleaved technologies has been created. A comprehensive analysis of the measured two-dimensional distributions of the elements of the Jones matrix based on statistical and correlation approaches.

Polarization maps of blood plasma films are given, as well as the corresponding elements of the Jones matrix and their two-dimensional and three-dimensional distribution histograms.

Based on the static and correlation analysis of the measured polarization maps of blood plasma films, a database of informative features was formed for further differentiation of nosologies with the help of the decision support system. A software package of measures for calculation of statistical and correlation indicators of the studied samples and formation of a database for each of the categories of the obtained polarization images has been developed.

Experimental studies of the videopolarimetric system for the analysis of blood plasma films in the assessment of mammary gland pathologies by processing samples of blood plasma films of the control group with the state of "normal" mammary glands (22 people) and the group "pathology" of mammary glands (22 people). The relationship between these states and a set of values of statistical and correlation moments of 1-4 orders, which characterize the distributions of real and

imaginary elements of the Jones matrix of human blood plasma films, is determined. This allowed us to formulate informative features for the method of differentiation.

The choice of the rule for the decision support system is justified, which is based on the fact that with a given number of informative samples, uninterrupted technologies are best suited due to sufficient accuracy, simplicity and work well with numerical characteristics.

An information model of decision support in assessing the state of the mammary glands by Jones-matrix mapping of blood plasma films using statistical and correlation analysis of the obtained images to form diagnostic features and differentiate pathologies, which minimized uncertainty in assessing such changes.

For the first time, a database for assessing the condition of the mammary glands by Jones-matrix mapping of blood plasma films was formed, which allowed to build a decision support system for automated diagnostic process based on the application of the principles of neural network technologies.

The indicators of diagnostic efficiency of the video-polarimetric system for the analysis of images of blood plasma films in assessing the condition of the mammary glands: the actual elements of the Jones matrix sensitivity, specificity and reliability of diagnosis ($S_e = 95\%$, $S_p = 90\%$, $A_c = 93\%$) are higher than imaginary elements of the Jones matrix ($S_e = 86\%$, $S_p = 81\%$, $A_c = 84\%$), which also meet the requirements.

A method of decision support for the diagnosis of pathologies of the mammary glands based on statistical and correlation analysis of polarization images of the elements of the Jones matrix of blood plasma films and their subsequent differentiation into states: norm and pathology. It was determined that the reliability of the system for diagnosing pathologies of the mammary glands was increased to 93%. To facilitate the work of the end user, a GUI interface has been developed that provides simplicity and intuitive management.

Key words: medical diagnosis, biological fluid, video polarimetry, Jones matrix, biomedical image processing, statistical analysis, correlation analysis, decision support system, neural network.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

[1] К. О. Радченко, та О. В. Карась, “Багатопараметричне джонс-матричне картографування плівок плазми крові при діагностуванні патологічних станів молочних залоз”, *Інформаційні технології та комп’ютерна інженерія*, т. 1, вип. 38, с. 10-15, 2017.

[2] К. О. Радченко, та О. В. Карась, “Метод та система Джонс-матричного картографування плівок плазми крові при патологіях молочних залоз” *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*, № 31, с. 47–54, 2016.

[3] N. I. Zabolotna, K. O. Radchenko, and O. V. Karas, “Method and system of Jones-matrix mapping of blood plasma films with “fuzzy” analysis in differentiation of breast pathology changes”, *Proceedings of SPIE*, vol. 10612 SPIE, pp. 106121P-1-106121P-9, 2018.

[4] S. V. Pavlov, O. V. Karas, and V. V. Sholota “Processing and analysis of images in the multifunctional classification laser polarimetry system of biological objects”, *Proceedings of SPIE*, vol. 10750, pp. 107500N-1-107500N-8, September. 2018.

[5] О. В. Карась, Н. І. Заболотна, та С. В. Павлов, “Аналіз роботи системи підтримки прийняття рішень на основі нейромережі для медичного діагностування”, *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*, вип. 39, т. 1, с. 38–44, Січень. 2021.

[6] O. Karas, S. Pavlov, and N. Zabolotna, “Optical electronic system for analysis of blood plasma films polarization maps”, *Journal of science. Lyon*, №17, pp. 28–32, 2021.

[7] Н. І. Заболотна, С. В. Павлов, О. В. Карась, та К. О. Радченко, “Спосіб лазерної поляризаційної діагностики раку молочної залози за Джонс-матричними мапами плазми крові людини”, *№ и 2018 12519*, заявл. 17.12.2018, опубл. 25.07.2019, Бюл. № 14.

[8] Н. І. Заболотна, та О. В. Карась, “Визначення інформативності ознак Мюллер-матричної томографії”, на *XLV Науково-технічній конференції*

факультету комп'ютерних систем та автоматики, Вінниця, 2016.
[Електронний ресурс]. Режим доступу:
<https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/10998/1084.pdf?sequence=3>.

[9] Н. І. Заболотна, К. О. Радченко та О.В. Карась, “Інтелектуалізована система Джонс-матричного картографування плівок плазми крові для діагностики молочних залоз”, на *XLVI Науково-технічній конференції факультету комп'ютерних систем і автоматики*, Вінниця, 2017.
[Електронний ресурс]. Режим доступу:
<https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/17397/2527.pdf?sequence=3>.

[10] С. В. Павлов, Н. І., Заболотна, та О. В. Карась, “Система для діагностування патологій молочних залоз за джонс-матричним картографуванням плівок плазми крові”, на *XLVII Науково-технічній конференції факультету інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем*, Вінниця, 2018. [Електронний ресурс]. Режим доступу:
<https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/20959/5293.pdf?sequence=3>.

[11] Н. І. Заболотна, С. В. Павлов, та О. В. Карась, “Processing and analysis of images in the intellectualized laser polarimetry system of biological objects”, на *XLVII Науково-технічній конференції Інституту соціально-гуманітарних наук*, Вінниця, 2018. [Електронний ресурс]. Режим доступу:
<https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/20199/4308.pdf?sequence=3>.

[12] С. В. Павлов, Н. І. Заболотна, та О. В. Карась, “Оброблення та аналіз зображень в мультифункціональній інтелектуалізованій системі лазерної поляриметрії біологічних об'єктів”, на *XLVIII Міжнародній науково-практичній конференції Застосування лазерів у медицині та біології*, Харків, 2018, с. 176-177.

[13] С. В. Павлов, Н. І. Заболотна, та О. В. Карась, “Мультифункціональна інтелектуалізована система лазерної поляриметрії”, in *VIII International Conference on Optoelectronic Information Technologies "PHOTONICS-ODS 2018"*, Вінниця, 2018 с. 130-131.

[14] С. В. Павлов, та О. В. Карась, “Аналіз результатів роботи системи

джонс-матричного картографування біологічних тканин”, на *XLVIII Науково-технічній конференції факультету інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем*, Вінниця, 2019. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/27003/7649.pdf?sequence=3>.

[15] С. В. Павлов, та О. В. Карась, “Аналіз типів нейромереж для системи підтримки прийняття рішень”, на *XLIX науково-технічній конференції підрозділів ВНТУ*, Вінниця, 2020. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/29204/9206.pdf?sequence=3>.

[16] О. В. Карась, “Аналіз роботи системи підтримки прийняття рішень на основі нейромережі для медичної діагностики” in *IX International Conference on Optoelectronic Information Technologies "PHOTONICS-ODS 2020"*, Вінниця, 2020, с.52-53.