

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

Н. І. Заболотна, С. В. Павлов, В. В. Шолота

**МОДЕЛІ, МЕТОДИ ТА СИСТЕМИ
ЛАЗЕРНОЇ ПОЛЯРИМЕТРІЇ ПЛАЗМИ КРОВІ
ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ МОЛОЧНИХ ЗАЛОЗ**

Монографія

Вінниця
ВНТУ
2024

УДК 681.7:616-71

3-12

Рекомендовано до друку Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 10 від 27.03.2024 року)

Рецензенти:

О. Г. Ушенко, доктор фіз.-мат. наук, професор, завідувач кафедри оптики і видавничо-поліграфічної справи Чернівецького національного університету імені Ю. Федьковича МОН України

О. Г. Аврун, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри біомедичної інженерії Харківського національного університету радіоелектроніки МОН України

Н. В. Тітова, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри біомедичної інженерії національного університету «Одеська політехніка» МОН України

Заболотна, Н. І.

3-12 Моделі, методи та системи лазерної поляриметрії плазми крові для діагностики молочних залоз : монографія / Н. І. Заболотна, С. В. Павлов, В. В. Шолота. – Вінниця : ВНТУ, 2024. – 145 с.

ISBN 978-966-641-956-2

Монографія присвячена розгляду питань модельного аналізу, методів та систем поляризаційного-фазового картографування плівок плазми крові для діагностики молочних залоз. Визначено кількісні критерії диференціації фізіологічних станів молочних залоз, досліджено діагностичну ефективність методів. Монографія розрахована на науковців, аспірантів, студентів спеціальностей «Біомедична інженерія», «Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка», «Інформаційно-вимірвальні технології».

УДК 681.7:616-71

ISBN 978-966-641-956-2 © Н. Заболотна, С. Павлов, В. Шолота, 2024

ЗМІСТ

| | |
|--|----|
| ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ..... | 6 |
| ВСТУП | 7 |
| РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ СИСТЕМИ ПОЛЯРИЗАЦІЙНО-ФАЗОВОГО КАРТОГРАФУВАННЯ ПЛІВОК ПЛАЗМИ КРОВІ ПРИ ДІАГНОСТИЦІ МОЛОЧНИХ ЗАЛОЗ | 9 |
| 1.1 Аналіз традиційних апаратних та оптичних методів діагностики молочних залоз | 9 |
| 1.2 Модель плазми крові на основі поляризаційного підходу..... | 19 |
| 1.3 Комп'ютерне моделювання трансформації поляризованого випромінювання полікристалічними мережами плазми крові при оцінюванні фізіологічного стану молочних залоз | 23 |
| 1.3.1 Принципи моделювання та оцінювання перетворення поляризованого випромінювання плівками плазми крові | 23 |
| 1.3.2 Мапи азимутів та еліптичностей плазми крові зі «слабким» рівнем подвійного променезаломлення..... | 26 |
| 1.3.3 Мапи азимутів та еліптичностей плазми крові з «середнім» рівнем подвійного променезаломлення..... | 29 |
| 1.3.4 Мапи азимутів і еліптичностей плазми крові з «підвищеним» рівнем подвійного променезаломлення..... | 33 |
| 1.4 Метод та система прямого відтворення та аналізу розподілів фазових зсувів лазерних зображень біологічних шарів | 37 |
| 1.5 Кількісні критерії диференціації фізіологічних станів молочних залоз за результатами фазового картографування плівок плазми крові..... | 38 |
| 1.6 Характеристики інформативності діагностики молочних залоз за методом фазового картографування плівок плазми крові | 47 |
| РОЗДІЛ 2 КАРТОГРАФУВАННЯ АЗИМУТІВ ПОЛЯРИЗАЦІЇ ЗОБРАЖЕНЬ ПЛАЗМИ КРОВІ ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ ОНКОЛОГІЧНИХ ЗМІН МОЛОЧНИХ ЗАЛОЗ | 53 |
| 2.1 Метод та система азимутально незалежного картографування та аналізу азимутів поляризації зображень біологічних шарів | 53 |
| 2.2 Результати вимірювань та аналізу розподілів азимутів поляризації зображень плазми крові при діагностиці молочних залоз..... | 55 |

| | | |
|--|--|-----|
| 2.3 | Характеристики інформативності діагностики молочних залоз за картографуванням азимутів поляризації зображень плівок плазми крові..... | 63 |
| 2.3.1 | Ефективність картографування азимутів поляризації плазми крові при оцінюванні доброякісних змін молочної залози..... | 64 |
| 2.3.2 | Ефективність картографування азимутів поляризації плазми крові при оцінюванні зляжкісних змін молочної залози. | 66 |
| 2.3.3 | Ефективність картографування азимутів поляризації плазми крові при диференціації зляжкісних та доброякісних змін молочних залоз..... | 67 |
| 2.4 | Метод ROC-аналізу картографування азимутів поляризації зображень плазми крові у діагностуванні патології молочної залози..... | 70 |
| 2.4.1 | ROC-аналіз ефективності діагностики доброякісних станів молочних залоз за картографуванням азимутів поляризації плівок плазми крові..... | 71 |
| 2.4.2 | ROC-аналіз ефективності діагностики зляжкісних станів молочних залоз за картографуванням азимутів поляризації плівок плазми крові | 74 |
| 2.4.3 | ROC-аналіз ефективності диференціації доброякісних та зляжкісних змін молочних залоз за картографуванням азимутів поляризації плівок плазми крові..... | 76 |
| 2.5 | Методи та системи лазерної зображувальної Мюллер-поляриметрії для діагностики пухлин жіночих репродуктивних органів | 78 |
| РОЗДІЛ 3 ЗАСТОСУВАННЯ КАРТОГРАФУВАННЯ ЕЛІПТИЧНОСТІ ПОЛЯРИЗАЦІЇ ЗОБРАЖЕНЬ ПЛІВОК ПЛАЗМИ КРОВІ У ДІАГНОСТИЦІ ПАТОЛОГІЙ МОЛОЧНИХ ЗАЛОЗ | | |
| 3.1 | Метод прямого картографування еліптичностей поляризації плівок плазми крові та система для його реалізації | 93 |
| 3.2 | Дослідження еліптичності поляризації зображень плазми крові при різних фізіологічних станах тканин молочних залоз | 96 |
| 3.3 | Характеристики інформативності діагностики молочних залоз за картографуванням еліптичності поляризації зображень плівок плазми крові..... | 104 |

| | |
|--|-----|
| 3.3.1 Ефективність діагностики доброякісних змін молочних залоз за картографуванням еліптичності поляризації плазми крові..... | 104 |
| 3.3.2 Ефективність діагностики злоякісних змін молочних залоз за картографуванням еліптичності поляризації плазми крові..... | 107 |
| 3.3.3 Ефективність диференціації доброякісних та злоякісних змін молочних залоз за картографуванням еліптичності поляризації плазми крові..... | 109 |
| 3.4 ROC-аналіз ефективності картографування еліптичності зображень плівок плазми крові у діагностиці патологій молочних залоз..... | 113 |
| 3.4.1 ROC-аналіз ефективності діагностики доброякісних змін молочних залоз за мапами еліптичностей плівок плазми крові. | 113 |
| 3.4.2 ROC-аналіз ефективності діагностики злоякісних змін молочних залоз за мапами еліптичностей плівок плазми крові. | 116 |
| 3.4.3 ROC-аналіз ефективності диференціації доброякісних та злоякісних змін молочних залоз за мапами еліптичностей плівок плазми крові | 118 |
| 3.5 Дослідження ефективності діагностики патологій молочних залоз за фазометрією плівок плазми крові методом ROC-кривих | 120 |
| 3.5.1 ROC-аналіз ефективності поляризаційно-фазової діагностики доброякісних станів молочної залози..... | 120 |
| 3.5.2 ROC-аналіз ефективності поляризаційно-фазової діагностики злоякісних станів молочної залози | 122 |
| 3.5.3 ROC-аналіз ефективності поляризаційно-фазової диференціації доброякісних та злоякісних станів молочної залози..... | 124 |
| 3.6 Перспективи методу картографування матриць Джонса плівок плазми крові для діагностики фіброаденоми молочних залоз..... | 126 |
| ВИСНОВКИ..... | 130 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ | 132 |

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

- АКФ – автокореляційна функція
БТ – біологічна тканина
БШ – біологічний шар
ДОТ – дифузійна оптична томографія
МЗ – молочна залоза
ММЗ – мюллер-матричне зображення
МРТ – магнітно-резонансна томографія
МСКТ – мультиспіральна комп'ютерна томографія
ОКТ – оптична когерентна томографія
ПЧОКТ – поляризаційно-чутлива оптична когерентна томографія
УЗД – ультразвукова діагностика
ROC (receiver operating characteristic) – робоча характеристика приймача
 α – азимут поляризації
 β – еліптичність поляризації
 ρ – орієнтація оптичної осі кристала
 δ – фазовий зсув
 Δn – показник двопронезаломлення
 d – діаметр фібрили
 M_i – статистиний момент i -го порядку
 Q_i – кореляційний момент i -го порядку
 W_i – спектральний момент i -го порядку
 Se – чутливість діагностики
 Sp – специфічність діагностики
 Ac – точність прийняття діагностичного рішення
 $+Vp$ – прогностичність позитивного результату
 $-Vp$ – прогностичність негативного результату
 $M \times N$ – роздільна здатність камери

ВСТУП

Суттєвий прогрес в створенні сучасних фотонних методів та біомедичних систем діагностики та моніторингу захворювань значною мірою пов'язаний з розвитком лазерної поляриметрії біологічних тканин (БТ). Серед переваг лазерної поляриметрії слід відзначити, перш за все, високу чутливість поляризаційних параметрів поля оптичного випромінювання, перетвореного досліджуванним біологічним шаром (БШ), до змін морфологічного та фізіологічного стану БТ. З іншого боку, лазерна поляриметрия дозволяє розширити коло інформативних параметрів лазерної діагностики БТ (азимут та еліптичність поляризації мікроскопічного зображення БТ, показник двопроменезаломлення та кут орієнтації оптичної осі полікристалічних мереж БТ та ін.), що сприяє підвищенню її достовірності. Поляриметричні технології для діагностики БТ знайшли успішне застосування у діагностиці та диференціації онкологічних захворювань різних органів людини.

В той же час, враховуючи, що останнім часом рак молочної залози (МЗ) займає провідні місця у структурі захворюваності, смертності та відмічається щорічним приростом серед онкологічних нозологій в Україні, виникає доцільність та необхідність покращення достовірності його діагностики високоінформативними та високочутливими методами лазерної поляриметрії.

Відомо методи та засоби діагностування МЗ шляхом виявлення патологічних змін на лазерних поляризаційних зображеннях гістологічних зрізів МЗ. Проте високий травматизм тканин, що виникає при цьому, не дозволяє його ефективно застосовувати на ранніх стадіях захворювання та для моніторингу ефективності діагностування. Визначення злоякісного новоутворення МЗ до виникнення структурних змін потребує застосування нових методик, оснований на визначенні змін доклінічного діагностування та прогнозування патологічного процесу.

Зазначимо, що пухлинні процеси БТ супроводжуються зміною біохімічної структури білків плазми крові, зокрема альбумін-глобулінового коефіцієнту. Встановлено високу чутливість змін поляризаційних характеристик плівок білків плазми крові при оцінюванні фізіологічного стану молочних залоз. Це робить методи лазерної поляризаційної

діагностики раку молочних залоз достатньо ефективними, особливо для виявлення захворювання на ранніх стадіях. Саме на етапі доклінічного діагностування раку МЗ відбувається зміна третичної, четвертичної структури білків плазми крові при незмінній їх біохімічній структурі, що виявляється за змінами двопротенезаломлення білків плазми крові при лазерній поляриметрії, але не властиво іншим методам діагностики.

З іншого боку, існуючим системам лазерної поляриметрії плівок білків плазми крові властиві певні недоліки, пов'язані із обмеженістю застосованого аналізу вимірних розподілів поляризаційних параметрів при проведенні діагностики молочних залоз. Разом з тим, сучасний рівень розвитку інформаційних технологій створює всі можливості для застосування інтелектуального аналізу та впровадження підсистем підтримки прийняття рішень в такі системи.

Отже, не зважаючи на помітні успіхи, процес впровадження методів та систем лазерної поляриметрії плівок білків плазми крові при оцінюванні патологій молочних залоз ще надто далекий до завершення. Він потребує пошуку оптимального поєднання інформаційно повних методів вимірювання параметрів поляризаційної анізотропії плазми крові з сучасними методами інтелектуальних інформаційних технологій для аналізу зображень та підтримки прийняття діагностичних рішень.

Вищезазначені факти визначили мету написання цієї монографії.

Дослідження виконано за підтримки гранту Національного фонду досліджень України за грантом 2022.01/0135

Наукове видання

**Заболотна Наталія Іванівна
Павлов Сергій Володимирович
Шолота Владислава Владиславівна**

**МОДЕЛІ, МЕТОДИ ТА СИСТЕМИ
ЛАЗЕРНОЇ ПОЛЯРИМЕТРІЇ ПЛАЗМИ КРОВІ
ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ МОЛОЧНИХ ЗАЛОЗ**

Монографія

Редактор Н. Заболотна

Оригінал-макет підготовлено В. Шолота

Підписано до друку 04.04.2024 р.
Формат 29,7×42¼. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman. Ум. др. арк. 8,34.
Наклад 35 пр. Зам. № В2024-02.

Вінницький національний технічний університет,
Редакційно-видавничий відділ,
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ВНТУ, ГНК, к. 114
press.vntu.edu.ua email: irvc.vntu@gmail.com

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.

Віддруковано ФОП Барановська Т. П.,
21021, м. Вінниця, вул. Порики, 7.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 4377 від 31.07.2012 р.