

Ю. О. УШЕНКО, канд. физ.-мат. наук, ЧНУ им. Ю.Федьковича, Черновцы;
О. В. ДУБОЛАЗОВ, канд. физ.-мат. наук, ЧНУ им. Ю.Федьковича, Черновцы;
М. И. СИДОР, ассистент, ЧНУ им. Ю.Федьковича, Черновцы;

ЛАЗЕРНАЯ ПОЛЯРИЗАЦИОННАЯ ФЛУОРЕСЦЕНЦИЯ СЕТЕЙ ОПТИЧЕСКИ АНИЗОТРОПНЫХ БИОЛОГИЧЕСКИХ НАНОКРИСТАЛЛОВ

Предложена модель лазерной поляризационной флуоресценции биологических тканей с учетом механизмов оптически анизотропного поглощения – линейного и циркулярного дихроизма протеиновых сетей. Найдены взаимосвязи между статистическими, корреляционными и фрактальными параметрами, характеризующими Мюллер - матричные изображения лазерной поляризационной флуоресценции, и особенностями механизмов оптически анизотропного поглощения гистологических срезов биопсии стенки матки.

Ключевые слова: флуоресценция, анизотропия, нанокристаллы.

Введение. В данной работе предложена модель комплексной оптической анизотропии, которой обладают нано кристаллы протеиновых сетей тканей репродуктивной сферы женщины, и на этой основе разработан метод Мюллер – матричного картографирования лазерной поляризационной флуоресценции гистологических срезов биопсии доброкачественных (полип) и злокачественных (аденокарцинома) опухолей стенки матки.

1. Краткая теория. Матричный оператор, характеризующий механизмы линейного дихроизма и двулучепреломления фибриллярных протеиновых сетей можно записать в виде [1]:

$$\{M\} = \{D\}\{\Psi\} = \begin{pmatrix} 1 & M_{12} & M_{13} & M_{14} \\ M_{21} & M_{22} & M_{23} & M_{24} \\ M_{31} & M_{32} & M_{33} & M_{34} \\ M_{41} & M_{42} & M_{43} & M_{44} \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Вектор Стокса преобразованного объектом пучка S^* записывается

$$S^* = (1 + M_{12} + M_{13})^{-1} \begin{pmatrix} 1 \\ M_{21} + M_{22} \cos 2\alpha_0 + M_{23} \sin 2\alpha_0 \\ M_{31} + M_{32} \cos 2\alpha_0 + M_{33} \sin 2\alpha_0 \\ M_{41} + M_{42} \cos 2\alpha_0 + M_{43} \sin 2\alpha_0 \end{pmatrix}, \quad (2)$$

$$\alpha^* = 0,5 \arctg \left(\frac{M_{31} + M_{32} \cos 2\alpha_0 + M_{33} \sin 2\alpha_0}{M_{21} + M_{22} \cos 2\alpha_0 + M_{23} \sin 2\alpha_0} \right); \quad (3)$$

$$\beta^* = 0,5 \arcsin \left(\frac{M_{41} + M_{42} \cos 2\alpha_0 + M_{43} \sin 2\alpha_0}{1 + M_{12} + M_{13}} \right). \quad (4)$$

Здесь α^* – азимут; β^* – эллиптичность поляризации, преобразованного объектом пучка.

Из анализа (2) – (4) вытекает, что посредством варьирования азимута поляризации α_0 зондирующего пучка можно минимизировать влияние линейного дихроизма. Нетрудно видеть, что при выполнении условия

$$\alpha_0^* = \rho \pm 0.25\pi \rightarrow \Delta\tau = 1 \quad (5)$$

Индикатором реализации условия (5) становится минимизация эллиптичности поляризации

$$\beta_{\min}^* = 0,5 \arcsin(d_{42} \cos 2\alpha_0^* + d_{43} \sin 2\alpha_0^*). \quad (6)$$

2. Объекты исследования. В качестве объектов исследования использовались оптически – тонкие (коэффициент ослабления $\tau < 0.1$) гистологические срезы шейки матки двух типов:

- предраковое (дисплазия) состояние - группа 1 (19 образцов);
- злокачественная опухоль (аденокарцинома) – группа 2 (18 образцов).

Гистологические срезы изготавливались по стандартной методике на замораживающем микротоме. Для каждого из таких слоев характерно наличие оптически анизотропных протеиновых сетей – фибриллярные коллагеновые и мышечные волокна. Оптические свойства фибриллы коллагена аналогичны одноосному кристаллу, с оптической осью, направленной вдоль оси волокна. По оценкам, сделанным в работе [2], разница главных показателей преломления Δn составляет около 2.5×10^{-3} . Двулучепреломление и дихроизм сети мышечных волокон также обусловлены их фибриллярным строением. Участки мышечных волокон, составленные из однонаправлено ориентированных молекул миозина, проявляют оптическую анизотропию. В работе [3] приведена следующая оценка двулучепреломления мышечной ткани: $\Delta n = 1.4 \times 10^{-3}$.

3. Анализ и обсуждение экспериментальных данных. Возможности метода поляризационной лазерной флуоресценции иллюстрируют данные, представленные на рис. 1 и рис. 2.

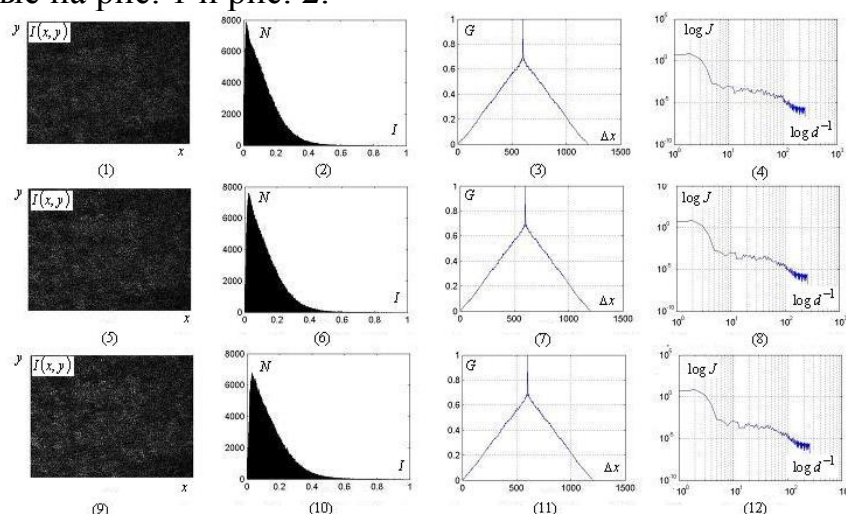


Рис. 1 – Координатные, статистические, корреляционные и фрактальные распределения интенсивности лазерной флуоресценции образцов ткани шейки матки в предраковом состоянии для следующих состояний поляризации: $\alpha_0 = 0^0$ - фрагменты (1)-(4); $\alpha_0 = 90^0$ - фрагменты (5)-(8); $\alpha_0 = \alpha_0^*$ - фрагменты (9)-(12)

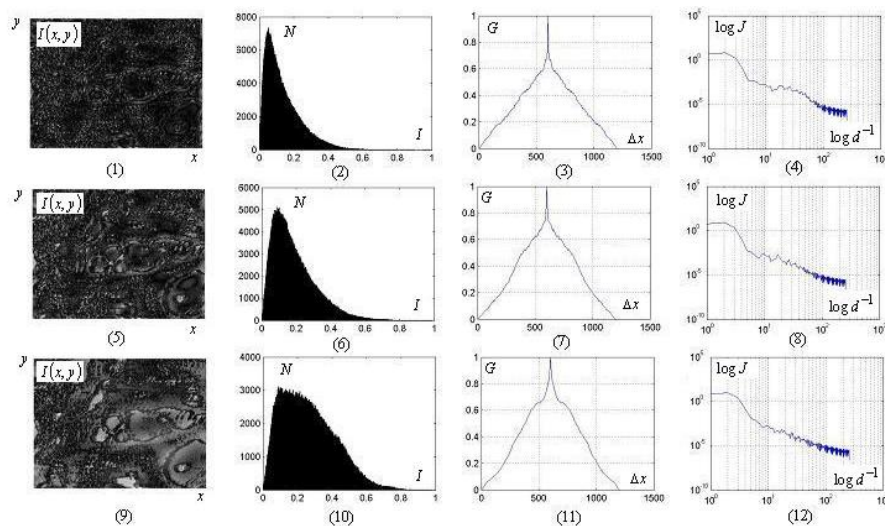


Рис. 2 – Координатные, статистические, корреляционные и фрактальные распределения интенсивности лазерной флуоресценции образцов ткани аденокарциномы шейки матки для следующих состояний поляризации: $\alpha_0 = 0^0$ - фрагменты (1)-(4); $\alpha_0 = 90^0$ - фрагменты (5)-(8); $\alpha_0 = \alpha_0^*$ - фрагменты (9)-(12)

Анализ, приведенных на рис. 1 и рис. 2, данных обнаружил:

1. Существенную зависимость интенсивности лазерной флуоресценции белковых молекул фибриллярных сетей от состояния поляризации зондирующего гистологические срезы лазерного пучка, которая достигает экстремального уровня (фрагменты (9)) для оптимального состояния поляризации α_0^* .

2. Смещение главных экстремумов гистограмм $N(I)$ в область больших значений интенсивности флуоресценции для $\alpha_0 \rightarrow \alpha_0^*$ (рис. 1, фрагменты (2),(6),(10)).

3. Практически идентичную корреляционную (рис. 1, фрагменты (3),(7),(11)) и мультифрактальную (рис. 1, фрагменты (4),(8),(12)) структуру координатных распределений $I(\alpha_0)$ образцов шейки матки в состоянии дисплазии.

4. Возрастание корреляционной однородности (более плавное спадание автокорреляционных зависимостей - рис. 1, фрагменты (3),(7),(11)) и трансформацию мультифрактальных распределений $I(\alpha_0)$ во фрактальные (формирование стабильно угла наклона аппроксимирующей кривой - рис. 1, фрагменты (4),(8),(12)) образцов шейки матки группы 2 для $\alpha_0 \rightarrow \alpha_0^*$.

Количественно различия между координатными распределениями интенсивности лазерной поляризационной флуоресценции $I(\alpha_0^*)$ протеиновых сетей образцов группы 1 и группы 2 иллюстрирует таблица 1.

В пределах обеих групп гистологических срезов в рамках статистического, корреляционного и фрактального подходов была определена чувствительность и специфичность метода лазерной поляризационной флуоресценции – таблица 2.

Таблица 1. – Статистические ($Z_{i=1;2;3;4}$), корреляционные (K) и фрактальные (Ω , $v(\eta)$) параметры распределений $I(\alpha_0^*)$ гистологических срезов шейки матки группы 1 (дисплазия) и группы 2 (аденокарцинома)

Параметры	$I(\alpha_0^*)$	
	Дисплазия	Рак
Z_1	$0,12 \pm 0,016$	$0,22 \pm 0,071$
Z_2	$0,09 \pm 0,013$	$0,16 \pm 0,029$
Z_3	$0,38 \pm 0,054$	$1,16 \pm 0,18$
Z_4	$1,14 \pm 0,17$	$0,54 \pm 0,11$
K	$2,26 \pm 0,29$	$0,78 \pm 0,13$
Ω	$1,47 \pm 0,21$	$2,24 \pm 0,37$
$v(\eta)$	мультифрактальное	фрактальное

Таблица 2. – Чувствительность и специфичность метода поляризационного картографирования образцов шейки матки

Параметры	$Z_{i=1;2;3;4}$	K	Ω
$R, \%$	60	50	50
$s, \%$	52	50	50

Заключение

1. Предложена модель лазерной поляризационной флуоресценции биологических тканей с учетом механизмов оптически анизотропного поглощения – линейного и циркулярного дихроизма протеиновых сетей.

2. Найдены взаимосвязи между статистическими, корреляционными и фрактальными параметрами, характеризующими Мюллер – матричные изображения лазерной поляризационной флуоресценции, и особенностями механизмов оптически анизотропного поглощения гистологических срезов биопсии стенки матки.

3. Продемонстрирована эффективность метода азимутально-инвариантного Мюллер – матричного картографирования лазерной поляризационной флуоресценции протеиновых сетей в задаче дифференциации доброкачественных и злокачественных опухолей стенки матки.

Список литературы: 1. J. M. Bueno. Spatially resolved polarization properties for in vitro corneas / J. M. Bueno, J. Jaronski // Ophthal. Physiol. Opt. – Vol. 21, No. 5, – 384-392 (2001). 2. J. M. Bueno. Measurements of the corneal birefringence with a liquid-crystal imaging polariscope / J. M. Bueno, F. Vargas-Martin // Applied Optics, – Vol. 41, No. 1, – 116-124 (January 2002). 3. J. M. Bueno. Polarization properties of the in vitro old human crystalline lens / J. M. Bueno, M. C. W. Campbell // Ophthal. Physiol. Opt. 23, – 109–118 (2003). 4. T. T. Tower. Alignment Maps of Tissues: I. Microscopic Elliptical Polarimetry / T. T. Tower, R. T. Tranquillo // Biophys. J., – Vol. 81, – 2954-2963, 2001.

Bibliography (translate): 1. J. M. Bueno, J. Jaronski. Spatially resolved polarization properties for in vitro corneas. Ophthal. Physiol. Opt. Vol. 21. No. 5. (2001): 384-392. 2. J. M. Bueno, F. Vargas-Martin. Measurements of the corneal birefringence with a liquid-crystal imaging polariscope. Applied Optics. Vol. 41. No. 1. (January 2002): 116-124. 3. J. M. Bueno, M. C. W. Campbell. Polarization properties of the in vitro old human crystalline lens. Ophthal. Physiol. Opt. 23. (2003): 109–118. 4. T. T. Tower,

УДК 654.9:677.83

Л. А. ПОСПЕЛОВ, д-р техн. наук, вед. науч. сотрудник, НТУ «ХПИ»;
К. В. КОЛЕСНИК, канд. техн. наук, доц., НТУ «ХПИ»;
В. Г. СОМОВ, науч. сотр, ХНУ им. В. Н. Каразина, Харьков;

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЯ ИЗЛУЧАТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОДА-АППЛИКАТОРА

Представлено описание перспективного излучательного электрода-аппликатора (ИЭА) для гипертермии. Конструктивные отличия от исходного образца позволяют сформировать преимущественно тангенциальную компоненту поля с малым изменением амплитуды по апертуре излучателя. Это позволяет снизить рабочую частоту ($< 10\text{МГц}$), увеличивает глубину проникновения поля, снижает травмирующий перегрев кожи и подкожного жира пациента во время проведения гипертермической процедуры. Показано, что электрическое поле, формируемое перспективным ИЭА содержит, в основном, тангенциальную составляющую.

Ключевые слова: гипертермия, излучательный электрод-аппликатор, резонатор.

Введение. В ходе выполнения Проекта №3332 УНТЦ [1] был разработан и исследован перспективный излучательный электрод-аппликатор (ИЭА) для гипертермии [2, 3] (рис. 1), содержащий несколько принципиальных отличий от первоначального ИЭА, изображённого на рис. 2. В перспективном ИЭА выделены три элемента конструкции, каждый из которых выполняет только ему присущие функции и имеет свои конструктивные особенности.

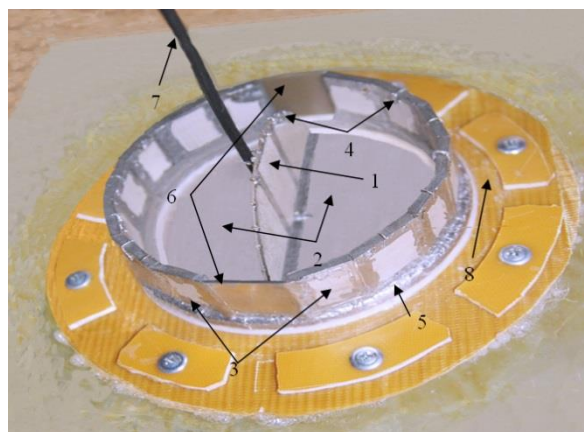


Рис. 1 – Вид экспериментального образца перспективного ИЭА со стороны резонаторов: 1 – возбуждающий резонатор. 2 – излучательные лепестки. 3 – дополнительный резонатор. 4 – замыкающие переключки. 5 – экранирующее покрытие торца излучательных лепестков. 6 – технологические стеклотекстолитовые грани. 7 – фидер электромагнитного питания. 8 – кольцо крепления ИЭА к фантому