

ВОЗМОЖНОСТИ ДВУХФОТОННОЙ МИКРОСКОПИИ ДЛЯ АНАЛИЗА ФЛУОРЕСЦЕНТНЫХ СВОЙСТВ ЭЛАСТИНОВЫХ ВОЛОКОН КРЫС *IN VIVO**

А.И. Князькова^{1,2}, А.А. Самарина², В.В. Николаев², Ю.В. Кистенев², А.В. Борисов²

¹ Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия

² Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия

Представлены результаты визуализации эластиновых волокон сосочкового слоя кожи крыс *in vivo*, полученные при помощи двухфотонной микроскопии. Показано, что при аппроксимации двухэкспоненциальной моделью кривой затухания флуоресценции определенные параметры для эластина дермы крыс и волокон эластина человека имеют схожие распределения.

Ключевые слова: двухфотонная микроскопия, время жизни флуоресценции, эластин, время-коррелированный счет единичных фотонов.

Введение

Применение нелинейных оптических методов в медицине – это перспективное направление физики, развивающееся в наши дни. Микроскопия с двухфотонным поглощением (двухфотонная микроскопия – ДФМ) – современный оптический метод, основанный на одновременном поглощении двух фотонов, что позволяет производить *in vivo* анализ морфологии и состава биотканей с субклеточным пространственным разрешением. Представим процесс двухфотонного поглощения для молекулы следующим образом: первый фотон переводит ее из основного состояния $|g\rangle$ в некоторое виртуальное возбужденное состояние $|a\rangle$. После этого второй фотон, который попадает на молекулу следом за первым, переводит ее из виртуального возбужденного состояния $|a\rangle$ в реальное возбужденное состояние $|b\rangle$. Данный сценарий можно описать при помощи следующего гамильтониана взаимодействия:

$$\hat{H}(t) = \hat{p}_1(t)\hat{E}_1(t) + \hat{p}_2(t)\hat{E}_2(t),$$

где $\hat{E}_1(t), \hat{E}_2(t)$ – операторы электрических полей падающих на молекулу фотонов; $\hat{p}_1(t)$ и $\hat{p}_2(t)$ – атомные диполи, колеблющиеся на частотах соответствующих переходов Ω_a, Ω_b , задающиеся в виде

$$\begin{aligned}\hat{p}_1(t) &= P_a |a\rangle\langle g| e^{i\Omega_a t} + \text{H.c.}, \\ \hat{p}_2(t) &= P_b |b\rangle\langle a| e^{i\Omega_b t} + \text{H.c.}\end{aligned}$$

Здесь P_a, P_b – матричные элементы соответствующих электродипольных переходов, H.c. – эрмитово-сопряженные величины. Когда волновой пакет, содержащий пару фотонов, взаимодействует с молекулой в основном состоянии $|g\rangle$, амплитуду вероятности двухфотонного возбуждения можно описать как

$$a_2 = -\frac{\varepsilon_1 \varepsilon_2 P_a P_b}{\hbar^2} \int_{-\infty}^{\infty} dt_2 dt_1 e^{i\Omega_b t_2} e^{i\Omega_a t_1} \langle 0 | \hat{a}_2(t_2) \hat{a}_1(t_1) | \psi \rangle \theta(t_2 - t_1).$$

Из этого выражения можно получить вероятность двухфотонного возбуждения:

$$P_2 = 4\pi^2 r_1 r_2 |\tilde{\psi}(\Omega_a, \Omega_b)|^2.$$

Вероятность двухфотонного поглощения задается спектральной компонентой $|\tilde{\psi}(\Omega_a, \Omega_b)|^2$ время-упорядоченной волновой функции на частотах перехода Ω_a, Ω_b . Сравнивая вероятность

¹ Экспериментальные результаты получены при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-32-90098. Анализ экспериментальных данных выполнен при поддержке гранта по Постановлению Правительства Российской Федерации № 220 от 09 апреля 2010 г. (Соглашение № 075-15-2021-615 от 04.06.2021 г.)

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала
«Известия высших учебных заведений. Физика»
осуществляется на платформе
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>