

УДК 535.2:616-71

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФАКТОРА АНИЗОТРОПИИ РАССЕЯНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ ТКАНЕЙ МЕТОДОМ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ СЕЧЕНИЙ

Безуглая Н.В.

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»
Киев, Украина

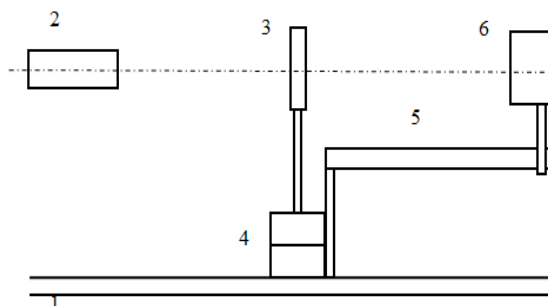
Вопросу целесообразности пространственного анализа биологических сред (БС) при определении их оптических параметров, в частности фактора анизотропии рассеяния, посвящены многочисленные работы. Систематизация и классификация методов и измерительных принципов, обеспечивающих фотометрию рассеянного биологическими объектами коллимированного излучения в пространстве, приведена, например, в [1]. Оптическое сканирование в этих методах позволяет наряду с определением интегральных величин рассеянного излучения, оценить световой вклад в произвольном направлении и построить индикатрисы рассеяния для образца БС определенной толщины, поскольку практика биомедицинского эксперимента сопровождается трудностями в получении тонких образцов. Поэтому для выяснения оптических параметров биологических сред все чаще используют образцы ординарной толщины до нескольких миллиметров. Особенности учета фазовой функции рассеяния толщинных образцов при определении функции однократного рассеяния приведены в работах [2, 3].

Исследования, проведенные в работе [4], позволили выявить осевую анизотропию рассеяния толщинных образцов некоторых биологических сред (мышцы свиньи и грудные мышцы курицы) и оценить ее влияние на определение оптических коэффициентов при моделировании распространения оптического излучения в среде методом Монте-Карло. Следует добавить, что при оптической биометрии сред, как правило, придерживаются принципов двух-плоскостности при анализе зарегистрированных световых потоков [5, 6, 7] и выделяют значимые коэффициенты, характеризующие излучение, рассеянное в прямом или обратном направлении по отношению к падающего излучения. На практике в рамках большинства численных методов решения задачи оптической биометрии пользуются коэффициентами диффузного отражения и полного пропускания, которые, впрочем, не позволяют идентифицировать пространственное распределение рассеяния и значение фактора анизотропии. Частичные коэффициенты отражения и пропускания, определенные гониометрическими методами в определенном направлении, решают эту задачу, вместе с тем, их суперпозиция считается указанными выше интегральными коэффициентами.

В данной работе проведена методика опреде-

ления величины фактора анизотропии однократного рассеяния биологической среды на основании определения индикатрисы многократного рассеяния толщинными образцами по нескольким пространственным сечениям. Эти сечения получены экспериментально методом пространственной фотометрии гониометрического типа.

Для решения поставленной задачи авторами реализовано систему гониометрического типа (рисунок 1), которая содержит оптическую скамью, на которой размещены гелий-неоновый лазер ЛГН-208А мощностью 2 мВт и длиной волны 633 нм и поворотное устройство, на котором крепятся держатель образца БС, а также гониометрическое плечо длиной 175 мм с фотоприемным устройством ФПУ-ФД (ЛОМО Фотоника).



1 – оптическая скамья, 2 – гелий-неоновый лазер ЛГН-208А, 3 – держатель биологической среды, 4 – поворотное устройство, 5 – плечо, 6 – фотоприемное устройство ФПУ-ФД

Рисунок 1 – Система для пространственной фотометрии БС гониометрический типа в виде одно-плечевого гониофотометра.

Оптическое сканирование одно-плечевого гониофотометра осуществлялось с шагом 2° . Выходной сигнал с ФПУ-ФД поступает на конвертор, согласовывает приемник излучения с программной средой «ИВСОБ» [8] компьютера. Отметим, что оптическое сканирование имело ограничения в регистрации рассеянного назад излучения в пределах $\pm 5^\circ$, что связано с геометрией закрепления лазера. Поскольку при исследованиях был использован лазер непрерывного излучения, то для учета флуктуаций светового потока обеспечивалось деление падающего луча с помощью свето-делительного элемента, половина излучения которого направлялась на БС, а изменения другой регистрировались на втором аналогичном фотоприемнике. Таким

образом был реализован относительный принцип нормировки рассеянного излучения.

Экспериментальные исследования проводились на эталонных образцах и на срезах биологических тканей. В качестве эталонов были использованы плоскопараллельные пластины молочного стекла МС-20 толщиной 1, 3 и 5 мм. Образцы биологических сред (мышцы свиньи и мышцы курицы-бройлера), подготовленные в соответствии с методикой [4], были закреплены между предметными стеклами.

Для исследуемых образцов было предварительно рассмотрено распределение интенсивности рассеянного света с помощью метода зеркальных эллипсоидов вращения в 36 различных сечениях с шагом 10° . Анализ полученных экспериментальных данных для образцов окорока свиньи толщиной $1,4 \pm 0,02$ мм и мышц курицы-бройлера толщиной $0,76 \pm 0,02$ мм показал сходимость функции среднего значения интенсивности по сечению (в пределах типичного диапазона входных данных по фактору анизотропии рассеяния g для инверсного Монте-Карло) для различной их комбинации начиная с четырех сечений. Поэтому для получения приемлемой точности для дальнейшего экспериментального определения g целесообразно и достаточно провести исследование в четырех сечениях. Что касается стандартов из молочного стекла, то фотометрический анализ показал погрешность в распределении яркости рассеянного излучения по сечениям в пределах 0,08%, что является подтверждением практически полной осевой симметрии анизотропии рассеяния и обоснованием отсутствия необходимости дальнейшей пространственной фотометрии по сечениям.

Для сравнения, были определены методом прямого Монте Карло коэффициенты полного пропускания T и диффузного отражения R для среднего значения анизотропии по четырем сечениям g_c для мышц курицы и свиньи соответственно.

Значения коэффициентов, полученные моделированием по усредненному значению, практически совпадают с экспериментально полученными величинами. Отклонения усредненной величины коэффициента диффузного отражения для мышц курицы составляет 0,4%, а коэффициента полного пропускания 1,6%. Для мышц свиньи 0,26% и 0,38% соответственно.

В тоже время при исследовании мышц курицы в одном сечении погрешность составляла всего 1,3% для диффузного отражения, а в дру-

гом доходила до 11%. Аналогичные величины для пропускания мышц курицы составляют 4,3% и 21,2%, соответственно. Для мышц свиньи: для коэффициента диффузного отражения 0,67% и 8,7%, а для коэффициента полного пропускания 2,5% и 7,4%.

Из полученных данных можно сделать вывод, что значение фактора анизотропии как однократного, так и многократного рассеяния, определенные по пространственным индикатрисам рассеяния толщинных образцов в различных сечениях существенно отличаются друг от друга, а это подтверждает необходимость пространственного анализа для получения точного значения фактора g образца.

1. Bezuglaya N. V., Bezuglyi M. A. Spatial Photometry of Scattered Radiation by Biological Objects // Proc. SPIE 9032-15. – V2. – 2013. – P.
2. Hall G., Jacques S.L. Goniometric measurements of thick tissue using Monte Carlo simulations to obtain the single scattering anisotropy coefficient // Biomedical optics express. – V. 3. – № 11. – 2007. – P. 2707-2719.
3. Jacques S.L., Alter C.A., Prahl S.A. Angular Dependence of He Ne Laser Light Scattering by Human Dermis // Lasers in the Life Sciences. – V. 1. – № 4. – 1987. – P. 309-334.
4. Безугла Н.В., Безуглий М.О., Тимчик Г.С., Вонсевич К.П. Вплив осевої анізотропії розсіювання біологічних середовищ на точність визначення оптичних коефіцієнтів методом Монте-Карло // Наукові вісті НТУУ “КПІ”. – №1. – 2015.
5. Forward scattering measurement device with a high angular resolution 5 / David Robkamp , Frederic Truffer , Sylvain Bolay and Martial Geiser // OPTICS EXPRESS. – V. 15. – №. 5. – 2007. – P. 2683-2690.
6. Безугла Н.В., Безуглий М.О., Чмир Ю.В. Просторова потокова біометрія середовищ еліпсоїдальними рефлекторами // Електроніка і зв'язок. – 2014. – №6.
7. Bezuglyi M.A., Yarych A.V., Botvinovskii D.V. On the possibility of applying a mirror ellipsoid of revolution to determining optical properties of biological tissues // Optics and Spectroscopy. – V. 113. – № 1. – 2012. – P. 101-107.
8. Авторське свідоцтво України №44754 Комп'ютерна програма “ІВСОБ”. Безугла Н.В., Кузьменко О.В., Безуглий М.О. 18.07.2012.