

БЕСКОНТАКТНАЯ КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ДИАГНОСТИКА КРОВЕНОСНОЙ СЕТИ СКЛЕРЫ ГЛАЗА

С. А. Лысенко¹, В. А. Фираго¹, М. М. Кугейко¹, А. И. Кубарко²,
О. Хотра³, А. Н. Собчук⁴

¹Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

²Белорусский государственный медицинский университет,
Минск, Беларусь

³Люблинский технологический университет, Люблин, Польша

⁴Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси, Минск
E-mail: lisenko@bsu.by

Результаты многочисленных исследований сосудистой сети глаза свидетельствуют о том, что нарушение микроциркуляции крови в ней может служить косвенным показателем нарушения гемодинамики в сосудах мозга. Это открывает возможность выявления предрасположенности того или иного человека к ряду сосудистых заболеваний в раннем возрасте, посредством диагностики состояния сосудов глаза и их изменений в зависимости от физических нагрузок и внешних воздействий на организм человека.

Настоящий доклад посвящен исследованию возможностей спектроскопии диффузного отражения (ДО) в количественной диагностике сосудов склеры глаза. Параметрами кровеносных сосудов, влияющими на распространение света в биоткани, являются их объемная концентрация, средний диаметр и процентное содержание в крови кислорода. Однако достоверное определение этих параметров по спектру ДО биоткани в настоящее время затруднено сложным характером взаимодействия света с неоднородной, многократно рассеивающей средой и отсутствием адекватного математического описания этого взаимодействия.

Авторами получено аналитическое выражение, аппроксимирующее зависимость отражательной способности однородной среды от ее коэффициента поглощения, транспортного коэффициента рассеяния, параметра анизотропии рассеяния и показателя преломления. Исходными данными служили результаты моделирования процесса переноса излучения в среде методом Монте-Карло. Погрешность их аппроксимации не превышает 2 % во всей области вариаций оптических параметров среды, характерной для биотканей. Для исследования возможности использования полученного выражения при обработке спектров ДО склеры, проведено их численное моделирование для среды с оптическими параметрами ткани склеры, которая пронизана кровеносными сосудами. Кровь моделировалась в виде суспензии гемоглобино-содержащих эритроцитов в плазме. Сигналы ДО рассчитывались для геометрии измерений, при ко-

торой диаметры облучаемой и приемной площадок составляют 0.915 мм, а расстояние между их центрами 1.03 мм, что соответствует разработанной авторами экспериментальной установке. Также предполагалось, что спектр ДО склеры регистрируется с точностью до некоторого постоянного множителя, что исключает необходимость абсолютной калибровки устройства. Показано, что учет эффекта локализации гемоглобина в эритроцитах не сказывается на точности решения обратной задачи, а эффект локализации эритроцитов в сосудах может быть с высокой точностью описан в рамках простой аналитической модели поглотительной способности однородной среды. Спектральная зависимость анизотропии рассеяния и показателя преломления ткани при рассматриваемой геометрии измерений также не оказывают значимого влияния на воспроизводимость и результаты обработки анализируемых спектров ДО в рамках модели однородной среды.

Сопоставление теоретических спектров ДО склеры с данными их измерений для группы добровольцев, показало необходимость учета в используемой модели поглощения света билирубином, содержащимся в плазме крови: на экспериментальном спектре, представленном на рис. 1, виден провал в полосе поглощения билирубина ($\lambda = 460\text{--}480$ нм). Впервые обнаружено присутствие нейроглобина или нейроглобиноподобных белков в склере глаза человека, основная функция которых заключается в защите нейронов мозга от повреждений, вызванных недостатком кислорода. Полосы поглощения нейроглобина 425 и 560 нм отчетливо проявляются в экспериментальных спектрах ДО склеры (рис. 1), а их анализ в рамках разработанной аналитической модели позволяет обнаруживать концентрации нейроглобина ~ 1 мкМ. Это позволяет говорить о возможности объективного контроля уровня нейроглобина в организме человека при разработке новых подходов к лечению заболеваний, связанных с гибелью нервных клеток.

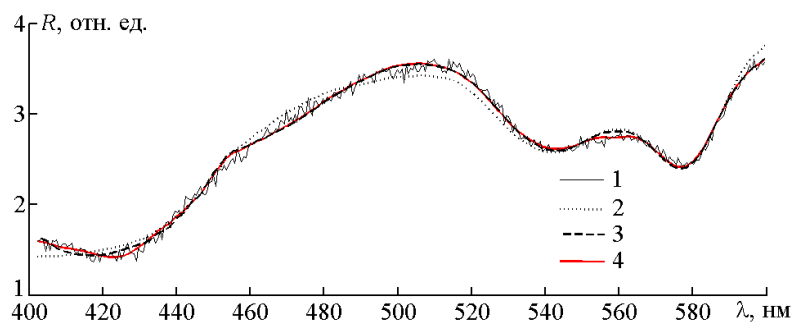


Рис. 1. Экспериментальный (1) и теоретические (2–4) спектры диффузного отражения склеры

2 – спектр, подобранный с учетом поглощения света меланином и гемоглобином;
3 и 4 – то же, но с дополнительным учетом билирубина и нейроглобина