

ОПТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МЯГКИХ БИОТКАНЕЙ В ИНТЕРВАЛЕ ДЛИН ВОЛН 1 – 2.5 МКМ

А. П. Иванов, В. В. Барун

Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси, Минск

E-mail: ivanovap@dragon.bas-net.by

Оптические свойства мягких биотканей в интервале длин волн $\lambda = 0.4 - 1$ мкм достаточно хорошо изучены. Это связано с традиционным использованием видимой и ближней ИК областей спектра для научных и практических медико-биологических исследований. В настоящее время созданы и находят широкое применение волоконные лазеры, генерирующие свет в средневолновом ИК диапазоне. Принципиальным отличием этого спектрального интервала от $0.4 - 1$ мкм является сильное поглощение света водой – одним из основных компонентов и ткани-основы, и крови. Вода занимает 75 – 90 % объема ткани, и при построении оптической модели ее, несомненно, следует учитывать. На первый взгляд, какие же в этом сложности? Остановимся на данном вопросе подробнее.

Под словом «модель» будем понимать полный набор спектральных характеристик (показатели поглощения и рассеяния, а также индикатриса или ее интегральные параметры) всех оптически значимых хромофоров (меланин, дериваты гемоглобина, вода), из которых затем можно построить соответствующие характеристики ткани. Оказывается, что в литературе объем данных по отдельным хромофорам среды, исключая воду, минимален. Именно превалирующее поглощение водой существенно подавляет оптические сигналы от других хромофоров при проведении экспериментов, традиционных для видимой области спектра. Второй аспект задачи моделирования заключается в правилах суперпозиции свойств хромофоров при определении оптических характеристик среды в целом. Например, в области сильного поглощения света гемоглобином крови для ткани имеет место эффект «сита». Он приводит к тому, что показатель поглощения ткани есть не просто средневзвешенная сумма соответствующих показателей компонентов, а их нелинейная комбинация. Известны численные или аналитические способы построения такой комбинации в видимой области. Здесь поглощением ткани-основы можно пренебречь по сравнению с кровью. Однако очевидно, что в рассматриваемом ИК диапазоне этого делать нельзя. Кроме того, показатели рассеяния ткани-основы и крови сильно разнятся. Это приводит к проявлению эффекта «сита» и для показателя рассеяния мягкой ткани в целом, и для интегрального параметра индикатрисы – ее коэффициента асимметрии.

Спектральные характеристики отдельных хромофоров ткани получались путем соответствующих расчетов на основе литературных данных [1–4]. Эффект «сита» оценивался по методике [5]. В левой части рис.1 показаны спектры оптических характеристик основных хромофоров среды – показатели рассеяния ткани-основы (кривые 1) и крови (2), показатели поглощения окси- (3) и деоксигемоглобина (4), воды (5), а также $1 - g$ для крови (6), где g – коэффициент асимметрии индикатрисы рассеяния. Для ткани-основы последний параметр полагался по спектру постоянным 0.09. Исходя из этих данных, получен полный набор спектральных параметров элементарного объема среды – показатели рассеяния μ_s (кривые 1 в правой части рис.) и поглощения μ_a (2), $1 - g$ (3) в диапазоне длин волн 1 – 2.5 мкм. Отметим, что μ_a при $\lambda > 1.3$ мкм определяется водой и не зависит от степени оксигенации крови. Сравнение сплошных и штриховых кривых показал, что эффект «сита» практически не влияет на показатель поглощения ткани. С другой стороны, ее интегральный и эффективный показатели рассеяния снижаются соответственно на 5 – 20 и 3 – 15 % при увеличении радиуса R капилляров с 5 до 100 мкм, а $1 - g$, напротив, возрастает на 2 – 17 %. Полученные результаты составят базу для исследования характеристик переноса ИК излучения волоконных лазеров в тканях применительно к решению различных научных и практических задач биомедицинской оптики.

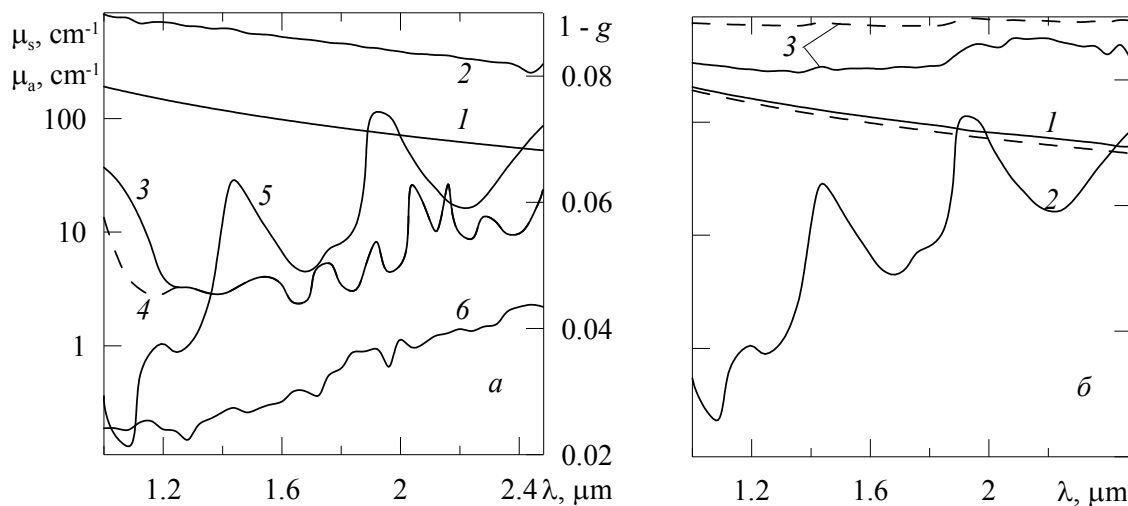


Рис.1. а – Спектры показателей рассеяния ткани основы (кривые 1) и крови (2) и поглощения окси- (3), деоксигемоглобина (4), воды (5), коэффициент асимметрии индикатрисы крови (6); б – спектры показателей рассеяния (1) и поглощения (2), $1 - g$ (3) мягкой ткани при $R = 10$ (сплошные) и 100 мкм (штриховые кривые)

1. Hale G. M., Query M. R. // Appl. Opt. 1973. V. 12. P. 55–63.
2. Kuenster G. T., Norris K. H. // J. Near Infrared Spectrosc. 1994. V. 2. P. 59–65.
3. Roggan A., Friebel M., Dorschel K., et al. // J. Biomed. Opt. 1999. V. 4. P. 36–46.
4. Jacques S. L. // Phys. Med. Biol. 2013. T. 58. P. R37–R61.
5. Talsma A., Chance B., Graaf R. // JOSA A. 2001. V. 18. P. 932–939.