

ОЦЕНКА КОНТРАСТА СПЕКЛ-СТРУКТУРЫ СВЕТОВОГО ПОЛЯ ВНУТРИ МНОГОСЛОЙНОЙ ТКАНИ КОЖИ ЧЕЛОВЕКА

Н.Д. АБРАМОВИЧ¹, С.К. ДИК², В.В. БАРУН³

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
ул. П. Бровки, 6, г. Минск, 220013, Республика Беларусь
¹fitix@yandex.ru; ²sdick@bsuir.by; ³barun@dragon.bas-net.by*

Рассмотрена многослойная ткань кожи человека и проведена оценка контраста интерференционных пятен вне среды при широкой вариации ее структурных и биофизических параметров. Расчеты проводились с использованием известных решений уравнения переноса излучения в биоткани и связи теории распространения света в рассеивающей среде с теорией когерентности. Обсуждены биофизические факторы, связанные с объемной концентрацией крови в дерме и степенью ее оксигенации, которые влияют на контраст спекл-структуры в дерме.

Ключевые слова: спекл-структура, биоткань, кожа человека, многократное рассеяние излучения, кровь, меланин, степень оксигенации, дерма.

В настоящее время спекл-структура рассеянного света используется и в научных, и в практических целях для определения различных характеристик биотканей, например, размеров ее частиц и скорости кровотока, для диагностики различных патологий и контроля эффективности терапии. В работе [1] предложен аналитический подход для описания некоторых параметров такой структуры, основанный на инженерных аппроксимациях решения уравнения переноса излучения в условиях многократного рассеяния. Изучены особенности формирования спеклов внутри биоткани и оценены их характерные размеры в макроскопически однородной среде. Показано [1], что в структуре можно выделить три различных линейных масштаба, связанных с характерными угловыми размерами индикатрисы среды. Однако реальные ткани практически всегда многослойны, а спекл-картину наблюдают, как правило, вне среды в отраженном или рассеянном назад свете.

Аналитическая методика расчета характеристик интерференционной картины, формируемой многократно рассеянным светом в многослойной биологической ткани типа кожи человека на длинах волн видимого и ближнего ИК диапазонов спектра при облучении лазером описана в работе [2].

Выполненные в данной работе исследования базируются, кроме того, на оптической модели ткани кожи [3, 4]. Рассмотрена ткань, состоящая из трех макроскопически однородных слоев. Модель включает задание геометрических толщин слоев кожи d_j (индексы $j = 0, 1$ и 2 обозначают соответственно роговой слой, эпидермис и дерму) и биофизических параметров ткани – объемных концентраций меланина в эпидермисе C_m и кровеносных капилляров в дерме C_v (долей объема, занимаемых соответствующим хромофором), а также степени оксигенации крови S , равной, по определению, отношению концентрации оксигемоглобина к полному гемоглобину. Рассчитываются [5] показатели поглощения μ_{aj} и ослабления μ_{ej} , а также индикатрисы рассеяния или их интегральные параметры, необходимые для вычислений по методике [1]. Дерму полагаем полубесконечным (в оптическом плане) слоем. Показатели $\mu_{a1,2}$ можно варьировать путем изменения как длины волны освещающего пучка, так объемных концентраций поглотителей – соответственно меланина и дериватов гемоглобина крови. Таким образом,

модель среды дает прямую связь между биофизическими и оптическими параметрами ткани. Последние определяют характеристики светового поля в среде.

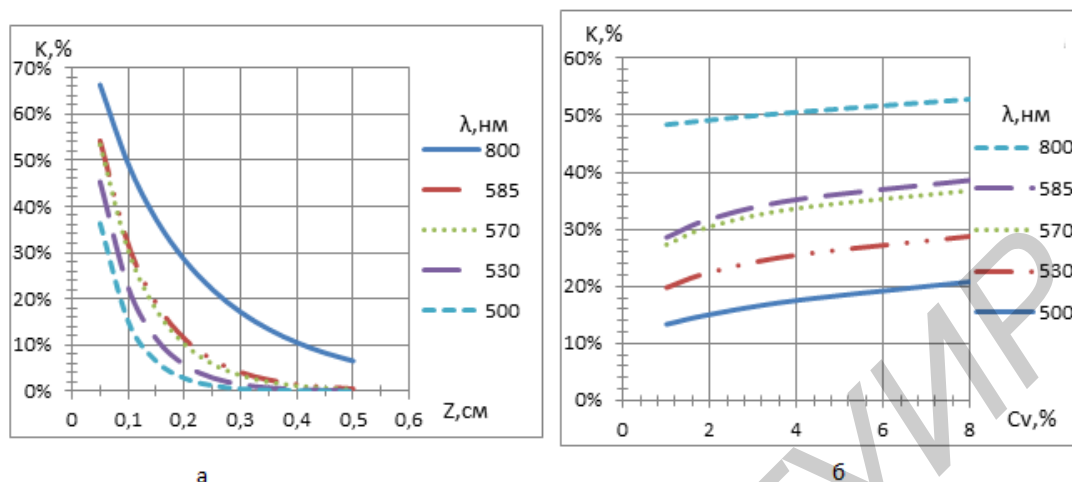


Рис. 1. Зависимость контраста спекл-структуры K на различных частотах от: геометрической толщины слоя кожи Z при $C_v=2\%$ (а); объемной концентрации кровеносных капилляров в дерме C_v при $Z=100$ мкм (б)

Стоит отметить, что на рис. 1 контраст спекл-структуры на данных частотах не зависит от степени оксигенации крови S . При увеличении толщины слоя кожи Z контраст K падает значительно. Если же происходит увеличение процента объемной концентрации кровеносных капилляров в дерме C_v , то контраст спекл-структуры увеличивается незначительно, в пределах 5 %. Расчеты показали, что значения C_m практически не влияют ни на характерные размеры спеклов в дерме, ни на их контраст, а также, что крупные спеклы, формируемые при интерференции практически параллельного пучка прямого света, образуются только в роговом слое. В эпидермисе характерные размеры спеклов малы, а в дерме – мелкомасштабная спекл-структура. В дальнейшем планируется развитие полученных результатов на случай подвижных рассеивателей.

Список литературы

1. Иванов А. П., Кацев И. Л. // О спекл-структуре светового поля в дисперсной среде, освещенной лазерным излучением // Квант. электрон. 2005. Т. 35, № 7. С. 670–674.
2. Абрамович, Н.Д. Аналитическая методика оценки контраста спекл-структуры светового поля, рассеянного мягкими биотканями /, Н.Д. Абрамович, В.В. Барун, С.К. Дик и др. // V Троицкая конференция «Медицинская физика и инновации в медицине» – Троицк, 2012 – Т1-С. 212-214.
3. Jacques S.L. Optical properties of biological tissues: a review. Physics Medicine Biology. 2013. Vol. 58, No. 1. Pp. R37–R61.
4. Тучин В.В. Лазеры и волоконная оптика в биомедицинских исследованиях. Саратов: Изд-во Саратовского гос. ун-та, 1998.
5. Барун В.В., Иванов А.П. // Тепловое воздействие короткого импульса света на биологические ткани. I. Оптико-теплофизическая модель. // Биофизика. 2004. Т. 49, № 6. С. 1125–1133.